ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АДМИРАЛА Ф.Ф.УШАКОВА»

Дайджест науки № 3

(научных исследований и технологий)



Новороссийск

2021

Оглавление

БЕЗЭКИПАЖНОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ 3

1. Динамическое формирование коридора безопасности при планировании маршрута движения судна 3

Ссылка на официальный источник 7

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ 7

1. Процесс сгорания топлива. Особенности газообразного топлива 7

Ссылка на официальный источник: 17

2. Перспектива развития и проблемы автономных грузовых судов 17

Ссылка на официальный источник: 23

3. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами 23

Ссылка на официальный источник: 36

4. Система контроля параметров работы двигателей энергетических установок судов и морской техники 36

Ссылка на официальный источник: 44

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ 45

1. Моделирование износа электрических силовых линий морского порта в условиях форсированного потребления электроэнергии 45

Ссылка на официальный источник: 53

Ссылка на официальный источник: 57

3. Генератор регулярных ортогональных сеток для численного решения задач газовой динамики 57

Ссылка на официальный источник: 62

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МОРСКИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ 63

1. Влияние внешних факторов на технологическую систему высокоточного станка в условиях плавучих мастерских 63

Ссылка на официальный источник: 69

2. Сравнительный интерференционный анализ конфигурации береговых радиолокационных станций при различных параметрах антенн, на примере района действия системы управления движением судов порта Новороссийск 69

Ссылка на официальный источник: 74

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ 75

1. Лазерный дистанционный мониторинг выбросов вредных веществ судовыми энергетическими установками 75

Ссылка на официальный источник: 82

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ 83

1. Отдельные вопросы правового регулирования внедоговорной ответственности на морском транспорте 83

Ссылка на официальный источник: 88

В рамках исполнения Указа Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2030 года», в соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации, Государственным морским университетом имени адмирала Ф.Ф. Ушакова ведутся научные исследования и разработки, соответствующие мировым трендам развития морской транспортной отрасли.

БЕЗЭКИПАЖНОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ

Направления:

1. Динамическое формирование коридора безопасности при планировании маршрута движения судна

В настоящее время довольно много работ посвящено планированию пути судна. Отдельной важной задачей является выбор параметров коридора безопасности. При этом, большинство форматов маршрута базируется на задании так называемых поворотных точек маршрута. Некоторые системы при этом проводят анализ возможности следования по маршруту с использованием различных механизмов учёта модели движения судна. При этом, само маневрирование, учёт расстояния до навигационных опасностей, отданы де факто на откуп судоводителю. Штурман зачастую не имеет достаточный инструментарий, включая параллельные генеральному путевому углу границы коридора в соответствующих приборах и технологический базис для того, чтобы внести соответствующие изменения в предварительную прокладку. Зачастую граница коридора выбирается по близлежащей единичной опасности, что, вероятно, существенно ограничивает предполагаемое маневрирование.

Откровенно говоря, нет никаких технических или математических преград сделать такого, скажем, робота, чтобы он смог игнорировать данный коридор при необходимости, как это сделает человек-оператор, к примеру, в описанной выше ситуации. Однако сразу возникает масса вопросов. Это и уровень опасности, который ждёт нас за коридором, и его объективное

измерение, и самое главное, зачем планировать таким образом, чтобы это надо было нарушать? Если с человеком-оператором годы использования данного подхода расставили всё на свои места, то машина может приобрести нежелательный прецедент в развитии.

Дабы не нарушать вековые устои, решено взять за основу существующий порядок, так как он интуитивно ближе для специалистов в отрасли. Пусть маршрут задан точками, в которых изменяется направление генерального путевого угла. Траектория планируемого движения судна будет совпадать с локсодромической прямой линией, соединяющей эти две точки. По отношению к северу она будет направлена естественно под углом генерального путевого угла для данного отрезка траектории планируемого движения.

Первой задачей является выяснение значения и факторов, определяющих уровень того, насколько опасно судну находиться в той или иной точке.

Второй задачей статьи стала разработка механизма отображения и/или учёта этих факторов.

Выявление факторов, влияющих на риск нахождения судна в той или иной точке

Для перечисления всех элементов вектора состояния системы судно-среда зачастую не хватает длинны в 30 и более ячеек, поэтому, от сокращения элементов авторы пошли по логическому пути.

Элементы риска погрешности самоидентификации в основном известны и описаны в любых узких местах мирового океана, а также не носят локально-пикового характера, что позволяет судить об этом элементе в общем смысле, иными словами, заменив их на некий постоянный коэффициент в рамках нашей задачи.

Таким же образом можно поступить с внешними гидрометеофакторами, которые, безусловно, являются очень важным элементом системы, но, однако это допустимо, учитывая то, что среднее управление для того, чтобы оставаться на траектории редко включает в себя элемент перекладки руля со значением, больше 5 градусов.

Первым фактором, становится расстояние до опасности. Очевидность использования данного параметра подтверждена тем, что сейчас это – превалирующий фактор для выставления значений границ коридора безопасности. Однако тут следует различать маневренные возможности самих управляемых объектов. И если для танкера расхождение в 1 кабельтов

– может быть признано, мягко говоря, ненужной джигитовкой, то расхождение маломерных нескоростных катеров на таком расстоянии нормальное явление. Таким образом, наш фактор будет соотношением расстояния до опасности с маневренными возможностями судна.

Вторым фактором является очевидное и банальное расстояние по участку маршрута. Однако здесь тоже не всё однозначно – следует выделять точки, в которых судну нужно находиться обязательно среди прочих. Иначе, при автоматической коррекции действий неумелого планировщика, коли такая будет внедрена, может быть то, что машина выберет, к примеру, возможность срезать угол и не брать лоцмана.

Третьим, и самым простым для учёта будет являться совокупность ограничивающих факторов, к примеру, следование рекомендованным курсом.

Выяснение отдельных значений факторов, влияющих на риск нахождения судна в той или иной точке, а также их совокупного влияния

Влияние расстояния плеча перехода может быть оценено очень просто – по соотношению расстояния из новой точки i до поворотной к оригинальному расстоянию.

$$k_1 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d_1}{\sqrt{{d_1}^2 + {l_i}^2}} \quad (1)$$

где di – расстояние, 1 – оригинальное, 2 – в точке I, li – расстояние по перпендикуляру от основной линии пути до рассматриваемой точки i.

Куда более нетривиальной выглядит задача по поиску рискового влияния по возможностям управляться. Однако, из хорошей морской практики, а также из работы ясно выглядит граница, как временная, так и пространственная: время и расстояние, необходимое для разворота вектора движения судна на 180 градусов. В обычном режиме это циркуляция, однако судно в своих различных состояниях может иметь рабочее подруливающее устройство, иметь буксиры для маневренности и пр.

Таким образом, важнейшей характеристикой будет количество вариантов управления, ведущих к успешному прохождению опасности/все варианты для некоей точки i.

Получается:

$$k_2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}|Q(U_i)||Q(U_j)|\ldots}{K+nm\ldots}\right] \quad (2)$$

Сразу отметим, что K – коэффициент, отвечающий за нестационарность, который следует из ожидаемой нестабильности идентификации вектора

состояния, Q (U) – вариант, когда управление, разбитое на n, m… дискретных вариантов приводит к успешному проходу опасности. Отметим, что данное уравнение может быть сокращено до:

$$k_2 = \frac{S_u}{K+S} \quad (3)$$

где S – площадь возможных нахождений судна с текущими маневренными возможностями при успешных/всех вариантах управления за время изменения вектора движения на 180 градусов.

При этом, если существуют ограничения по курсу или другим вариантам, эти элементы просто исключаются из перебора.

Разработка механизма отображения и/или учёта этих факторов.

Совершенно очевидно было до оценки параметров, что критически неправильно сочетать безопасность с экономией. Таким образом, точка I поля будет иметь 2 коэффициента, описывающие и характеризующие целесообразность и безопасность нахождения в ней судна.

При этом получаются 2 слоя, имеющие примерный вид, представленный на рис. 29-30:

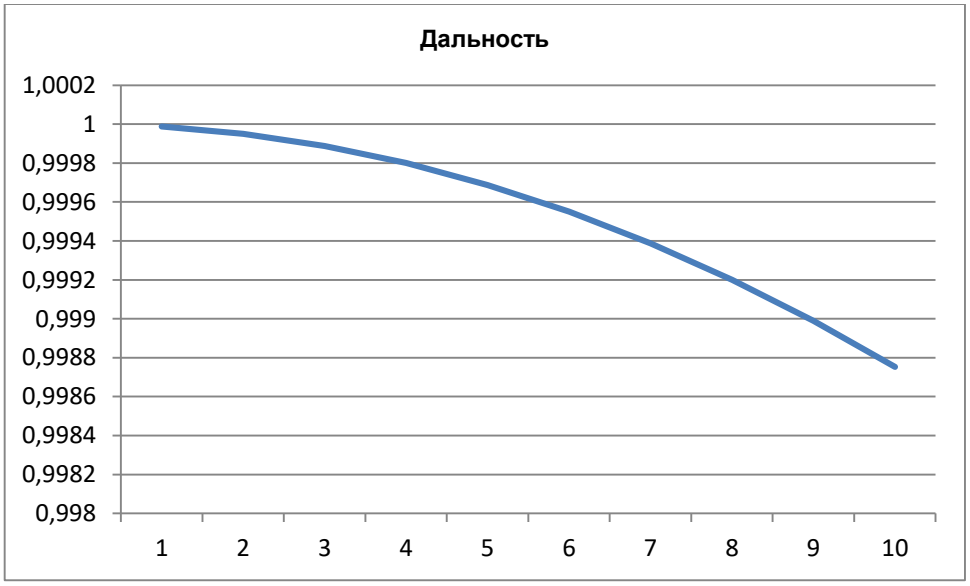


Рис. 1. Целесообразность по расстоянию

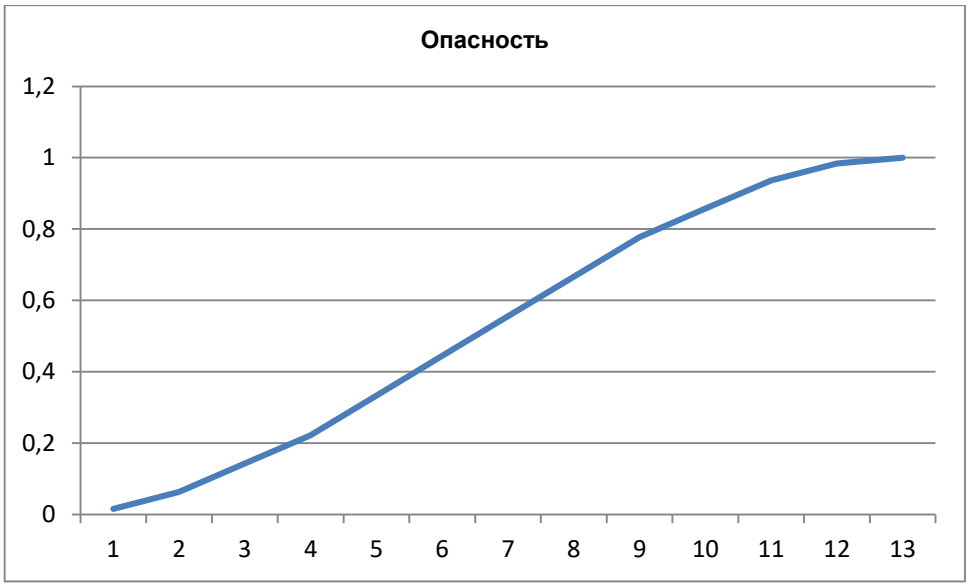


Рис. 2. Опасность по дискретам управления

После оценки параметров очевидным стал вывод о совместном учёте этих двух коэффициентов, путём умножения одного на другой в виду совершенно иного порядка роста этих параметров.

Таким образом, для каждой точки i имеется объективная характеристика, показывающая, насколько судну стоит находиться в этом месте.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Направления:

1. **Процесс сгорания топлива. Особенности газообразного топлива**

Рассмотрение задач воспламенения и сгорания смеси газа и воздуха в двигателе, а также экологических задач, невозможно без учета химических превращений вещества. При этом существуют два подхода. Первый связан с расчетом скорости химической реакции либо в макрокинетическом приближении (глобальной кинетики), либо в микрокинетическом приближении (детальной кинетики). А второй – с термодинамическим расчетом состояния химического равновесия на основе закона действующих масс, когда при изменении внешних условий (температуры или давления)

равновесие смещается в соответствии с принципом Ле-Шателье-Брауна. Рассмотрение процесса на основе химического равновесия возможно только в квазистационарном приближении (когда достаточно времени для установления равновесия, то есть при достаточно высоких температурах). На современном этапе науки о горении все больше исследователей используют микрокинетический подход для описания химических превращений (несмотря на сложности, связанные с большим числом уравнений детальной кинетики и отсутствием сокращенных кинетических схем, а также на отсутствие в научной литературе численных значений некоторых кинетических констант).

Важной особенностью рассматриваемых процессов воспламенения и горения в ограниченных объемах и камерах сгорания ДВС является принципиальная многозонность, связанная с наличием градиентов концентрации, давления и температуры. Результаты исследования самовоспламенения смеси перед фронтом пламени в закрытом сосуде и модель процесса самовоспламенения смеси при адиабатическом сжатии положены в основу разработки современных математических моделей для расчета задержки воспламенения топлива в дизелях и газодизелях.

Согласно закону действующих масс и закону Аррениуса, скорость химической реакции $a + b \leftrightarrow c + d$, где a,b,cиd – концентрации исходных и конечных продуктов $^{\text{моль}}/_{\text{см}^3}$, определяют из выражения

$$\frac{dc}{d\tau} = k\, a \exp\left(b^{-\frac{E}{RT}}\right) \quad (1)$$

где E – энергия активации, $^{\text{ккал}}/_{\text{г} \cdot \text{моль}}$;

τ – время, с;

R– газовая постоянная, равная 1,985 $^{\text{ккал}}/_{\text{г} \cdot \text{моль} \cdot \text{К}}$;

T – температура, К

k – константа, определяемая свойствами реагентов, а также условиями, в которых протекает реакция, в частности давлением и температурой.

Закон Аррениуса указывает на весьма существенное влияние температуры на скорость реакции. Уравнение (1), как и законы, им отражаемые, основано на рассмотрении химической реакции как процесса взаимодействия (соударения) активированных (т. е. обладающих достаточно высокой энергией) молекул исходных веществ, в результате которого образуются молекулы конечных продуктов(окислов).

В основе же более современной теории цепных реакций , лежит утверждение, что превращение исходных веществ в конечные, в процессе

реакции, проходит через ряд стадий, на протяжении которых образуются промежуточные химически активные вещества. В процессе цепной реакции возникают свободные атомы, радикалы и другие неустойчивые промежуточные соединения, обладающие повышенной химической активностью – активные центры. Промежуточными химически активными реагентами являются радикалы с одной (монорадикалы) или с двумя (бирадикалы) свободными валентностями. Реагируя с исходным веществом, активные центры образуют конечные продукты реакции и новые активные промежуточные центры.

Цепной характер реакции определяется тем, что при взаимодействии активной частицы с молекулой исходного вещества образуется одна (неразветвленная цепная реакция) или несколько (разветвленная цепная реакция) новых частиц. Огромную роль в процессе горения играет скорость протекания реакций. Для одного и того же состава горючей смеси и прочих условиях её подготовки, а также воспламенения, скорость протекания реакции зависит в первую очередь от температуры.

Итак, рассмотрим для начала механизм протекания реакции сгорания, а затем оценим влияние температуры на скорость протекания.

Начальный процесс образования активных центров из исходных веществ называется зарождением цепи. Этот процесс всегда идет с поглощением энергии, т.е. является эндотермическим. Разветвление цепи происходит в результате реагирования активного центра с исходным веществом, в результате чего образуется несколько активных центров. Под обрывом цепи понимают процесс, при котором активный продукт исчезает.

Если скорость разветвления больше скорости обрыва, то происходит развитие цепной реакции. Если скорость обрыва больше, чем скорость разветвления, то реакция не идет. Цепная реакция с разветвляющимися цепями характеризуется образованием нескольких активных центров (взамен израсходованного), что приводит к значительному ускорению реакции. К обрыву цепи может привести столкновение активных центров между собой, с молекулами инертного вещества, со стенкой цилиндра, топки или теплообменника.

Наиболее простым является механизм реакции окисления (горения) водорода, а наиболее сложным – окисление углеводородов.

Сгорание водорода в смеси с кислородом $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Q$ относится к цепной реакции с разветвляющимися цепями и состоит из элементарных стадий, описанных ниже.

Начальной стадией этой реакции является термическая диссоциация молекулы H_2 на два активных атома Н или взаимодействие двух достаточно энергетически активированных молекул H_2 и O_2, в результате которого образуется два монорадикала ОН. Далее следуют элементарные реакции с участием указанных монорадикалов Н и ОН, а также образующихся в ходе процесса бирадикалов Ö. Общее описание основной цепи реакций следующее:

1. $H_2 + O_2 \rightarrow H + H_2O$ – зарождение цепи
2. $H + O_2 \rightarrow OH + Ö$ – разветвление цепи
3. $Ö + H_2 \rightarrow OH + H$ – продолжение цепи
4. $OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$ – продолжение цепи
5. H + *стенка* $\rightarrow \frac{1}{2}H_2$ – обрыв цепи на стенке
6. $2H + O_2 \rightarrow H_2O + O$ – обрыв цепи в объеме

Примером слаборазветвленной цепи реакций может служить окисление метана

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + Q$, схема которой может быть представлена следующей цепью элементарных реакций:

1. $H + O_2 \rightarrow OH + O$
2. $CH_4 + OH \rightarrow CH_3 + H_2O$ – зарождение цепи
3. $CH_4 + O \rightarrow CH_2 + H_2O$ – зарождение цепи
4. $CH_3 + O_2 \rightarrow HCHO + OH$ – разветвление цепи
5. $CH_2 + O_2 \rightarrow HCHO + O$ – разветвление цепи
6. $HCHO + OH \rightarrow HCO + H_2O$ – продолжение цепи
7. $HCHO + O \rightarrow CO + H_2O$– продолжение цепи
8. $HCO + O_2 \rightarrow CO + O + OH$ – продолжение цепи
9. $CO + O \rightarrow CO_2$– обрыв цепи
10. $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$ – обрывцепи

Итог единичного цикла: $2CH_4 + 4O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O + Q$

Начальная стадия этой реакции представляет собой соударение двух активированных молекул CH_4 и O_2, в результате которого образуются два монорадикала CH_3 и CH_2, дающие начало дальнейшим элементарным стадиям. В ходе этих стадий образуются и взаимодействуют радикалы OH и HCO, а также менее активные, но химически неустойчивые промежуточные продукты $HCHO$ (формальдегид) и H_2O_2(перекись водорода).

На стадии 6 образуется молекула СО, которая окисляется в ходе следующей цепной реакции:

1. $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$
2. $H + O2 \rightarrow OH + Ö$
3. $CO + Ö \rightarrow CO_2$

Как показывает приведенная схема, окисление СО может происходить

только в присутствии водяного пара или водорода. Это вызвано развитием цепей с участием свободных радикалов ОН и Н. Реакция окисления метана является весьма слабо разветвленной – лишь в одной из элементарных стадий (четвертой) образуются две активные частицы, во всех остальных воспроизводится одна активная частица.

Окисление других более тяжелых углеводородов осуществляется по значительно более сложной цепной реакции. Скорость такой реакции обусловливается взаимодействием размножения и гибели (рекомбинация активных частиц и обрыв цепей) активных центров.

Скорость цепных реакций очень чувствительна к посторонним примесям и к форме сосуда. Влияние температуры достаточно хорошо просматривается при рассмотрении горения горючей смеси в закрытом сосуде. В обычной постановке задачи о сгорании гомогенной газовой смеси в закрытом сосуде постоянного объема предполагается, что скорость химической реакции в свежей смеси равна нулю при начальной температуре и в процессе горения. Однако, весьма высокие значения температур и давлений, достигаемые при горении, позволяют в определенных условиях допустить возможность протекания заметной химической реакции и развития теплового самовоспламенения смеси перед фронтом пламени. Таким образом, можно наблюдать ускоряющееся прогревание горючего вещества и соответственное увеличение скорости протекания реакции. Согласно правилу Вант-Гоффа, при повышении температуры на каждые 10°С, скорость реакции возрастает в 2–4 раза.

Представления о цепном и тепловом (по Аррениусу) механизмах реакции не противоречат, а дополняют друг друга. Как было показано при рассмотрении цепной реакции, ее первичной стадией является взаимодействие активированных (по Аррениусу) молекул топлива и окислителя. Результатом этого столкновения являются не конечные продукты реакции, а промежуточные нестойкие соединения. Далее начнет действовать цепной механизм реакции.

Исследования показали, что сгорание углеводородов обычно носит комбинированный цепочечно-тепловой характер. В начальной стадии, протекающей при сравнительно низкой температуре по цепному механизму, происходит накопление перекисей до определенной концентрации, при которой наступает их спонтанный распад. Продуктом распада перекисей являются альдегиды и в некоторой мере окись углерода. Распад перекисей сопровождается явлением холодного пламени, при котором наблюдается

незначительное повышение давления и температуры (около 100°С). В холодном пламени выделяется лишь 5-10% теплоты сгорания топлива. Свечение холодного пламени вызвано хемилюминисценцией.

Вслед за холодным пламенем при соответствующих условиях возникает голубое пламя, которое по своей химической природе сходно с холодным пламенем, но отличается значительно большим выделением тепла. В голубом пламени выделяется около 40% теплоты полного сгорания топлива; повышение температуры и давления достигает значительной величины. Голубое пламя приводит к накоплению продуктов неполного сгорания и активных частиц. Разогрев смеси и высокая концентрация активных частиц создают условия для резкого теплового ускорения сгорания, в результате которого возникает горячее пламя и выделяется основная доля теплоты сгорания топлива при его окислении до конечных продуктов сгорания.

Процесс многостадийного воспламенения начинается обычно при сравнительно низких температурах, поэтому он получил название низкотемпературного воспламенения. Однако А. С. Соколик показал неточность такого термина, так как при некоторых условиях, например, больших давлениях, многостадийное воспламенение происходит при высокой температуре. Это уточнение является особенно важным применительно к воспламенению в двигателях, где возникают подобные условия. Существенно также замечание А. С. Соколика о том, что при высоких температурах и давлениях многостадийность процесса воспламенения наблюдается не столь четко, как при низких давлениях и температурах, так как периоды задержки в первом случае резко сокращаются.

Не все топлива воспламеняются по многостадийному механизму. Для CH_4, H_2 и CO наблюдается лишь так называемое высокотемпературное одностадийное воспламенение, при котором отсутствует стадия холодного пламени. Однако и в этом случае имеет место голубое пламя, возникающее после предварительной химической подготовки смеси в результате саморазгоняющейся цепной реакции. Даже при воспламенении водорода можно выделить температурную «ступеньку», хотя температура голубого пламени всего лишь на 10°С ниже температуры горячего пламени. При высокотемпературном воспламенении практически невозможно провести границу между цепным и тепловым саморазгоном реакции, поэтому его принято называть одностадийным.

Отмечая решающее влияние теплового ускорения сгорания в его

завершающей стадии, не следует недооценивать значение так называемой низкотемпературной стадии, в процессе которой реагирующая смесь горючего и окислителя проходит химическую активацию, имеющую важное значение для сгорания в двигателе. На рисунке 1 показаны результаты эксперимента, специально поставленного для выявления низкотемпературных процессов при сжатии газовоздушной смеси в двигателе. Коленчатый вал двухтактного двигателя с высокой степенью сжатия (ε=14) приводился во вращение без зажигания с подачей в начале сжатия азота или смеси метана, бутана и пропана. Линия сжатия газовоздушной смеси лежит ниже, чем азотновоздушной, что является следствием меньшего значения показателя адиабаты для CH_4 и C_4H_{10}, чем для N_2. Линия расширения газовоздушной смеси лежит выше, чем азотно-воздушной, что свидетельствует о выделении некоторой энергии при сжатии газовоздушной смеси, являющемся результатом низкотемпературных химических реакций.

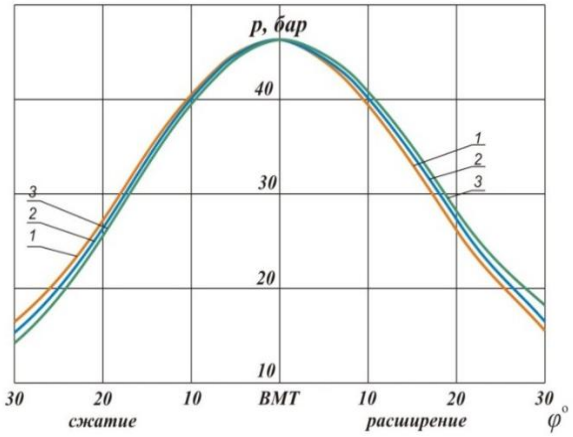


Рис. 3. Диаграмма сжатия-расширения различных газов в двигателе:
1 – азота; 2 – природного газа; 3 – бутано-пропановой смеси

Такие процессы интенсивно протекают в той части смеси, которая сгорает в последнюю очередь и подвергается дополнительному сжатию ранее сгоревшей смесью. Особо важную роль они играют при воспламенении жидкого топлива в газодизеле.

Скорость цепочечно-тепловой реакции сгорания, как показали опыты, может быть выражена уравнением (1). При этом энергию активации E и последовательность реакций следует рассматривать как некоторые условные величины, характеризующие зависимость суммарной скорости реакции от температуры.

Часто сложную реакцию делят на несколько стадий, описывая их

приближенными уравнениями, подобными (1). Так, на основе исследования окисления метана в изотермических условиях при температурах 750-1000°С было предложено общее описание этой реакции, разделенное на две макростадии.

Первая стадия – это окисление CH_4 до CO; а вторая – окисление CO в CO_2. По эмпирическим данным Г. И. Скачкова скорость превращения на первой стадии

$$\left(\frac{dc}{d\tau}\right)_{CO} = 7 \cdot 10^8 \frac{(CH_4)^{-0,5}(O_2)^{1,5}}{T} e^{-\frac{60\,000}{RT}} \quad (2)$$

Это выражение (в скобках даны концентрации соответствующих веществ) свидетельствует о сильном влиянии концентрации O_2 на скорость образования CO. Отрицательный порядок реакции по CH4 показывает, что CH_4 тормозит свое собственное превращение в CO. Для второй макростадии окисления CH_4 Г. И. Козловым предложено эмпирическое выражение

$$\left(\frac{dc}{d\tau}\right)_{CO_2} = 1{,}04 \cdot 10^{12} \frac{(CO)(O_2)^{0,25}(H_2O)^{0,5}}{T^{2,5}} e^{-\frac{32\,000}{RT}} \quad (3)$$

Малый порядок этой реакции по O_2 показывает, что ее скорость практически не зависит от концентрации O_2. Предложенное выражение действительно лишь при содержании кислорода в смеси, превышающем 5%.

Расчеты по формуле (3) показывают, что влияние температуры на скорость двух макростадий реакции имеет различный характер. При температурах до 1500°С скорость реакции на первой стадии меньше скорости реакции на второй стадии, а при температурах выше 1500°С скорость реакции на второй стадии становится больше, чем на первой стадии. Следовательно, имеется определенный температурный барьер (в данном случае при $t_{\text{кр}} \approx 1500°\text{C}$), по одну сторону которого лимитирующей является скорость на одной стадии, а по другую сторону – на другой.

Следовательно, при $t > t_{\text{кр}}$, т. е. при скорости окисления CO, меньшей скорости его образования, условия протекания суммарной реакции сгорания CH4 благоприятны. В зоне реакции происходит накопление CO, скорость окисления которого при этих температурах, хотя и лимитирует суммарную реакцию сгорания, но достаточно велика. При $t < t_{\text{кр}}$ реакция окисления CO становится более быстрой, чем превращение CH_4 в CO. Накопления CO в зоне реакции не будет и скорость суммарной реакции понизится.

Рассмотрение процесса протекания химической реакции горения в условиях камеры сгорания двигателя выявило, что природа протекания реакции, является комплексной и многостадийной. Каждой из стадий присущ свой принцип протекания, а именно первичной стадией является

взаимодействие активированных молекул топлива и окислителя. Результатом этого столкновения являются не конечные продукты реакции, а промежуточные нестойкие соединения. Далее начнет действовать цепной механизм реакции.

Анализируя вышесказанное, можно установить некоторые особенности работы двухтопливных дизелей и объяснить необходимость использования запального топлива.

Нереальность реализации одностадийной модели горения газобразных углеводородов в камере сгорания с образованием конченых продуктов объясняется тем, что для протекания таких реакций требуется, одновременное и масштабное изменение всех химических связей в трех стакивающихся молекулах с преодолением больших энергетических барьеров с образованием новых связей. Кроме того, поскольку молекула O2 имеет неспаренные электроны, то реакции ее участием, приводящие к образованию устойчивых конечных продуктов (вода и углекислый газ) значительно затруднены в результате нарушения суммарного спинового момента.

Столкновение двух молекул происходит на много порядков чаще столкновений трех молекул. Также и реакции в таких столкновениях между исходными молекулами намного быстрее, чем рассмотренные выше. Однако же, и эти реакции протекают с слишком малой скоростью, недостаточной для горения газов в силу очень больших энергий активации и, значит, крайне малых констант скорости, присущих таким реакциям. Например, энергии активации реакций водорода, простейших углеводородов, в том числе метана, этана, этилена непосредственно с O_2 больше $200\ \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$. Предэкспоненциальные же множители констант скорости не превышают частоту двойных столкновений, равную $\approx 6{,}1013 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}\cdot\text{с}}$ при единичной концентрации. При высоких давлениях характерных для камер сгорания ДВС времена протеканий таких реакций намного больше времени теплоотвода. Это, в свою очередь, указывает на невозможность заметного саморазогрева смеси. Что объясняется уравнением кинетики реакции второго кинетического порядка

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_0} + kt \qquad (4)$$

где c и c_0 – начальная и текущая концентрации;

k – константа скорости;

t – продолжительность реакции.

Данное уравнение (4) характерно для стехиометрической смеси. Например для указанной выше энергии активации при 900К соответствует константа скорости, равная $\approx 9{,}6\frac{\text{см}^3}{\text{моль}\cdot\text{с}}$. При таких значениях для расходования 2% стехиометрической смеси метана (9,1% CH_4 в воздухе) при 900К и 1 бар по требуется около 5 минут. Это время в сотни раз больше, чем время теплоотвода из реакторов обычных экспериментов, как это показывает простой расчет по формуле Эйнштейна–Смолуховского:

$$t_T = \frac{x^2}{2\chi} \tag{5}$$

где x – характерный линейный размер реактора;

χ – коэффициент температуропроводности газовой смеси;

Значительное превышение времени реакции над соответствующим временем теплоотвода означает, что при такой реакции саморазогрев смеси практически отсутствует. На рисунке 4 показаны графики функций отношения констант скоростей в зависимости от энергии активации воспламенения. Из этого рисунка очевидно, что при больших энергиях активации и, значит, малых величинах констант скорости, очень слабой является также температурная зависимость их абсолютной величины.

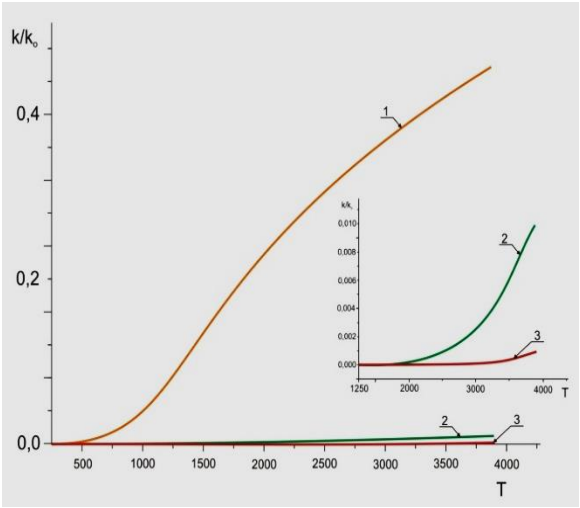


Рис. 4. Графики функции $\frac{k}{k_o} = e^{-\frac{E}{RT}}$

при значениях энергииактивации, равных: (кДж/моль):

1 – 25; 2 – 150; 3 – 225

Поэтому очень слабым окажется также тепловое самоускорение реакции. Очевидно, что при молекулярном механизме реакции воспламенение не может происходить также при разогреве смеси внешним источником. Таким образом, очень малые величины констант скорости

межмолекулярных реакций и малая абсолютная величина их роста с температурой исключают выполнение условия воспламенения газов (тепловыделение больше, чем теплоотвод). В работах Азатяна В.В. было четко установлено только в ходе цепной лавины, и как следствие увеличения саморазогрева системы возможны распространение пламени, взрыв и детонация газов. Таким образом в газах распространение пламени происходит путем послойного воспламенения при передаче тепа от из воспламенившейся зоны к еще не нагретой прилегающей зоне. Однако же условием такого распространения является наличие свободных атомов.

При межмолекулярных реакциях даже после сильного местного подвода источника тепла (например, зажигание запального топлива в камере сгорания), тепло быстро рассеивается и воспламенение прекращается

Из очень малых скоростей газофазных межмолекулярных реакций следует, что схема теплового воспламенения может быть отнесена только к конденсированной реакционной системе, где концентрации в тысячи раз выше и, значит, частота бинарных столкновений на шесть порядков больше. В газовой же фазе условия воспламенения газов могут реализоваться только благодаря большим величинам констант скорости чередующихся реакций свободных атомов и радикалов в цепном процессе.

Таким образом можно подытожить, что горение жидких топлив и газовых различно на молекулярном уровне и привычные законы, работающие в конденсационных системах не применимы к газам. При выполнении задач воспламенения газов следует в первую очередь выполнить задачу по запуску цепной реакции воспламенения путем обеспечения необходимого давления, температуры и состава смеси в камере сгорания двигателя.

Ссылка на официальный источник: https://aumsu.ru/images/sbornik/vypuski/EMT_1_2021.pdf

2. Перспектива развития и проблемы автономных грузовых судов

Ожидается, что прототипы беспилотных торговых судов будут введены в эксплуатацию в ближайшие годы. Основная причина их введения основывается на повышении безопасности мореплавания, что должно быть теоретически достигнуто за счет снижения влияния «человеческого

фактора», за счет устранения экипажей на борту. С другой стороны, реакция беспилотного грузового судна на разные возможные предаварийные ситуации остается неопределенной и по сей день.

За последние годы технологии продвинулись значительно вперед и опыт, накопленный при эксплуатации малых и средних безэкипажных надводных и подводных аппаратов, существенно расширяет границы. Благодаря современным технологиям в последние годы появилась возможность разработать беспилотное торговое судно, способное перевозить грузы на дальние расстояния и даже через океаны без экипажа на борту. Считается, что первые полностью автономные безэкипажные торговые суда войдут в строй в ближайшие 10-15 лет.

Сейчас в разработке находятся несколько глобальных проектов, направленных на изучение концепции автономных и полностью безэкипажных торговых судов. В данном случае (в теории), автономное судно имеет преимущество над торговыми судами с экипажами. Это способность работать в одном из трех существующих режимов:

Полностью пилотируемый;

Дистанционно управляемый;

Полностью автономный;

Последний рабочий режим соответствует уровню автономности 5 (AL5) по шкале Регистра Ллойда, определяемой следующим образом:

«Неконтролируемая или редко контролируемая операция, когда решения принимаются и выполняются системой, имеется в виду воздействие на уровне всего судна без участия человека».

Судно будет перемещаться в море или океане автономно с возможностью его переключения на дистанционное управление через канал спутниковой связи.

Но стоит принять к сведению, что большинство опасностей, ожидаемых в рамках этого исследования, связаны с человеком, и влияние отсутствия человека на развитие последствий аварии, по-видимому, не учитывается должным образом. Например, избыточность человеческого фактора определяется как основное средство уменьшения вероятности аварии, что может оказаться невыполнимым в некоторых случаях, например, при пожарах, когда чрезвычайно сложно разработать техническую систему, способную предотвратить или устранить все возможные сценарии возгорания.

Кроме того, страховые компании довольно скептически относятся к идее

беспилотных судов. Считается, что потребуются десятилетия, а не годы, чтобы концепция стала действующей и юридически приемлемой, однако возможна экономически обоснованная альтернатива для морских перевозок на короткие расстояния в виде формирования конвоя с пилотируемыми судами, сопровождающими и отслеживающими беспилотные корабли (управление группой судов).

Согласно опросу, проведенному Navis, 83% респондентов ожидают увеличения своих инвестиций в технологии искусственного интеллекта в течение следующих трех лет. Большая часть участников также согласились с тем, что ИИ может быть задействован в автоматизации процессов на грузовых терминалах.

Примерно 56% заявили, что они готовы либо тестировать технологии, либо проводить исследования возможностей искусственного интеллекта. Тем не менее, впереди ещё очень много работы и испытаний, поскольку только 11% подтвердили, что они уже использовали ИИ в той или иной степени в операциях на терминалах.

Самой большой проблемой с ИИ, по заявлению респондентов (68%), является достаточно большая нехватка опыта использования этих технологий - это существенный недостаток. При этом около трети заявили, что на данный момент недостаточно опыта эксплуатации безэкипажных судов, доказывающих преимущества для бизнеса, поскольку технология всё ещё относительно новая.

Из доступной на данный момент литературы в области безэкипажного судовождения очевидно, что одной из основных проблем, связанных с эксплуатацией БЭС, является их безопасность. Основная аргументация в пользу их введения - повышение безопасности мореплавания. Ожидается, что это будет достигнуто за счет снижения частоты несчастных случаев на борту судов, связанных с «человеческим фактором», путем простого удаления экипажей. Однако на самом деле экипаж не будет полностью удален, а скорее переведен в удаленный центр управления. Это может создать опасности, которые еще предстоит идентифицировать. Кроме того, все еще неясна реакция беспилотного судна на возможные аварии. Стоит отметить, что в литературе отсутствуют научные исследования о влиянии безэкипажных судов на безопасность морских перевозок. Отдельного внимания требует танкерный флот.

Чтобы восполнить этот пробел или, по крайней мере, уменьшить его, была предпринята попытка применить систему оценки безопасности,

основанная на анализе более сотни отчетов о морских авариях. Целью анализа было оценить, произошла бы авария, если бы судно было автономным и, если бы она произошла - были бы ее последствия другими, если бы на борту не было никого, кто бы им противодействовал.

Оценка основана на использовании двухэтапного анализа, поддерживаемого методом анализа человеческого фактора и системы классификации морских аварий (HFACS-MA), и простой проверки последствий. В таких рамках изучаются имеющиеся отчеты об авариях в отношении причины аварии и ее последствий. Первым шагом было оценить, была бы авария более (или менее) вероятной, если бы рассматриваемое судно было автономным (вопрос о вероятности аварии). На следующем этапе, учитывая, что авария действительно произошла, будут ли ее последствия другими (вопрос о возможных последствиях). Чтобы ответить на эти два вопроса, используется следующая качественная шкала:

Отсутствие влияния;

Более сильное влияние на возникновение;

Меньшее влияние на возникновение.

Полученные результаты показывают, что, если безэкипажные суда будут введены в эксплуатацию в соответствии с уровнем автономности 5, мы сможем ожидать меньшего количества типичных морских аварий, связанных с «человеческим фактором», однако нет никаких предпосылок ожидать, что последствия потенциальной аварии будут ниже наблюдаемых. В настоящее время оценка безопасности не учитывает факторы, которые не возникали в судоходной отрасли в прошлом - такие как киберпиратство или кибертерроризм.

Если этот фактор имеет место быть, то он может привести к более разрушительным последствиям, которые существенно повлияют на безопасность плавания автономных судов и восприятие их общественностью.

Отчеты об авариях

В связи с продолжающимся обсуждением того, каким образом беспилотные суда будут фактически эксплуатироваться, мы предполагаем, что они будут работать в автономном режиме во время перехода через океан до определенного момента перед подходом к порту, где береговой оператор возьмет на себя управление. Точка подключения к оператору может варьироваться для разных портов или рейсов в зависимости от ожидаемого трафика, сложности условий окружающей среды и т.д., но можно ожидать, что судовладельцы захотят эксплуатировать их в автономном режиме как

можно дольше, чтобы использовать все возможности экономии денежных средств. Чтобы учесть эту неопределенность, мы предполагаем, что рассматриваемое судно будет работать автономно до того момента, пока береговой оператор примет управление на себя в реальной операции. Также признается, что будущие беспилотные суда вынуждены будут оставаться на якорной стоянке (рейде), например, из-за невозможности посадки на борт экипажа в непогоду.

В представленном исследовании мы проанализировали 100 морских аварий с участием 119 судов на основе общедоступных отчетов о расследованиях. Основываясь на ожидаемой практике эксплуатации автономных судов, мы отобрали только аварии, произошедшие во время тех отрезков рейса, которые с наибольшей вероятностью станут безэкипажными в будущем. Несчастные случаи, произошедшие на других этапах рейса (например, при швартовных операциях или заходах в порт), не относятся к данному исследованию, так как не удается установить связь между этапом рейса и обстоятельствами происшествия. Распределение количества аварий по этапам рейса, на которых они произошли, и преобладающие условия приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение количества аварий по фазам рейса, на которых они произошли

Тип аварии	Лоцманская проводка до причала	Прибрежная навигация	Океанская навигация	Ограниченная видимость	Погодные условия
Посадка на мель	-	32	-	2	7
Пожар, взрыв	3	9	11	-	2
Столкновение	-	16	3	9	4
Затопление	-	7	2	-	5
Потеря остойчивости	1	2	3	-	5

Тип аварии	Лоцманская проводка до причала	Прибрежная навигация	Океанская навигация	Ограниченная видимость	Погодные условия
Повреждение груза	-	2	2	-	3
Потеря структурной целостности	-	1	1	-	1
Потеря плавучести	-	1	-	-	-

Отчеты об авариях были получены из следующих источников: Австралийское бюро транспортной безопасности, Совет по расследованию аварий Норвегии, Морские власти Дании, Европейское агентство по безопасности на море, Судовой регистр острова Мэн, Японское бюро транспортной безопасности, Отделение по расследованию морских аварийв Великобритании, Федеральное бюро по расследованию морских аварий в Германии, Морское управление Багамских островов, Правительство Специального административного района Гонконг, Совет по безопасности на транспорте Канады.

В результате проанализированных аварий 63 человека погибли, 28 человек получили травмы. В это число входят спасатели, получившие ранения или погибшие при оказании помощи морякам, находящимся под угрозой исчезновения. Три случая привели к серьезному ущербу окружающей среде. Мы включили в наш анализ аварии как грузовых судов, так и большинство других типов судов (паромы Ro-Ro, морские вспомогательные суда) только в том случае, если тип судна не оказал очевидного влияния на вероятность или последствия события. В авариях были задействованы судаваловой вместимостьюот 182 до 170 794 регистровых тонн. Они произошли в период с 1999 по 2015 года в различных географических регионах, хотя большая часть посадки на мель произошла в водах Северной Европы, а столкновения - в Китайском море, причем первое произошло с участием заметно большого количества каботажных судов, укомплектованных небольшими экипажами из 7-8 человек. Особой зависимости между возрастом судна и вероятностью его попадания в морскую аварию не наблюдалось.

И все же одна из самых больших проблем с автономными судами (не учитывая безопасность) - это экономическая составляющая. Огромное количество технологий, необходимых для внедрения технологий полностью безэкипажного судна, обойдется недешево. Например, судно Yara Birkeland (сдано 30 ноября 2020 года) оценивается примерно в 25 миллионов долларов, что в три раза больше, чем контейнеровоз аналогичного размера. Более того, поскольку на борту никого нет, такие суда могут стать легкой мишенью для пиратов. Опираясь на полученные сведения, перспектива замены грузовых судов с экипажами на полностью автономные суда достаточно туманная, но с каждым годом ученые и инженеры развивают эту отрасль, стараясь учитывать все недостатки и возможные риски

Ссылка на официальный источник: https://aumsu.ru/images/sbornik/vypuski/EMT_1_2021.pdf

3. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами

В международной морской организации был принят ряд документов, регламентирующих развитие отрасли. Основным таким документом является резолюция A.1110(30) – Стратегический план организации на 6 летний период.

В Стратегическом плане указаны стратегические направления, на которых ИМО сосредоточит внимание в течение периода 2018–2023 годов. Органы ИМО продолжат работу по достижению целей Организации, как изложено в статье 1 Конвенции об ИМО, поддерживая систему глобального морского законодательства и обеспечивая равные условия для всех государства, занятых в международном судоходстве. При этом ИМО будет сохранять лидерскую позицию в обеспечении равновесия для международного судоходства между потребностями экономического развития, способствованием международной торговле, безопасностью, защищенностью и защитой окружающей среды. ИМО будет обеспечивать, чтобы в процессе принятия решений во внимание принимались интересы всех участвующих сторон, и будет уделять особое внимание потребностям развивающихся стран, особенно малых островных развивающихся

государств (МОРГ) и наименее развитых стран (НРС).

По мере совершенствования технологий новые передовые технологии будут оказывать существенное влияние на развитие судоходства, создавая взаимосвязанную и эффективную отрасль, более тесно интегрированную в глобальную цепь поставок. Новые передовые технологии уже стали причиной изменений на всех уровнях как осуществляется конструирование судов, их постройка, снабжение и эксплуатация, равным образом они оказали воздействие на персонал, как судовой, так и береговой. Эти технологии могут также обеспечить доступ к огромному объему связанных с судоходством данных.

Технологическое развитие несет с собой новые возможности, а также проблемы, и поэтому внедрение новых технологий должно быть тщательным образом продумано с тем, чтобы они смогли занять свое надлежащее место в общей регулятивной системе Организации. Сюда относится вопрос о достижении равновесия между пользой от новых передовых технологий и проблемами в связи с безопасностью, защищенностью, воздействием на окружающую среду и осуществлением международных сообщений, потенциальными затратами для отрасли и, наконец, их воздействием на персонал, как судовой, так и береговой.

Регулятивная система Организации будет постоянно адаптироваться к новым возникающим на глобальном уровне проблемам и явлениям, которые оказывают воздействие на судоходную отрасль, с тем чтобы обеспечить безопасность, защищенность и защиту окружающей среды. Организация будет стремиться к созданию правовой базы, в которой бы должным образом учитывались новые передовые технологии и подходы; она должна сохранить нейтральность в отношении технологий, разрабатывая документы и стандарты качества ИМО без предоставления каких-либо преимуществ одной технологии перед другой.

Безусловно, одним из самых важных и обсуждаемых постоянно результатов является 2.7 – исследования по определению регулятивной сферы для использования морских автономных надводных судов (МАНС).

Вместе с широкой работой по установлению уровней автономности (документ КБМ 102/5/18) ведется широкое освещение соответствия МАНС существующим нормам. Естественно, что помимо полного соответствия выделяется и несовпадение, к примеру, в документе КБМ 102/5/7. Много стран-членов ИМО выделяет перспективу развития в области судоходства, к примеру, в документе КБМ 102/5/18 говорится, что для судов, настанет

время, когда навигация, включая наблюдение и маневрирование, будет осуществляться системой с высоким уровнем автоматизации, а участие дистанционного управления в навигационной задаче станет относительно невелико. В таком случае удаленный оператор может просто контролировать систему и определять, чтобы отключить систему в задаче вождения, принимая во внимание окружающую среду, когда это необходимо. В другом случае вовлеченность дистанционного управления в навигационную задачу высока и удаленный оператор выполнял бы всю навигационную задачу, когда судно эксплуатируется с системой относительно низкого уровня автоматизации или, когда система с высоким уровнем автоматизации выходит из строя.

Однако, в настоящей статье поднимаются вопросы развития МАНС, с первого взгляда не лежащие на поверхности. К примеру, вопросы эксплуатации энергетических установок морских судов.

В эксплуатации энергетических установок морских судов и объектов водного транспорта определяющими являются понятия безопасности и эффективности. Плановая дата(19 мая 2005) вступления в силу приложения VI к конвенции МАРПОЛ-73/78 по предотвращению загрязнений атмосферы с судов послужила в начале 1990-х годов стимулом к разработке новых систем управления судовыми дизельными двигателями, отвечающими требованиям по снижению выбросов окислов азота. Так в отрасль пришли судовые малооборотные двигатели с электронным управлением (МОД с ЭУ). С момента вступления приложения VIв силу постепенно ужесточались нормы по предотвращению загрязнения атмосферы окислами азота (NOx) и серы (SOx), а также парниковыми газами (англ. – greenhousegases – GHG). Ключевыми этапами для ограничений выбросовNOxявилось введение норм IMOTierI, II и III– в 2000, 2011 и 2016 годах соответственно, а для SOx– IMOGlobalSulphurCap – 01/01/2020.

С точки зрения технологии СЭУ основные пути выполнения этих требований – использование новых видов топлив и дополнение конструкции судовых дизельных двигателей новыми узлами, назначением которых является снижение указанных выбросов – системы селективного каталитического восстановления (СКВ), рециркуляции выпускных газов (РВГ), скрубберы.

Альтернативные виды топлива такие как сжиженный природный газ (СПГ), сжиженный нефтяной газ и метанол, аммиак, аккумуляторные

батареи, биотопливо (гидроочищенное растительное масло, hydrotreatedvegetableoilHVO), водород. Сравнительные характеристики для этих видов топлива показаны на рисунке 1, включая:

готовность технических решений по их применению на судах;

доступность топлива;

инфраструктуру по доставке топлива к портам и бункеровочным базам;

безопасность использования;

капитальные затраты судовладельцев;

стоимость;

объемная плотность энергии (энергия на единицу объема).

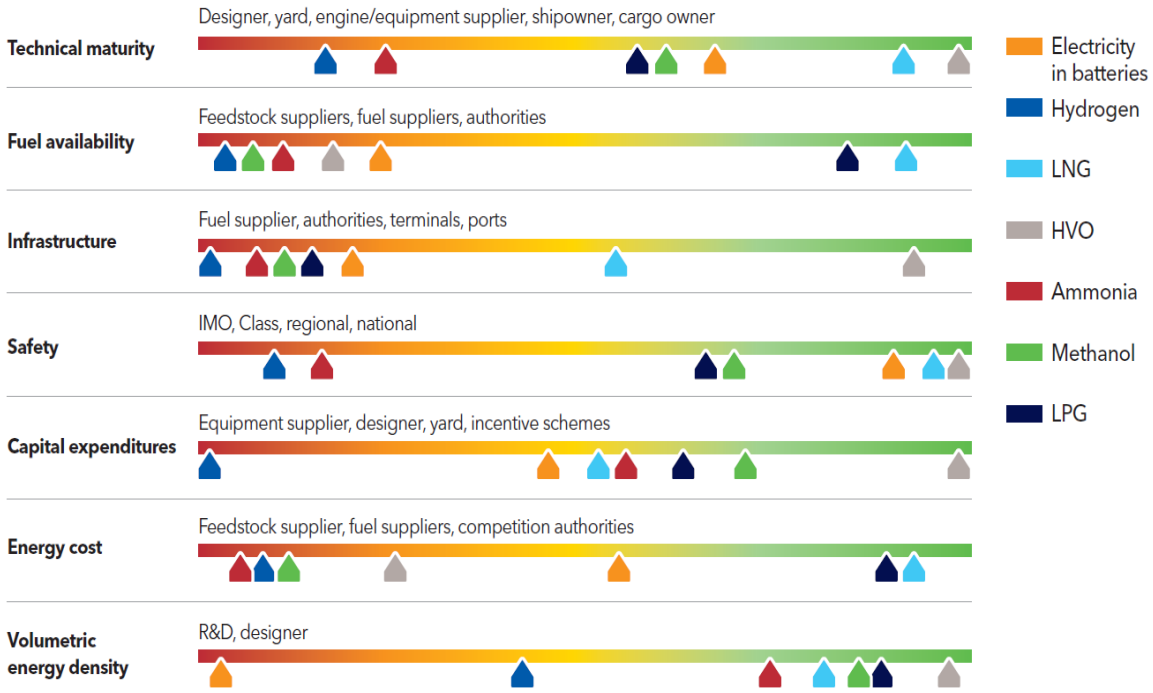


Рис. 5. Сравнительные характеристики альтернативных видов судовых топлив

Из сравнения по основным показателям можно сделать вывод о том, что сжиженный природный газ (СПГ), как альтернативное топливо, имеет ряд существенных преимуществ и лишь по двум показателям – инфраструктура (бункеровочные базы) и капитальные затраты на оборудование– средние значения. В настоящий момент инфраструктура бункеровочных баз динамично развивается и в ближайшие 5 – 10 лет существенно большее количество портов сможет обеспечить доступность СПГ судам.

В таблице 1 приведен комплекс мер, направленных на повышение энергоэффективности на морском транспорте с указанием групп / пакетных

решений и временных интервалов реализации.

Таблица 2 – Пакетные решения по повышению энергоэффективности на морском транспорте

Группа мер	Реализация	Пояснения
Начальный (отправная точка)	до 2015	Для судов, построенных до 2015 года, стандартные меры по поддержанию энергоэффективности судна включают: периодическую очистку корпуса, полировку гребных винтов, оптимизацию параметров главных и вспомогательных двигателей и грузовых систем.
Базовый	2015-2020	Для судов, построенных в этот период, повышение энергоэффективности достигается за счет улучшения гидроаэродинамических свойств корпусов, гребных винтов и рулей, а также повышения эффективности механизмов с использованием электропривода с полупроводниковыми преобразователями частоты, а также валогенераторных установок.
Улучшенный	2020-2025	Ожидаемое повышение энергоэффективности связано с улучшением систем утилизации энергии потерь тепловых двигателей, оптимизацией носовых обводов корпуса судна, улучшением характеристик паропроизводящих / котельных установок, а также оптимизацией скоростных режимов судовых тепловых двигателей.
Продвинутый	2025-2030	включая использование парусов, солнечных батарей, систем глубокой утилизации энергии потерь тепловых двигателей, а также разработка конструкций судов со снижением минимально необходимого балласта
Передовой	2030 и далее	Меры, разрабатываемые наперспективу за пределами десятилетнего периода: применение передовых технологий, включая использование цифровых двойников судов и СЭУ, а также

		ветровой энергии на борту судов.

Все указанные процессы протекают в период развития и внедрения технологии безэкипажного судовождения, реализации концепции автономного судна. При переходе к концепции безэкипажного судовождения с учетом приоритетов и с точки зрения управления СЭУ одной из наиболее ответственных областей является построение адекватной интегрированной системы управления (ИСУ, англ. – IAS, IAMCS: Integrated Automation, Monitoring and Control System) судовой энергетической установки(СЭУ), объединяющей как системы управления главными и вспомогательными энергетическими установками, так и остальными судовыми техническими средствами (СТС) судна. Основным направлением исследований в этой области является создание способа гармонизации систем управления процессами энергетических установок и навигационных систем (систем маневрирования), который бы обеспечивал требуемый уровень безопасной и эффективной (safety and efficiency) уровень эксплуатацию судна, включающую улучшение эксплуатационных характеристик оборудования, а также уменьшение числа обслуживающего персонала при высокой надежности функционирования.

В настоящее время существует множество средств, методов и систем получения информации о параметрах работы судовых технических средств (СТС) путём контроля и диагностики. Вместе с тем необходима разработка новых комплексных технических решений безопасного и эффективного управления, мониторинга и диагностики путем внедрения в этот процесс технологий, основанных на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС).

Зачастую для осуществления процесса управления и диагностики СТС используются одни и те же модели, методы и технологии. Но их реализация выражается в совершенно различных аппаратных средствах, отсутствии возможности централизации и интеграции в единую систему мониторинга и управления судна. Создание интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и управления СЭУ и синтез интегрированных систем комплексного управления позволит сделать еще один шаг вперед на пути к созданию автономных судов.

Принимая во внимание постоянное ужесточение экологических норм, проблемы экономии ресурсов, а также проблемы безопасности морского транспорта, связанные с отказоустойчивостью СТС и особенно систем их

управления, можно сказать, что задача интеллектуального управления судном с учетом диагностики состояния его механизмов и систем является актуальной.

Разработка интеллектуальных систем с использованием нейро-нечетких сетей (ННС) позволяет оптимизировать и упростить процесс управления. Морское судно представляет собой сложную динамическую систему, включающую СТС, которые функционируют в различных режимах, присутствует взаимозависимость их работы, существенно влияющих на выходные характеристики. Существующие системы мониторинга и управления в большинстве своем децентрализованы, они не учитывают влияние режима эксплуатации СТС на мореходные качества судна. Это негативным образом отражается на качестве работы алгоритма и объекта управления (ОУ) в целом при переходе к БЭС, тем самым снижая безопасность мореплавания в частности, так и делая технически невозможным эксплуатировать автономное судно.

Система «СЭУ-СУДНО» является нелинейной нестационарной стохастической системой. Многие процессы, проходящие в ней, не поддаются математическому анализу и описанию, носят случайный характер, поэтому даже самые совершенные системы управления не способны обеспечить адекватные управляющие воздействия в условиях БЭС, тем самым, не удовлетворяя требованиям обеспечения безопасности.

СТС в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействиям вибрации, ударных нагрузок, влаги, соли, изменениям температуры окружающей среды в широком диапазоне и другим внешним факторам. Такие воздействия ускоряют процесс ухудшения технического состояния их деталей и узлов, тем самым увеличивая вероятность наступления аварийной ситуации. В результате параметры их работы существенно изменяются. Система управления получает лишь ограниченное количество данных о состоянии ОУ, не анализируя их ввиду отсутствия прогностической подсистемы, поэтому просто не способна адекватно реагировать на все вышеперечисленные изменения. Надежность работы СТС падает, что недопустимо во время автономного плавания судов.

Существующие системы управления не способны заблаговременно выявить предаварийную ситуацию, предупредить о ней, рассчитать время до аварии, локализовать неисправность, приводящую к поломке, либо скорректировать работу двигателя для минимизации или исключения аварийной ситуации. Поэтому необходим постоянный контроль состояния

СТС со стороны оператора, например, оперативный перевод двигателя в другой режим работы либо полный его останов при возникновении какой-либо неисправности. Все это не позволяет исключить человеческий фактор из возможных причин аварий на судах.

В настоящее время все, даже новейшие судовые системы управления, в том числе на базе ННС, не используют мониторинг и диагностику объекта в должной мере и, как следствие, не способны выявлять, устранять и прогнозировать ресурс, дефекты и неисправности СТС. Такие системы снабжены лишь автоматической защитой от аварий, тем самым осуществляется констатация факта, без возможности заблаговременно локализовать зарождающуюся неисправность. Это является существенным недостатком - потенциал современных систем управления на базе искусственного интеллекта не используется в полной мере. Поставленная задача выполнима для данных систем, требуя внедрения технологий искусственного интеллекта в процессы мониторинга, диагностики и управления СЭУ и последующему синтезу интегрированных систем комплексного управления автономным судном.

Комплексная система мониторинга, диагностики и управления имеет возможность непрерывной реализации ряда основных функций, таких как:

измерение, при этом предполагается возможность реализации как прямого измерения контролируемых параметров, так и получения сведений о значениях параметров по косвенным показателям;

контроль, т.е. анализ соответствия значения, контролируемого или измеряемого параметра соответствующей области допустимых или недопустимых значений;

мониторинг, т.е. реализация расширенных контрольных функций, в т.ч. сравнительный анализ с характерными ретроспективными значениями показателей либо с аналогичной динамикой изменения соответствующих значений показателей по архивным данным;

диагностика, т.е. обнаружение, идентификация и распознавание неблагоприятных сочетаний параметров, отказов или предаварийных ситуаций;

прогнозирование развития аварийной ситуации;

предотвращение аварийных ситуаций.

Для сбора оперативной информации с судовых технических средств целесообразно использовать один из наиболее распространенных протоколов, использующихся в промышленной автоматизации и

централизации - это Modbus с возможностью использования различных видов последовательных линий связи - RS-485, RS-422, RS-232 и пр., а также сетей TCP/IP (Modbus TCP), что позволит реализовать универсальность применения СППР. Также Modbus имеет большое количество промышленно производимых датчиков, исполнительных устройств, модулей обработки и нормализации сигналов, конверторов протоколов и прочих устройств, позволяющих обеспечить сопряжение с различными типами средств автоматизации судовых систем.

Функционирование системы заключается в выявлении неблагоприятных условий, способствующих развитию опасных и аварийных ситуаций, и выработке соответствующих управляющих воздействий, направленных на принятие превентивных мер по их предотвращению. Для этого используется ряд алгоритмов комплексного мониторинга взаимной работы функционально взаимосвязанного оборудования. К важным аналитическим данным относится ряд комплексных показателей, характеризующихся множеством разнородных факторов, отражающих как внутренние, так и внешние возмущения системы.

В целях повышения достоверности прогнозирования параметров СТС, в модуле системе также осуществляется параллельное математическое моделирование (по принципу «blackbox») режимов работы всех задействованных в системе СТС в прогнозе на различные сценарии развития контролируемых параметров, что позволяет спрогнозировать возможность развития опасных и аварийных ситуаций задолго до их фактического зарождения. Это позволит заблаговременно задействовать необходимые и целесообразные меры безопасности или активировать такие противоаварийные режимы функционирования СТС или решения по навигации, которые позволят минимизировать степень риска для судна, окружающей среды или объектов морской инфраструктуры.

Такие меры могут представлять собой изменение маршрута, изменение режимов работы силовых установок, превентивную активацию вспомогательных систем, таких как система повторного сжижения груза, система предотвращения обледенения и пр., а также выполнять оперативное техническое обслуживание СТС с целью повышения их эксплуатационной надежности или восстановления их работоспособности.

Синтез интегрированных систем управления, диагностирования и мониторинга:

благоприятно отразится на экономических и экологических показателях

эксплуатации автономного судна;

уменьшит затраты на привлечение дополнительного экспертного персонала, ремонтное обслуживание и время простоя оборудования, а значит, и судна в ремонте;

обеспечит безотказную, долговременную и оптимальную работу;

поможет избежать непредвиденных и аварийных ситуаций;

уменьшит информационную нагрузку на удаленного оператора за счет уменьшения количества обращений к состоянию и параметрам подсистемы диагностики;

снизит возможные ложные аварийные ситуации;

позволит создать и пополнять базу знаний для однотипных судов достоверными данными с последующим совершенствованием и универсализацией методов управления и диагностирования и повышением качества управления на основе этих знаний;

позволит получать данные о состоянии объекта управления в режиме реального времени, исключая его остановку и (или) необходимость простоя в порту.

Рассмотренная комплексная система управления автономным судном на базе ННС, по нашему мнению, позволит объединить в себе достоинства существующих систем и избежать их основных недостатков. Синтез интегрированных систем управления, диагностирования и мониторинга позволит перейти на новый, более эффективный и экономически выгодный этап эксплуатации. Тенденция к внедрению безэкипажного судоходства (БЭС) позволит обеспечить спрос на интегрированные системы управления с учетом диагностирования при переходе от модели к готовой продукции.

В долгосрочной перспективе существующих стратегий до 2050 и 2100 годов одним из основных векторов указывается «декарбонизация» морской энергетики и четко просматривается постепенный отказ от массового использования углеводородного топлива

В концепцию снижения выбросов с судов гармонично вписалось технология альтернативного питания с берега (АПБ, англ. – AMP, Alternative Maritime Power). С середины первого десятилетия 2000-х началось продвижение и внедрение в отдельных портах технологии питания судов с берега во время стоянки – с сохранением полной работоспособности комплекса СТС и энергообеспечения всех технологических процессов, свойственных судну в соответствии с его назначением. Получив старт в портах западного побережья США, технология АПБ распространяется далее

– в Юго-Восточную Азию и Европу: в концепции развития европейских портов закреплено положение об обеспечении высоковольтного питания с берега во всех европейских портах к концу 2025. Отдельно необходимо отметить тот факт, что электроэнергию, используемую для систем АПБ предполагается получать, в основном, «чистым способом» без применения углеводородного топлива: от гидроэлектростанций, ветрогенераторов, из других альтернативных источников.

Технологии АПБ и их практическая реализация рядом ведущих изготовителей оборудования предполагают в перспективе возможность подготовки и подключения АПБ и автоматизированного перехода на береговое электроснабжение без непосредственного участия экипажа или персонала береговых служб, что сочетается с концепцией автономного судна, энергетическая установка которого управляется с применением ННС. В перспективе возможно создание оборудованных рейдовых стоянок и распространение технологии АПБ при электроснабжении с берега на объекты шельфовой инфраструктуры.

В декабре 2020 года вступило в действие постановление Правительства Российской Федерации «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации автономных судов под Государственным флагом Российской Федерации», определив официальный старт практической проверки концепции автономных судов и беспилотного судовождения, технологических разработок для современных судов, как отечественной, так и зарубежной постройки, на борту которых установлено энергетическое оборудование и системы управления разных типов от ведущих изготовителей. К моменту завершения эксперимента актуальной видится задача обеспечения занятия лидерских позиций в области разработок перспективных технологий безэкипажного судовождения.

В мире уже имеются пионерские разработки концептуальных походов БЭС для коммерческой эксплуатации. С осени 2019 года в России реализуется масштабный инновационный проект автономного судовождения коммерческого флота «БЭС-коммерческий флот».

Однако остается нерешенной наиболее сложная часть безэкипажного судовождения - автономный заход и обработки судов в портах и в условиях навигационных опасностей «БЭС-современный порт». В ближайшей перспективе до 2024 года необходимо обеспечить автономный заход в порты Российской Федерации судов с текущим оборудованием.

Это позволит перейти действующему флоту на новые автономные

режимы, без экономически невыгодного вывода из эксплуатации.

Оценивая имеющийся национальный научный задел и результаты экспериментальной опытовой эксплуатации судов в безэкипажном режиме представляется возможным сделать прогноз развития технологических решений, обеспечивающих автономность морских судов в направлении создания:

- системы интеллектуального гидрометеорологического обеспечения автономного судовождения (2022);

- интеллектуальных систем принятия решения автоматического расхождении большой группы судов (2024);

- системы многопараметрического мониторинга процесса проводки судна, включая высокоточное позиционирование (2024).

В среднесрочной перспективе до 2030 года без сомнения удастся решить задачу проектирование и создание средств автономного судовождения на базе технологий искусственного интеллекта. Для достижения устойчивого мониторинга и безаварийного управления БЭС будут разработаны системы безопасных каналов передачи данных и системы активного маневрирования и управления во внештатных ситуациях.

Общая Концепция безэкипажного судовождения, как правило большинством авторов научных публикаций, рассматривается только с позиции навигационного мостика (управления судном).Однако, как выше рассмотрено в статье, реализация концепции МАНС без учета удаленного мониторинга параметров и дистанционного управления судовой энергетической установкой не представляется жизнеспособной. Присутствует оправданная необходимость восприятия автономного судна как единой сложной системы.

Приоритеты, определяемые исследовательскими программами крупных энергетических игроков (на мировом рынке): технологии энергосбережения, повышения энергоэффективности и зеленая энергетика, направленны на снижение антропогенных нагрузок.

ИМО разработаны глобальные правила по энергоэффективности судов и комплексная стратегия по снижению выбросов парниковых газов с судов. Достижение указанных целей осуществляется в два этапа:

1) 2020-2024 гг.:

- система дистанционного мониторинга, диагностики и управления судовыми энергетическими установками безэкипажного судна;

- проектирование элементов и цифровой среды береговой операторской

инфраструктуры для обеспечения безэкипажного судовождения;

- технологии очистки отработавших газов и балластных вод.

- переход на новые виды топлива (с низкой температурой вспышки) и альтернативное энергоснабжение в порту;

2) 2025 – 2030 гг.:

- внедрение технологий искусственного интеллекта в управление судовыми энергетическими установками автономных судов;

- создание берегового сегмента удаленного управления флотом (группой судов).

К 2035 году внедрение технологий искусственного интеллекта в управление автономными судами и создание берегового сегмента удаленного управления флотом (группой судов) должны стань новой реальностью в мировом морском флоте.

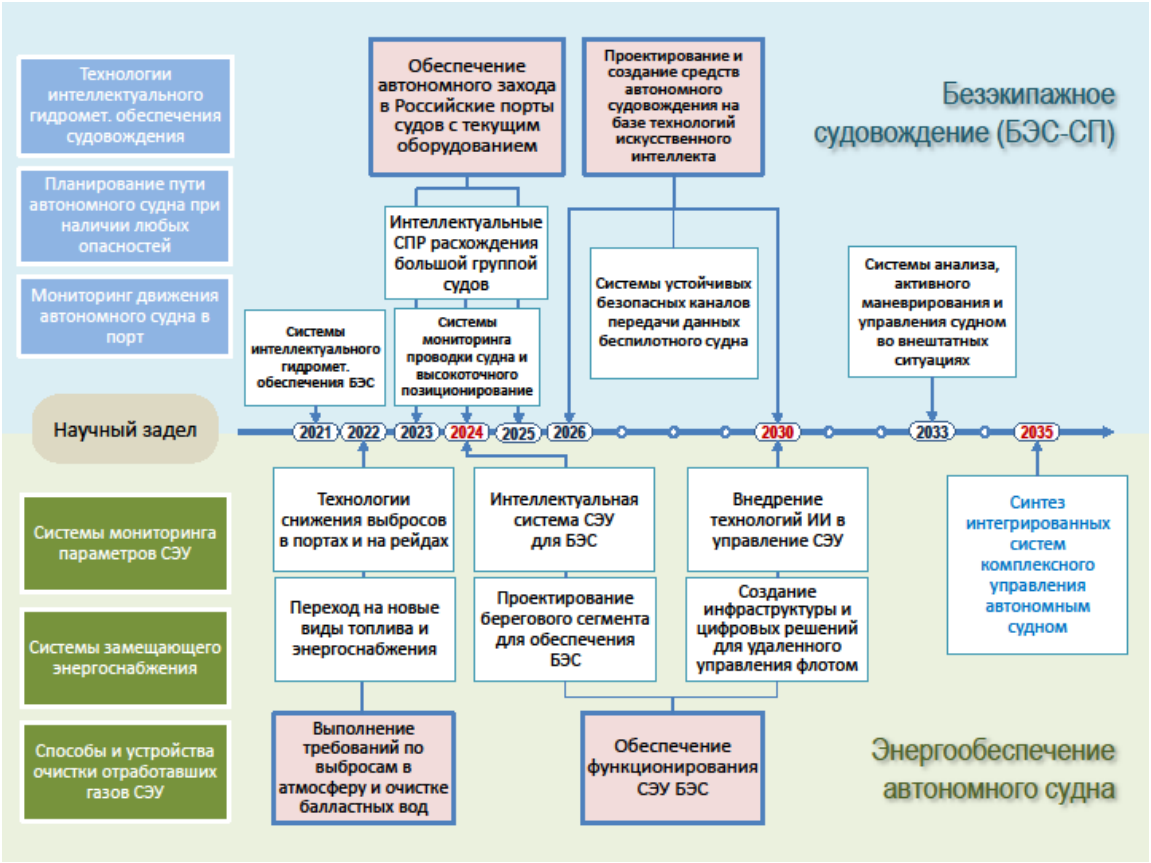


Рис. 6. Прогнозный вариант развития технологий МАНССистемы безэкипажного судовождения существенным образом повлияют на состояние мирового рынка труда моряков, позволят снизить дефицит морских кадров на 20%, а операционные затраты судоходных компаний до 30%. Как следствие, в образовательной системе подготовки членов экипажей судов грядут революционные изменения, соответствующие новому технологическому

укладу: набор цифровых профессиональных компетенций, новые методические подходы и технические средства обучения, которые станут объектом дидактических исследований педагогической науки

Ссылка на официальный источник: https://aumsu.ru/images/sbornik/vypuski/EMT_2_2021.pdf

4. Система контроля параметров работы двигателей энергетических установок судов и морской техники

В связи с ростом, с начала 2000 года, внешнеторгового оборота в портах РФ эксплуатируются новые морские буксиры дедвейтом от 20 т до 800 т. На таких буксирах устанавливаются находят широкое применение ВОД фирм «Caterpillar», «Cummins», «MTU» и др. мощностью от 30 кВт до 2500 кВт. С развитием информационных технологий, современные дизельные двигатели оснащаются системами электронного управления, которые могут быть соединены с автоматизированными измерительными системами для накопления, сравнения и передачи эксплуатационных параметров работы двигателя оператору. Такие системы могут быть в дальнейшем использованы для управления автономными судами. Большое количество научных работ посвящены системам и методам управления в эксплуатации судовых технических средств и их элементов судна в целом.

Главное направление, в настоящее время, в совершенствовании высокооборотных дизельных двигателей (ВОД) является применение наддува и автоматизация процессов управления и контроля за работой двигателя. Программное обеспечение (ПО) многоканальная автоматизированная измерительная система (АИС) предназначено для выполнения функций многоканальной, многопараметрической обработки и регистрации сигналов в вычислительной среде, состоящей из отдельных подсистем, выполненных на базе персональных компьютеров (ПК), объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС). Согласно за период 2000 – 2012 гг. 53,1 % судов, построенных в РФ под надзором РМРС, в качестве ВОД используют двигатели фирмы «Caterpillar». На рисунке 7 представлена условная классификация ВОД, установленных в качестве главных двигателей на судах, находящихся под наблюдением РМРС.

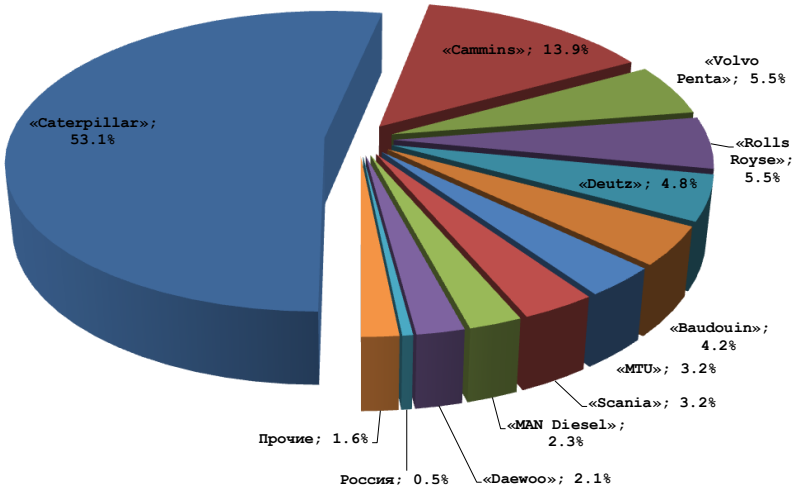


Рис. 7. Распределение судовых высокооборотных двигателей, устанавливаемых в качестве главных, по изготовителям

Для примера на рисунке 8 показана современная система электронного управления фирмы «Caterpillar», которая может быть использована и объединена с АИС.

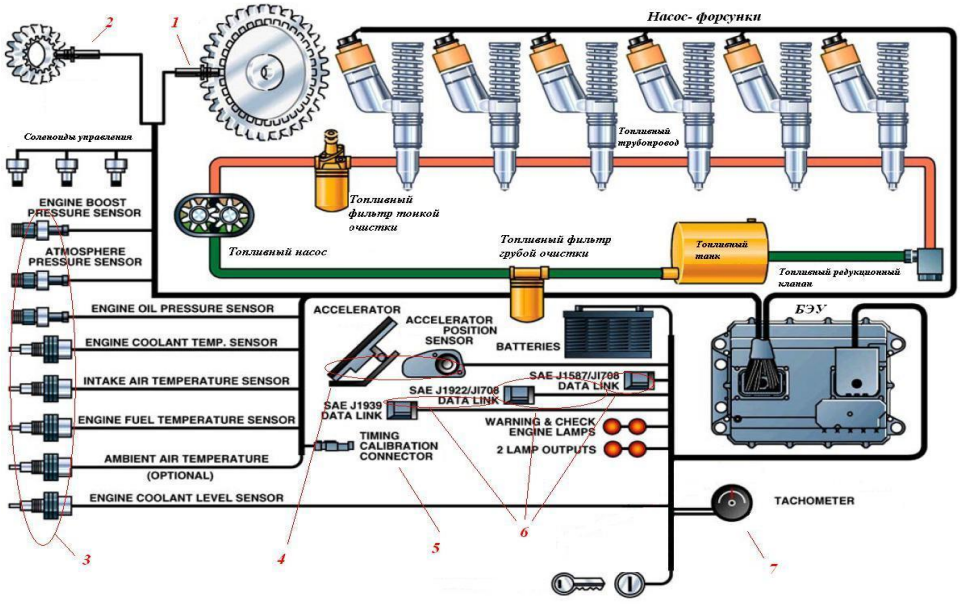


Рис. 8. Электронная система управления двигателем CAT 3512B: 1-датчик частоты вращения коленчатого вала; 2- датчик положения распределительного вала; 3- контролирующие элементы системы управления; 4- регулятор оборотов; 5- соединительный выход для устройства калибровки; 6- канал передачи данных CAT; 7- указатель оборотов двигателя

Для выполнения функций оцифровки и регистрации аналоговых сигналов, поступающих с первичных преобразователей, и их обработки в режиме реального времени в составе технических средств АИС,

предусмотрены отдельные подсистемы, которые интегрированы в блок электронного управления (БЭУ) дизельного двигателя фирмы «Caterpillar» для проверки работоспособности системы и возможности их объединения. Каждая из подсистем выполнена на базе малогабаритного компьютера и содержит в своем составе АЦП, измерительные каналы, образованные первичными преобразователями с необходимыми устройствами коммутации и согласования аналоговых сигналов и является измерительным модулем (МИ).

С помощью многоканальной автоматизированной измерительной системы и заложенной в нее программы по известным кодам осуществляется диагностика двигателя. Результаты диагностики в режиме реального времени могут выводиться на дисплей и пульт управления двигателем.

БЭУ контролирует следующие теплотехнические параметры двигателя: температура воздухоохладителя; сопротивление воздушного фильтра; атмосферное давление; давление наддувочного воздуха; состояние холодного режима двигателя; температура охлаждающей жидкости; давление в картере; отключение цилиндра; напряжение питания БЭУ; частота вращения двигателя (фактические мин-1);частота вращения двигателя (требуемые мин-1); состояние систем двигателя; состояние сигнально-предупредительных систем двигателя; температура отработавших газов; давление топлива; давление масла; положение топливной рейки в процентах; номинальный предел подачи топлива; общее потребление топлива; в случае отклонения параметров от установленных предельных (максимальных) значений формируются диагностические сообщения, которые сохраняются в памяти средств управления и диагностики двигателя.

Электронный инструмент АИС может использоваться для программирования параметров конфигурации системы. Эти параметры включают серийный номер двигателя и заводское обозначение двигателя. Между электронным инструментом и соединителем канала передачи данных установлен связной адаптер, который преобразует данные на языке канала данных в язык, используемый в АИС для обслуживания и отображения в реальном масштабе времени всей информации для диагностики состояния двигателя.

Оператор наблюдает за двигателем во время его работы, считывая показания приборов, выведенных на приборную панель. При возникновении кодов неисправности, двигатель реагирует согласно заложенной в него программы, в это время оператор должен найти интерпретацию на

соответствующий код и принять соответствующие меры. Что приводит к определенным временным трудностям. Средства диагностики АИС представлены виде одной компьютерной программы и адаптера (рисунок 9), который используется, например, в дизельных двигателях фирмы «Caterpillar», связующего двигатель и компьютер. На монитор компьютера выводятся данные по двигателю в режиме реального времени.



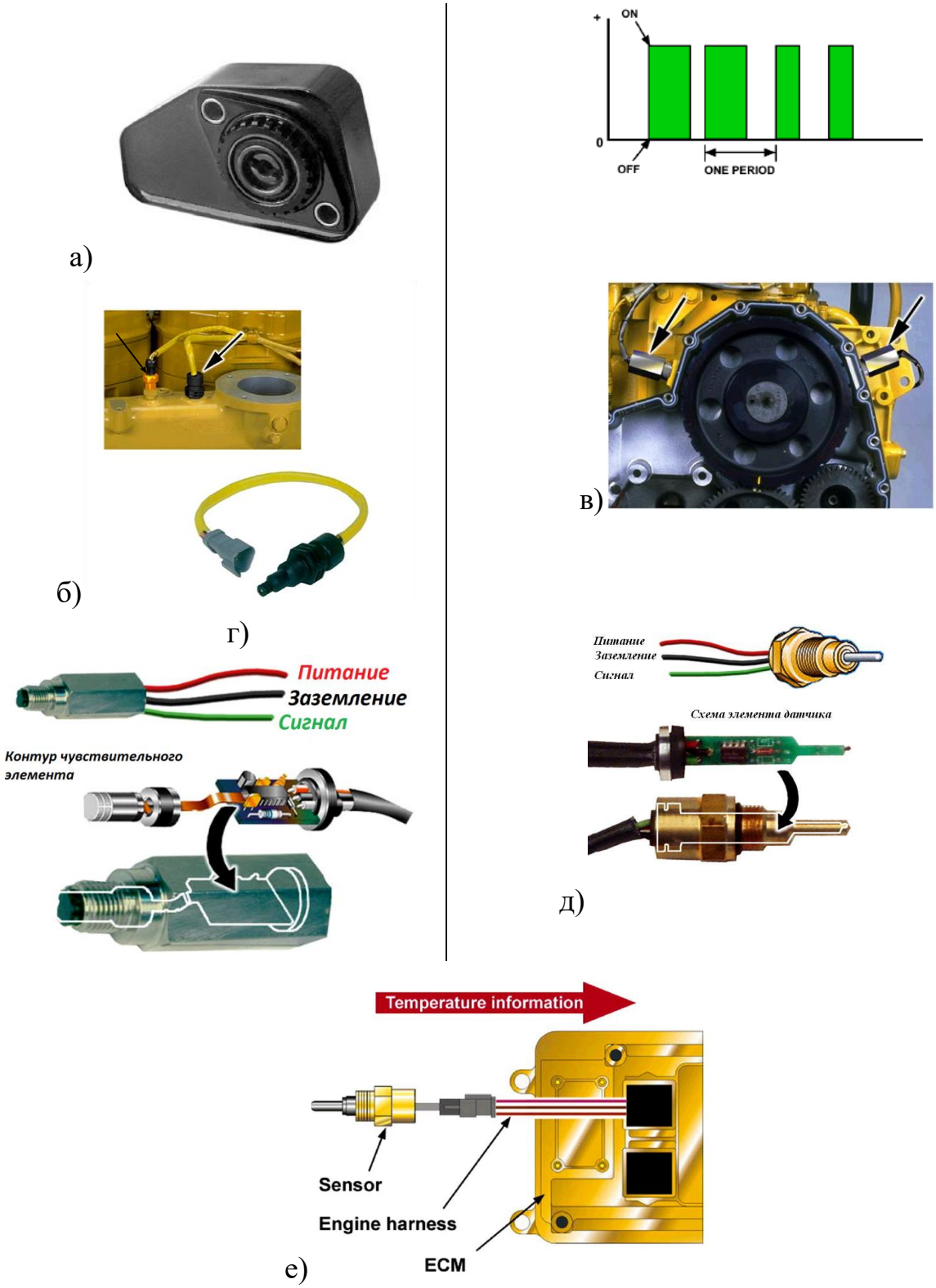
Рис. 9. Общий вид диагностического оборудования МАИС:
1 – АИС; 2 – АЦП; 3 – ПК

При загрузке программы на ноутбуке происходит автоматическое подключение к АИС. По умолчанию активируется окно с заводскими данными и серийным номером двигателя. Имея активный код (действующая ошибка – «active code»), оператору выдается предупреждение о характере неисправности. Далее, по запрограммированному алгоритму, АИС задает режим работы двигателя: ограничение нагрузки (действуя на электронный регулятор), останов двигателя (срабатывание системы защиты), сигнализация (достижение рабочих параметров уставок). Если в процессе эксплуатации выходит кратковременный сигнал одной и той же ошибки, то МАИС сохраняет данный код в «системе сохранения данных» («logged code»), указывая количество, время первого и последнего срабатывания. При этом указывается наработка двигателя.

Чтобы память системы не заполнялась из-за сохранения возникающих ошибок – МАИС проводит самодиагностику. Данные ошибки удаляются, очищая при этом блок памяти, если они в течение 100 часов работы двигателя не возникают заново. При этом компьютер двигателя анализирует неисправности на предмет значимости. Т.е. наиболее важные ошибки, влияющие на характеристики работы двигателя, остаются в памяти («event code») и без соответствующего пароля, который вводит оператор, не

удаляются.

В качестве контролирующих элементов системы являются сенсоры (датчики), которые подразделяются на аналоговые и цифровые (рисунок 10).



а) в) б) г) д) е)

Рис. 10. Примеры установки датчиков на двигателе и их общий вид: а) пример цифрового датчика двигателя ON – включено; OFF – выключено; One period – период; б) пример установки датчика температуры

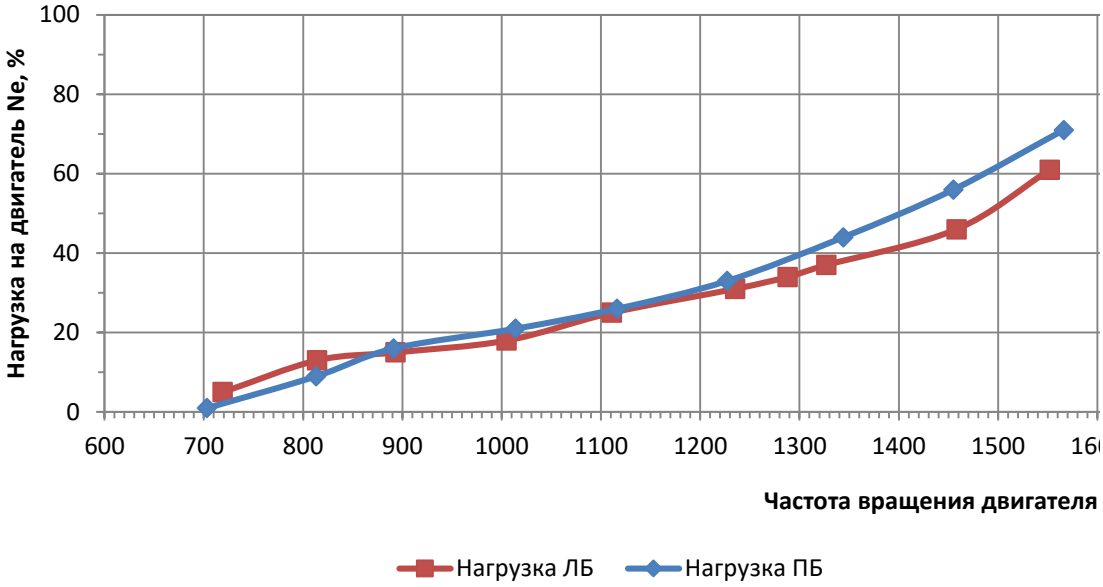
и давления на двигателе (наддувочного воздуха); в) расположение датчиков вращения коленчатого вала двигателя; г) общий вид датчика частоты вращения коленчатого; д) общий вид датчика температуры двигателя; е) взаимодействие датчика температуры и блока электронного управления: sensor – датчик; tngine harness – жгут проводов; ECM – блок электронного управления; temperature information – показание температуры

АИС выводит на экран оператора зависимость нагрузки Ne на двигатель от частоты вращения n (рисунок 11,а). Что является примером работы датчика частоты вращения, который передает сигнал в систему АИС для сравнения с требуемым значением (положением рукоятки оборотов). После этого по запрограммированному алгоритму АИС выводит на экран оператора значение нагрузки Ne %. Принцип взаимодействия датчика давления с АИС аналогичен датчику температуры. АИС непрерывно следит за изменением давления в системе и предупреждает оператора при выходе значения за установочные пределы.

Алгоритм вывода данных на монитор оператора программируется в настройках системы МАИС. На рисунке 11,б показан пример сравнения зависимости давления наддувочного воздуха от частоты вращения ГД левого и правого бортов. Разница давлений наддува ГД ЛБ и ПБ при частоте вращения 1500 мин-1 составляет 40 кПа. Для определения причин разницы давлений, оператор выводит на монитор переносного компьютера расширенный список контролируемых параметров, по которым можно определить прямую и косвенную причину расхождения значения давлений.

На рисунке 6 представлена зависимость изменения температуры охлаждающей жидкости от времени работы двигателя на установившихся режимах (линия 2). График зависимости хорошо показывает изменение температуры и значение уставки (линия 1), где видно, что температура находится рабочем диапазоне. На рисунке 7 показана зависимость изменения температуры отработавших газов от частоты вращения двигателя при швартовном и ходовом режиме ГД правого и левого борта. Разница температуры на режимах 40 – 50 ºС не превышает запрограммированной уставки (702 ºС).

а)



б)

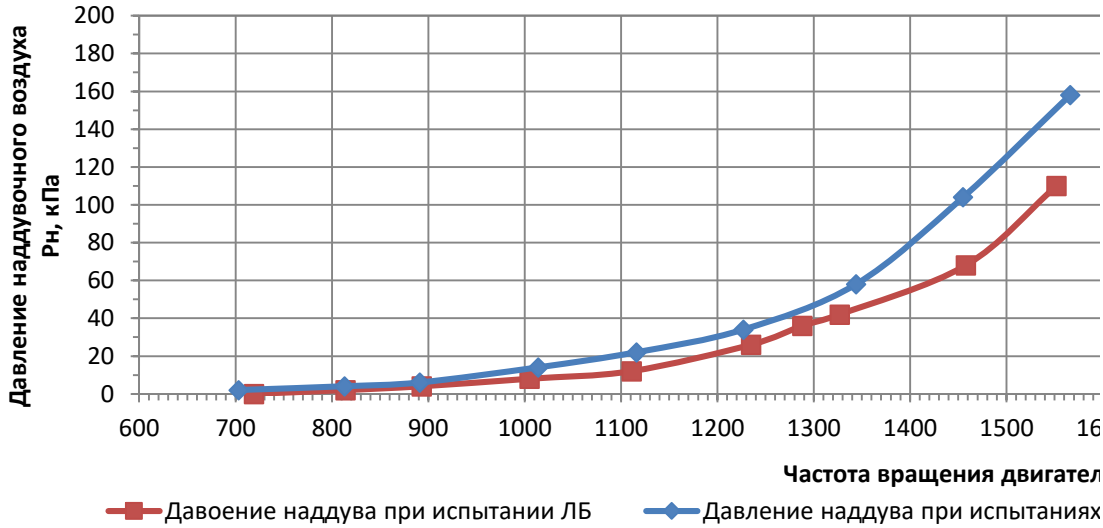


Рис. 11. Зависимость параметров работы от частоты вращения на двигатель: а) нагрузки; б) частоты вращения

В аварийных случаях, когда ставится вопрос о спасении жизни экипажа или двигателя в системе МАИС установлен выключатель системы защиты, который дает возможность оператору отключить систему контроля. Эта функция необходима для управления дизелем в экстренных ситуациях, когда двигатель необходимо вывести на полную мощность. Однако, нельзя отключить систему останова при снижении давления моторного масла ниже уставки и при превышении оборотов коленчатого вала выше допустимого предела. Этим выключателем можно пользоваться при выполнении ответственных маневров для того, чтобы исключить опасность неожиданного останова двигателя. Этот переключатель имеет два положения - «ВКЛЮЧЕНО/ВЫКЛЮЧЕНО», он расположен на панели электронных

приборов. При нахождении выключателя в положении «ВЫКЛЮЧЕНО» система контроля работает нормально.

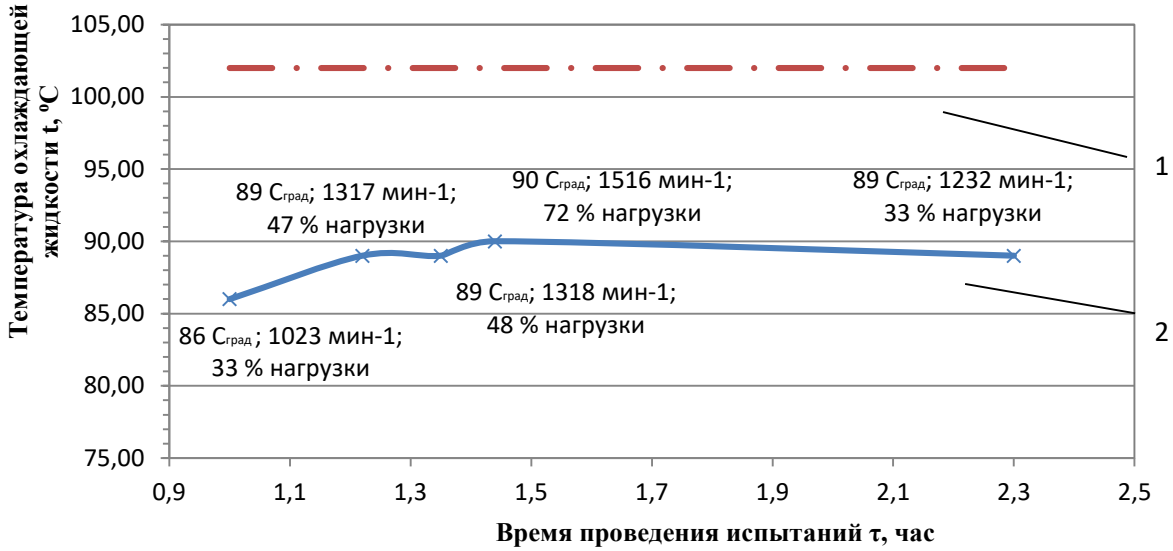


Рис. 12. Изменение температуры охлаждающей жидкости двигателя CAT 3500 морского буксира при ходовом режиме

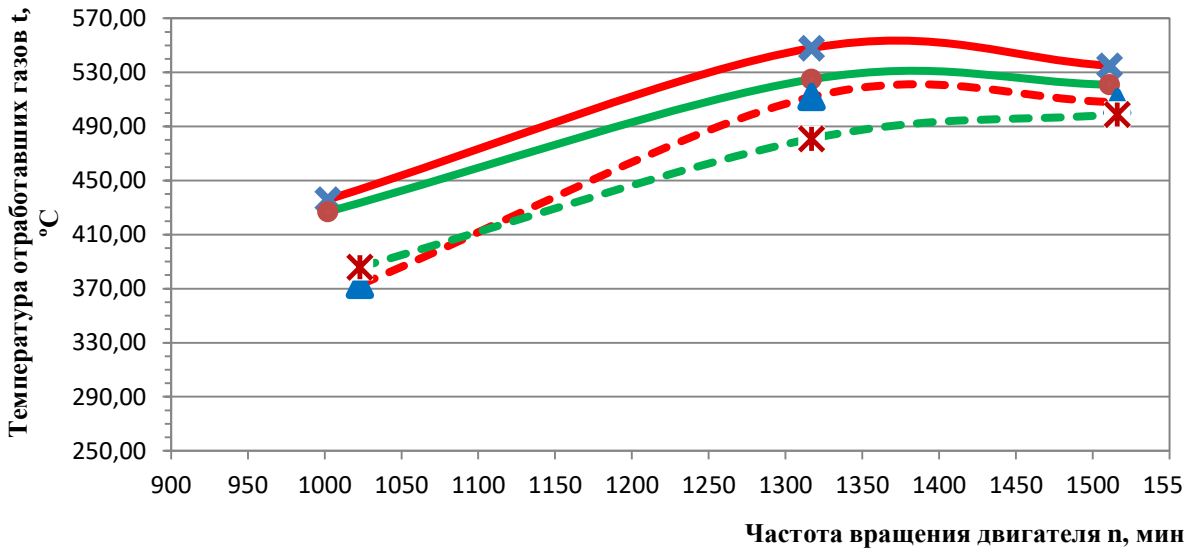


Рис. 13. Зависимость температуры отработавших газов при швартовных и ходовых испытаниях от частоты вращения двигателя CAT 3500 морского буксир

и - коллектор отработавших газов левого борта при швартовных и ходовых испытаниях;

и - коллектор отработавших газов правого борта при швартовных и ходовых испытаниях

При установке выключателя в положение «ВКЛЮЧЕНО» происходит

отключение системы контроля. При этом все предупредительные сигналы будут продолжать нормально функционировать. Снижение мощности не производится. Каждый раз при установке выключателя в положение «ВКЛЮЧЕНО» или «ВЫКЛЮЧЕНО» в памяти АИС регистрируется событие.

Базовыми элементами АИС являются модули (подсистемы) обработки и регистрации сигналов, выполненные с использованием малогабаритных компьютеров (ноутбук, малогабаритный промышленный компьютер для встраиваемых систем), в состав, которых входит АЦП и измерительные каналы, образованные первичными преобразователями с необходимыми устройствами коммутации и согласования аналоговых сигналов. Экспериментальные исследования по разработке технологии и комплексной системы диагностики дизельной установки с использованием АИС, выполненные на ходовом режиме работы двигателя, позволили определить аналогозаменяемость штатных систем управления ВОД, а также более расширенно проводить мониторинг рабочих процессов в любой период времени работы двигателя.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить необходимые условия проведения измерения рабочих параметров комплексной системы диагностики двигателей энергетических установок судов и морской техники.

Получены данные рабочих параметров оценки технического состояния двигателей с электронной системой управления энергетических установок судов необходимо обобщать для конкретных серий судов и двигателей. Обобщенные теплотехнические параметры двигателя могут быть использованы в АИС для удаленных систем контроля действующих морских судов и новых автономных судах

Ссылка на официальный источник: https://aumsu.ru/images/sbornik/vypuski/EMT_1_2021.pdf

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Направления:

1. **Моделирование износа электрических силовых линий морского порта в условиях форсированного потребления электроэнергии**

Техносфера морского порта, в плане потребления электроэнергии, обладает особенностью, связанной с концентрацией энергопотребления, как в пространстве, так и во времени. В особенности это характерно для технологического процесса в морском порту, связанного с погрузкой и разгрузкой крупнотоннажных судов (60 тыс. тонн и более). Имеется особенность и в размещении, как в пространстве, так и во времени энергоемкого электрооборудования (портальных кранов), которые сосредотачиваются на определенное время, на узком и насыщенном автотехническими средствами пространстве пирсов. При этом морские краны потребляют более 80% всей потребляемой портом электроэнергии. Как показывает практика, эти особенности сказываются на работоспособности и, в конечном счете, на износе причальных, электрических силовых линий морского порта. Под износом электрических силовых линий будем понимать процесс и результат частичной или полной потери ими определяющих технических характеристик и качеств. Имеются трудности и в оценке времени износа электрических линий, снабжающих энергией электрооборудование, обеспечивающее погрузочно-разгрузочный процесс. Такое положение связано, с ограниченным объёмом данных, которые можно практически получить в условиях производственного процесса (а также длительным временем износа силовой линии до предельного состояния), однако эти данные, в случае использования классической теории вероятности, необходимы, чтобы практически построить функции распределения времени наработки до отказа и другие статистические характеристики. Извлечь же необходимые данные путем практических измерений, в условиях технологического процесса с целью получения значимых результатов, не представляется возможным.

Чтобы оценить количественно степень износа линии в рассматриваемой постановке (с ограниченным объемом данных), в данной работе, используется математическое моделирование исследуемого процесса износа

в виде функции многих переменных с использованием понятия нечетких (размытых) данных.

Роль черноморских портов нашей страны с 1991 года принципиально изменилась, а с 2001 годов существенно возросла их значимость, в силу возросших объемов обрабатываемых грузов. Возросла также интенсивность морского судоходства в этом районе и, соответственно, возросла нагрузка на электроэнергетическое оборудование морских пирсов и причалов. Порт функционирует круглосуточно и часто с нагрузкой, приближающейся к максимальной. В тоже время, в целях скорейшей погрузки и разгрузки судов используется интенсификация этого технологического процесса. Ускоренная обработка большого количества грузов ведет к возрастанию потребления электрической энергии, часто превышающей технические возможности существующих силовых линий порта. Например, при погрузке крупнотоннажного судна могут принимать участие до пяти мощных портальных кранов, потребляющих сотни киловатт электроэнергии. В таких условиях по силовым линиям течет ток, превышающий допустимый для данного типа кабелей, что ведет к разогреву кабеля и ускорению его износа.

При математическом моделировании функционирования электрической силовой линии, рассматриваемая задача обеспечения её работоспособности требует введения базового понятия повреждения силовой линии. Под повреждением силовой линии будем понимать событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния. Несмотря на то, что повреждения не препятствуют применению объекта по назначению, но их опасность состоит в том, что в будущем с неизбежностью (по причине накопления повреждений) происходит разрушение объекта. Способность, в таких условиях, силовой линии обеспечивать энергией технологический процесс, в литературе определяется как её живучесть.

Моделирование в виде трехмерной математической функции, отображающей износ силовой линии

Исходя из сказанного, в настоящей работе формулируется и решается задача с введением модели в виде трехмерной математической функции, отображающей износ силовой линии. Сущность её состоит в количественном представлении времени наработки T силовой линии, когда она подвергается форсированным технологическим режимам при погрузке и разгрузке судна. При этом потребляется дополнительная энергия, ток в линии возрастает выше установленного предела для данного кабеля, в течение некоторого

времени t. В течение этого времени в линии действуют повреждающие факторы. Для количественной оценки состояния силовой кабельной линии при ограниченных данных, работающей в форсированных технологических режимах, предлагается трехмерная математическая функция, описывающая процесс снижения ресурса в зависимости от введенных переменных. Трудным аспектов рассматриваемой задачи, является ограниченность и неполнота информации, а также, возникающие в связи с этим, неопределенности в фиксируемых (возможно и экспертных) данных.

Для построения математической модели, введем переменные, которые будут представлять это количественно. Процесс форсирования технологического режима представляется временем t, как уже было сказано, в течение нескольких часов. Это сопровождается ростом, величины тока I в линии, который влияет на этот процесс посредством разогрева бумажной изоляции линии. Переменной является и величина температуры θ окружающей среды.

В результате, для количественного формулирования задачи используем функцию $Fs(t,I,\theta)$, зависящую от переменных t,I,θ, которая представляет суммарные повреждения силовой линии (износ) при форсировании технологического режима, и называется функцией сокращающегося временного ресурса.

Под ресурсом, в рассматриваемом случае, понимается наработка силовой линии до достижения ею предельного состояния, оговоренного в эксплуатационной технической документации

Численное значение функции $Fs(t,I,\theta)$ представляет потерю части времени наработки вследствие действия повреждающих факторов от общего времени $T_н$ наработки кабельной линии в состоянии без повреждающих факторов.

С учетом введенных составляющих, сформируем явный вид математической модели, представляющую функцию сокращающегося временного ресурса наработки. Эта функция включает следующие выражения:

– функцию влияния времени форсированного технологического процесса на наработку силовой линии $f_t(t) = \exp\left(a \cdot \frac{t}{t_{bas}}\right)$;

– функцию влияния величины тока в линии на наработку до отказа

линии $f_I(I)=\left(\frac{I}{I_{bas}}\right)^b$;

– функцию влияния температуры среды на наработку до отказа линии: $f_\theta(\theta)=\exp\left(c\cdot\frac{\theta}{\theta_{bas}}\right)$.

Здесь a,b,c, искомые константы, а $t_{bas}, I_{bas}, \theta_{bas}$ – нормирующие величины.

В работах по разрушению в процессе эксплуатации электротехнических, изоляционных материалов отмечается, что эти материалы начинают интенсивно разрушаться, когда неблагоприятные воздействия на них (во многих случаях, температура) превышают предельно допустимые значения [2,4]. Из теории материалов известно, что скорость химических реакций существенно зависит от температуры и, во многих случаях, описывается экспоненциальным законом [4]. Учитывая эти закономерности, а также то, что все рассматриваемые, неблагоприятные факторы воздействуют одновременно на материал изоляции силовой линии, примем в качестве математической модели, описывающей деградацию линии, многомерную функцию, представляющую произведение $\prod_{i=1}^{3} f_i(x)$ приведенных выше функций: $f_T(t)\cdot f_I(I)\cdot f_\theta(\theta)$.

Окончательный вид формируемой функции сокращающегося временного ресурса представляется выражением:

$$Fs(t,I,\theta)=A\cdot\exp\left(a\cdot\frac{t}{t_{bas}}\right)\cdot\left(\frac{I}{I_{bas}}\right)^b\cdot\exp\left(c\cdot\frac{\theta}{\theta_{bas}}\right) t\ge 0, I\ge I_{\partial on}, \theta\ge 0,$$

где $t_{bas}, I_{bas}, \theta_{bas}$ – нормирующие константы для переменных, а сами значения переменных $t\ge 0, I\ge I_{\partial on}$ в этой функции представляются для области возникновения повреждений.

Для определения неизвестных параметров A,a,b,c, необходимо функцию $Fs(t,I,\theta)$ линеаризовать с помощью логарифмирования:

$$\ln\left(Fs(t,I,\theta)\right)=\ln(A)+a\cdot\left(\frac{t}{t_{bas}}\right)+b\cdot\ln\left(\frac{I}{I_{bas}}\right)+c\cdot\left(\frac{\theta}{\theta_{bas}}\right), \quad (1)$$

Коэффициенты A,a,b,c определяются из совокупности линейных уравнений, получаемых подстановкой в функцию (1) различных значений t_i, I_i, θ_i, $i=1,....,n$. Определяющая параметры A,a,b,c система уравнений представляется в виде:

$$\begin{cases} \ln Fs(t_1, I_1, \theta_1) = \ln(A) + a \cdot \left(\frac{t_1}{t_{bas}}\right) + b \cdot \ln\left(\frac{I_1}{I_{bas}}\right) + c \cdot \left(\frac{\theta_1}{\theta_{bas}}\right) \\ \ln\left(Fs(t_2, I_2, \theta_2)\right) = \ln(A) + a \cdot \left(\frac{t_2}{t_{bas}}\right) + b \cdot \ln\left(\frac{I_2}{I_{bas}}\right) + c \cdot \left(\frac{\theta_2}{\theta_{bas}}\right) \\ \ldots\ldots\ldots\

результатов времени наработки заключатся в недостатке собираемых данных в исследуемом порту и большим разбросом их значений, особенно, при использовании данных других близких портов Черноморского побережья. Использовать методы теории вероятностей в такой ситуации невозможно вследствие отсутствия данных о законах распределения исследуемых случайных данных.

Для устранения трудности, связанной размытостью (неопределенностью) данных воспользуемся методами нечеткого анализа. Учитывая большую размерность рассматриваемой задачи, для определения нечеткого выходного вектора наработки и выходных функций принадлежности нечетких чисел, воспользуемся имеющимися данными о параметрах t_i, I_i, θ_i. В соответствие с нечетким анализом, поставим величинам t_i, I_i, θ_i в соответствие функции принадлежности $\mu_T(t), \mu_I(I), \mu_\theta(\theta)$, и, далее, воспользуемся разработанными в Mathcad программами для вычисления нечеткого времени наработки силовой линии. Алгоритм, в соответствие с заданными функциями принадлежности, многократно вычисляет время сокращающегося ресурса наработки из системы уравнений (3) и представлен на Рис. 14.

Режим форсированного технологического процесса и, соответственно, наличие повреждающих факторов, как было сказано выше, в масштабе времени общей наработки до отказа силовой линии, имеет малую длительность, но повторяется во времени так, что результаты повреждений силовой линии накапливаются по мере её наработки до предельного состояния.

Для практического вычисления времени предельной наработки (предельного износа) с учетом форсированных технологических режимов и накопления повреждений, необходимо в первую очередь знать потребляемый ток при форсированных режимах, который достигает значений $I_{\max} > 700 - 900A$.

Опыт свидетельствует, что время протекания повышенного тока составляет t = 5-7 час. В этом случае ток имеет значение $I = 700\text{-}900A$, внешняя температура $\theta = 15^0\text{-}20^oC$. Число форсированных технологических режимов в течение года в среднем наблюдается в количестве $n = 4\text{-}5$ раз. С учетом значений приведенных переменных предельное время силовой линии T является разностью между наработкой при номинальном режиме $T_н$ и суммарной функцией временного ресурса.



Рис. 14. Схема алгоритма вычисления времени сокращающегося ресурса наработки

Суммарная функция сокращающегося временного ресурса, вследствие накопления повреждений $\sum_{i=1}^{N} Fs(t,I,\theta)_i$, где N – число форсированных технологических режимов за время работы силовой линии. Общая наработка силовой линии с учетом суммарной функции сокращающегося временного ресурса, будет иметь вид:

$$T = T_н - \sum_{i=1}^{N} Fs(t,I,\theta)_i .$$

В исследованиях срока службы кабельных линии с бумажной изоляцией, приведены оценки работы кабельной изоляции. Так при нормальном режиме (ток $I < 400-500A$, температура изоляции не превышает 80оС) время наработки кабеля при этом составляет 35 - 40 лет.

Суммарная функция сокращающегося временного ресурса с учетом, приведенных аппроксимаций и уравнения (1), имеет вид:

$$FRs(t,I,\theta)=\sum_{k=1}^{N}\exp\left[b_{1,k}+b_{2,k}\cdot\frac{t}{t_{bas}}+b_{3,k}\cdot\ln\left(\frac{I}{I_{bas}}\right)+b_{4,k}\cdot\frac{\theta}{\theta_{bas}}\right],$$

где $b_{1,k},b_{2,k},b_{3,k},b_{4,k}$ – коэффициенты, представляющие функцию $Fs(t,I,\theta)$, N – количество форсированных режимов, вносящие повреждающие факторы, в течение времени эксплуатации силовой линии.

Вычисление суммарного значения функции сокращающегося временного ресурса линии $FRs(t,I,\theta)$(наносимого ущерба в годах), в соответствие с приведенной формулой в математическом редакторе Mathcad, дает результат при значениях переменных $t=8$ ч, $I=650$ А, $\theta=15\ ^{o}C$:

$$FRs(t,I,\theta)=FRs(8,650,15)=11.199 \text{ лет.}$$

Величина времени T наработки в условиях форсирования режимов, если принять, что в нормальных режимах наработка составляет $T_{н}=40$ лет:

$$T=T_{н}-FRs(t,I,\theta)=40-11.199=28.801 \text{ лет.}$$

В виду неточности и элементов неопределённости в данных при расчетах времени наработки и обоснованности окончательных результатов, воспользуемся методами теории нечетких (размытых) множеств. При этом степень нечеткости (размытости) будем задавать шириной (дисперсией) функции принадлежности [6,7,8,11]. Отметим, что такой переход от неточных величин к нечетким величинам, называется фаззификацией. Для этой цели ранее были введены в рассмотрение функции принадлежности нечетких параметров t,I,θ:

$$\mu_{T}(t)=\exp\left[-\left(\frac{t-t_{s}}{\sigma_{t}}\right)^{2}\right],\quad \mu_{I}(I)=\exp\left[-\left(\frac{I-I_{s}}{\sigma_{I}}\right)^{2}\right],\quad \mu_{\theta}(\theta)=\exp\left[-\left(\frac{\theta-\theta_{s}}{\sigma_{\theta}}\right)^{2}\right],$$

где $\sigma_{t}=0{,}1\cdot t_{s}$, $\sigma_{I}=0{,}1\cdot I_{s}$, $\sigma_{\theta}=0{,}1\cdot\theta_{s}$.

Для определения нечеткой величины времени ущерба t_{Σ} наносимого силовой линии при форсированных режимах, был разработан алгоритм, в математическом редакторе Mathcad, позволяющий получить окончательный результат в виде функции принадлежности $\mu_{\Sigma}=FUZZY(t,I,\theta)$, представляющей это нечеткое время ущерба (Рис. 15).

Графическое представление функции принадлежности $\mu_{\Sigma}=FUZZY(t,I,\theta)$ приведено на рисунке 2 при значениях, $t=8$ ч, $I=650$ А, $\theta=15\ ^{o}C$. Максимум функции принадлежности соответствует суммарному времени ущерба равному 11 лет.

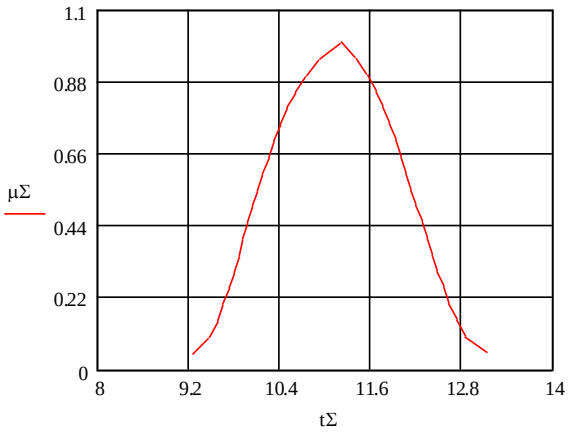


Рис. 15. Представление функции принадлежности $\mu_{\Sigma} = FUZZY(t, I, \theta)$, представляющей, нанесенный силовой линии ущерб (сокращение времени наработки) в годах

Опыт показывает, что многие портовые силовые кабели, введённые в эксплуатацию в начале 60-х годов прошлого века, проработали практически 40-45 лет, в это время, основной поток грузов на Чёрном море проходил не через российские порты. Когда ситуация после 1991 года, особенно с 2001 годы, кардинально поменялась, нагрузка на российские портовые причальные силовые линии возросла в разы. Это определило необходимость форсирования технологических процессов и повышение нагрузки силовых кабельных линий, в результате чего время наработки кабельных линий до предельного состояния существенно сократилось, и потребовались дополнительные меры обеспечения непрерывной работоспособности.

Представленная математическая модель позволяет количественно оценить время наработки при использовании форсированных технологических режимов и повышенного потребления энергии, а также оценить степень снижения времени наработки, в результате суммарного действия повреждающих факторов, для произвольного момента времени в условиях эксплуатации. Сравнение моделированной наработки силовой линии и выбранной для сравнения (эксплуатируемая с наработкой $T_{н} \approx 36$ лет), подтверждает справедливость предложенных моделей с приведенной выше точностью.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/

2. Комплекс программ для расчета шума винтов

Из-за сложной природы авиационного шума часто невозможно изучить шум аналитическими методами. Для предсказания шума аналитические методы требуют определенных допущений, и если природа возникновения звука не совсем понятна, возникает вопрос о правомочности этих допущений. Численные методы могут обеспечить альтернативные методы моделирования.

Представленный комплекс программ (Рис. 16) для расчета шума воздушных винтов основан на гибридном методе. Гибридные методы обеспечивают компромисс между точностью и вычислительными затратами при моделировании вычислительной аэроакустики. Такие методы не позволяют напрямую рассчитать излучаемый шум при моделировании. Вместо этого изначально моделируется поле течения, которое затем используется в качестве входных данных для вычисления шума. В данном комплексе программ на первом этапе для моделирования источников шума используется вихревой панельный метод. Расчет акустики выполняется на втором этапе при помощи явных формул Фарассата.

Программный комплекс позволяет проводить расчет и визуализацию динамики развития вихревых следов, сходящих с лопаток винтов, а также взаимодействие вихревой пелены, сходящей с лопаток передних винтов, с лопатками задних для соосных противовращающихся винтов (Рис. 17).

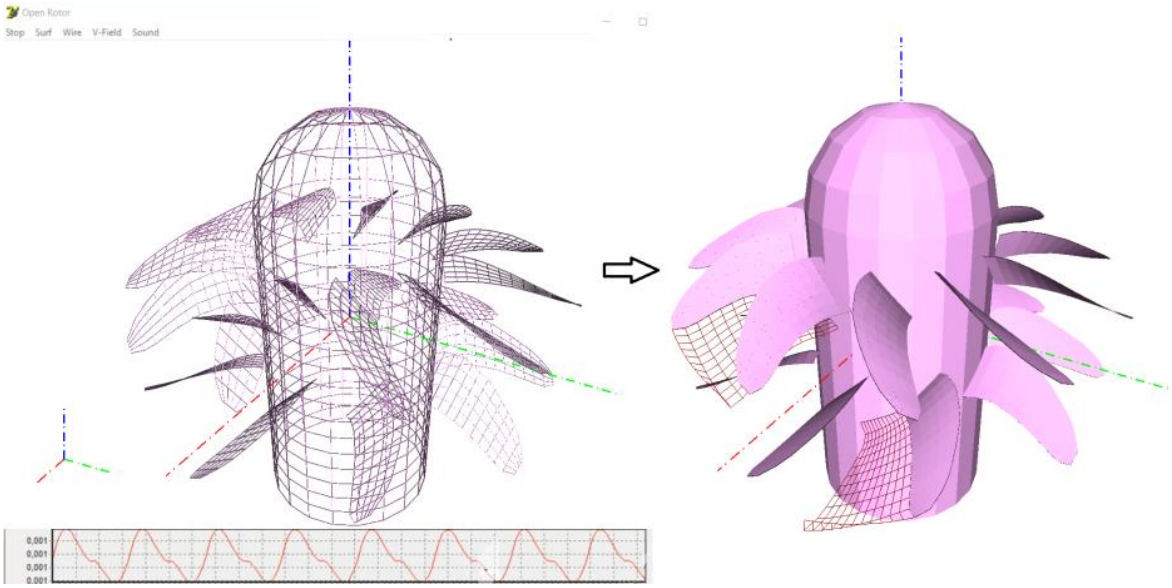


Рис. 16. Внешний вид программного комплекса

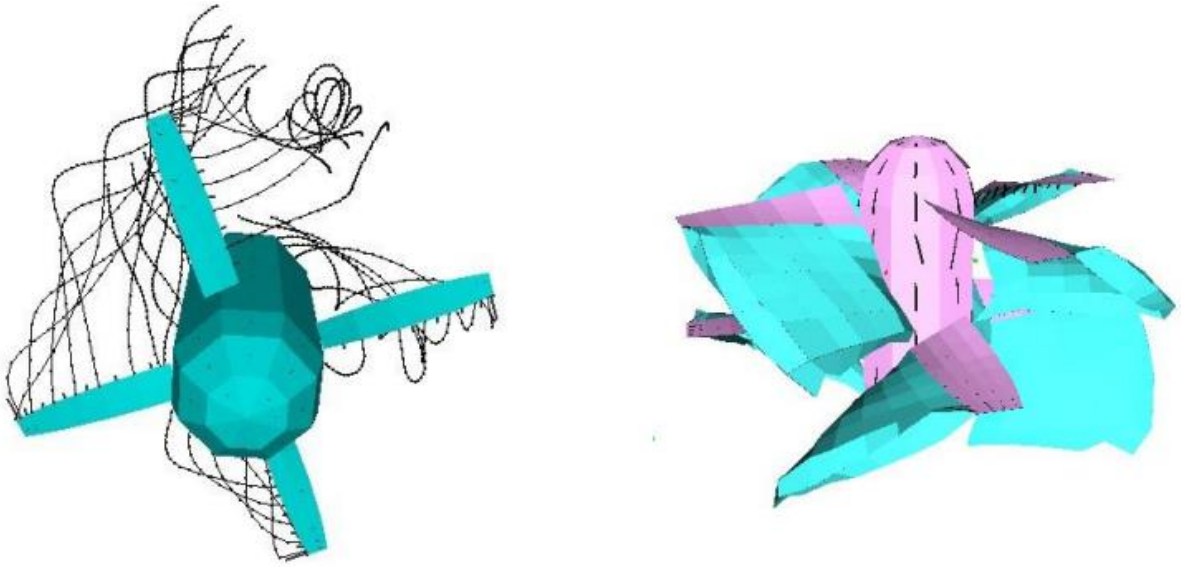


Рис. 17. Вихревые следы, сходящие с лопаток винтов

Для вычисления шума давление накапливается на контрольной поверхности (рис. 18).

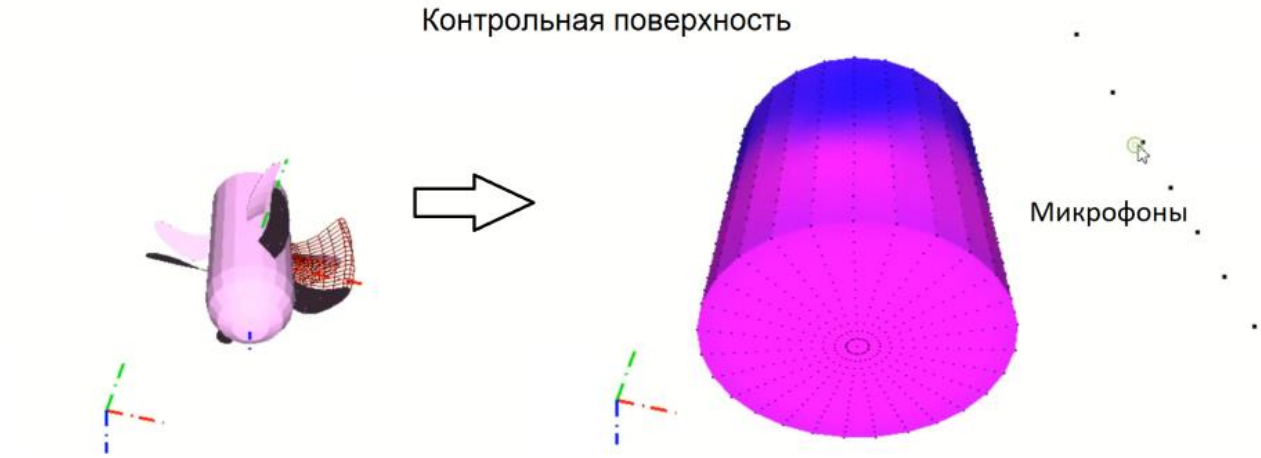


Рис. 18. Геометрия расчетной области для вычисления акустики

На рис. 19 представлен результат сравнения рассчитанного шума одиночного винта малого масштаба с шумом, полученным в эксперименте.

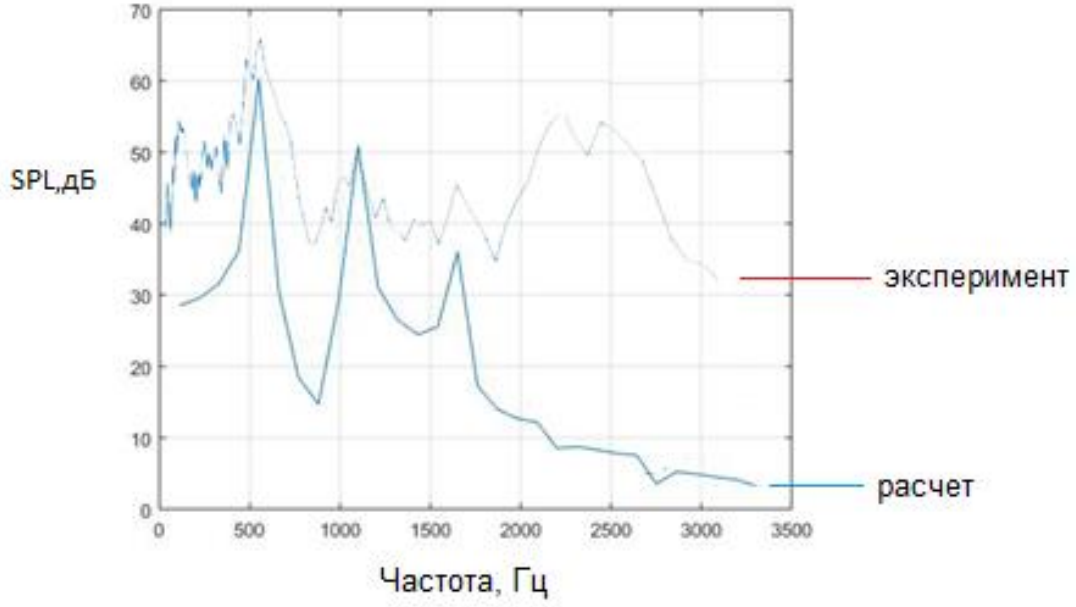


Рис. 19. Сравнение предсказанных значений шума с экспериментальными данными

На рис. 20, 21 представлено сравнение результатов расчета шума, полученного авторским программным комплексом, с результатами расчетов, выполненных в программе NASA. Сравнивались «суммы» тонов частоты следования лопастей винтов типа F7/A7: $f_{nm}= n*BFP_1 + m*BFP_2$, где BPF_1, BPF_2 – частота следования лопастей переднего и заднего винта соответственно, n,m – целые числа.

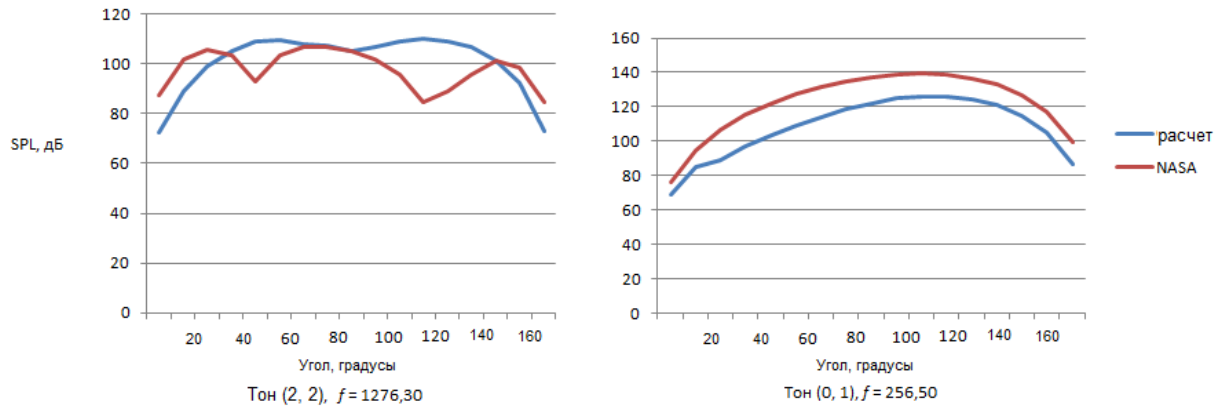


Рис. 20. Сравнение расчетных данных для винта типа F7/A7 для разных тонов (передний винт 3 лопатки, задний – 2)

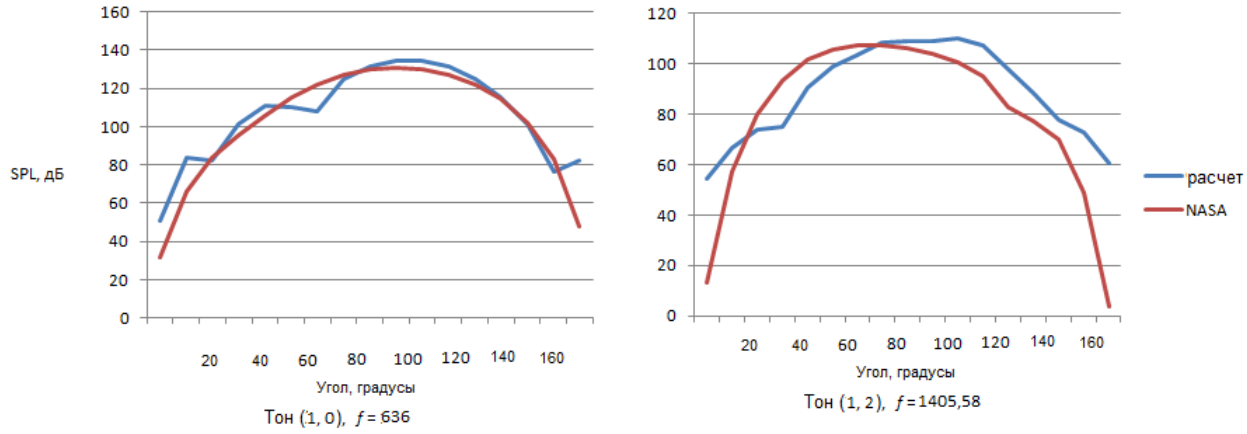


Рис. 21. Сравнение расчетных данных для винта типа F7/A7 для разных тонов (передний винт 5 лопаток, задний – 3)

Расчеты, проведенные представленным программным комплексом, показали приемлемую точность предсказания тонального шума винтов.

Ссылка на официальный источник: http://ceaa.imamod.ru/files/Agenda_Forum.pdf

3. Генератор регулярных ортогональных сеток для численного решения задач газовой динамики

Решение системы уравнений газовой динамики сеточными методами требует задания геометрии проточной части на вычислительной сетке. Построение качественной вычислительной сетки является нетривиальной задачей вычислительной математики, решение которой зачастую оформляется в виде отдельного сеточного генератора. Усилия разработчиков методов дискретизации расчетной области сосредоточены на возможно более точной аппроксимации поверхности обтекаемых тел, в связи с чем широкое распространение получили следующие подходы:

- подсеточное разрешение геометрии на нецелых ячейках;
- применение криволинейных регулярных сеток;
- переход к нерегулярной сетке с тетраэдрическими или гексаэдрическими элементами.

Недостатком перечисленных подходов является геометрическая неоднородность получаемой сетки, в связи с чем в решении не исключено появление чисто сеточных эффектов, особенно в областях изменения размеров элементов сетки (например, перестройка профилей ударных волн, осцилляции сеточной вязкости и т.п.). Неоднородная по размерам сетка для явных сеточных методов также приводит к уменьшению шага по времени

вследствие ограничений, накладываемых условием устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ).

Конечно-разностные методы дают возможность получать решения уравнений в геометрически сложных областях на декартовых сетках. Построение декартовых сеток достаточно экономично, но гладкие границы декартовыми сетками аппроксимируются довольно плохо.

В рамках метода особенностей может быть реализован принципиально иной подход к описанию тонких геометрических структур, обтекаемых тел. Суть его заключается в наложении на поток таких источников энергии и импульса, которые эквивалентны по своему воздействию на поток взаимодействию с твердой стенкой. В этом случае требования к описанию геометрии могут быть существенно упрощены.

Построение расчетных сеток.

Расчетная область отображается на гексаэдральную прямоугольную сетку. Гексаэдральные сетки имеют ряд преимуществ:

- обеспечивают более точные решения по сравнению с тетраэдральными;
- позволяют получать приемлемые результаты при сильно перекошенных ячейках, в то время как тетраэдральные сетки уже при слабых степенях перекоса вносят критические ошибки;
- дают возможность без снижения точности измельчать сетку только в одном направлении, например в пограничном слое по нормали к стенке;
- гарантируют меньшее общее количество ячеек.

Сетка произвольным образом пересекает поверхность модели. Такой подход к построению сетки наиболее универсален, надежен, прост в использовании и является отличительной особенностью ряда прикладных программных продуктов. Основной недостаток таких сеток состоит в трудности аппроксимации достаточно сложных расчетных областей прямоугольными границами. В этом случае декартовы сетки из-за локального вырождения либо не могут быть построены в принципе, либо оказываются далекими от оптимальных, что приводит к большим вычислительным погрешностям. На рис. 1 приведен пример обтекания гладкой поверхности (цифра 1, Рис. 22), аппроксимированной прямоугольной сеткой (цифра 2 на Рис. 22). Видно, что вместо гладкого реализуется ступенчатое обтекание (линия тока – цифра 3 на Рис. 22), повторяющее контур прямоугольной сетки.

Для учета направляющих свойств поверхностей тел на относительно грубых декартовых сетках используется изоэнтропическая модель взаимодействия, учитывающая тот факт, что поверхностные силы не совершают работы в системе отсчета, связанной с обтекаемым объектом. Такая модель оперирует представлением о силовом воздействии на лагранжеву частицу, которая из начального положения по истечении малого промежутка времени приобретает заданное направление движения. Данная модель позволяет найти вектор скорости с учетом поворота потока.

Исходными данными для генерации сетки является твердотельная модель геометрии рассматриваемого устройства, выполненная в виде единого твердого тела. Расчетная сетка представляет собой массив ячеек, отделенных друг от друга стенками, которые имитируют наличие тонкостенных тел (Рис. 23).

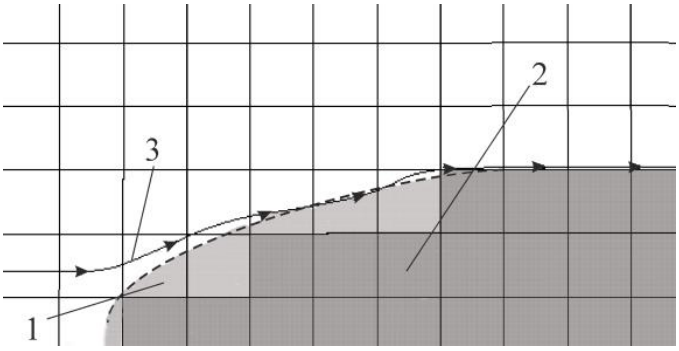


Рис. 22. Обтекание гладкой поверхности

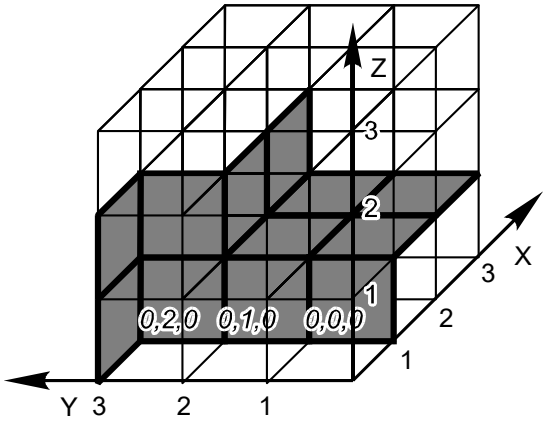


Рис. 23. Ячейки расчетной области со свободными и твердыми границами

Для описания геометрии обтекаемых тел предлагается следующий подход:

1. Учет в ячейке участка 3D поверхности обтекаемого тела:
   - вектор нормали к поверхности обтекаемого тела;
   - относительная площадь омываемой поверхности.
2. Учет в ячейке 3D участка обтекаемого трехмерного твердого тела.

Твердое тело аппроксимируется сеткой из кубических ячеек. Вычислительная ячейка, описывающая участок твердого тела (Рис. 24, а), содержит информацию о твердом теле (Рис. 24, б) и направлении осредненной нормали к поверхности N (Рис. 24, в).

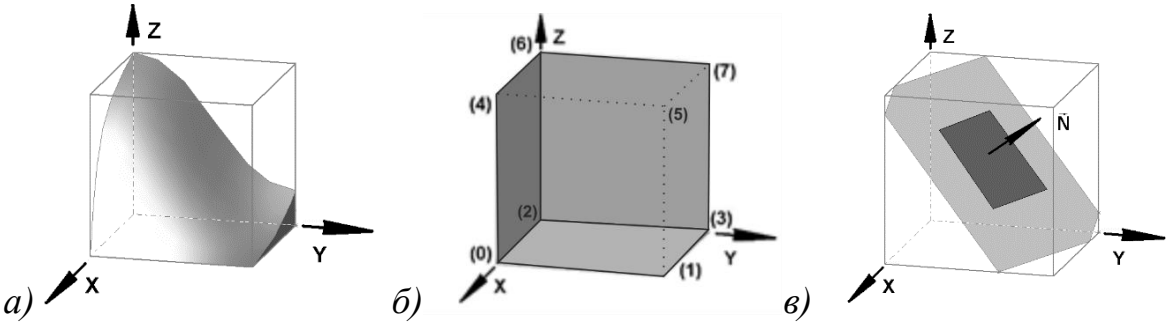


Рис. 24. Вычислительная ячейка (в скобках указана нумерация узловых точек)

При указании в вычислительной ячейке только направления осредненной нормали могут быть аппроксимированы оболочечные и пластинчатые

конструкции. По направляющим углам нормали, используя изоэнтропическую модель взаимодействия, можно определить направление и величину скорости обтекающего твердое тело потока с учетом кривизны поверхности.

Для генерации сеточного представления 3D поверхностей и тел разработан пакет программ (ПП). Пакет реализован в виде приложения SolidWorks, взаимодействие между ПП и SolidWorks осуществляется через SolidWorks API. В качестве языка реализации использован Visual Basic 6.0. В главное меню программы SolidWorks интегрируется дополнительная вкладка с выпадающим списком опций, позволяющая работать с пакетом программ из рабочей среды SolidWorks.

ПП обеспечивает:

- генерацию сетки на основе поверхностей SolidWorks;
- импорт сетки в файл детали SolidWorks (*.sldprt) как набора поверхностей;
- редактирование сетки;
- слияние сеток из 2-х файлов;
- набор функций доступа к сетке из языков высокого уровня (Фортран-90).

Программные модули работы с сеткой в среде SolidWorks интегрированы в меню ПП. Краткая характеристика основных программных модулей представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Программные модули пакета

№	Наименование	Функции
1	MeshProperties	Ввод и коррекция параметров сетки (общие размеры и расположение сеточной области, шаг сетки, пути к файлам)
2	ExportSolidBodyMesh	Генерация аппроксимации твердых тел целыми ячейками
3	LoadSolidBodyMesh	Импорт в SolidWorks файла
4	ExportTangentPlaneMesh	Генерация аппроксимации 3D поверхностей
5	LoadTangentPlaneMesh	Импорт в SolidWorks описания 3D поверхностей

В ПП аппроксимация 3D поверхностей осуществляется на основе триангуляции произвольной поверхности средствами геометрического ядра SolidWorks. Разработанные алгоритмы аппроксимация 3D поверхностей и генерации описания твердотельных ячеек позволили реализовать взаимодействия с ядромSolidWorks.

Пример работы программы представлен на рис. 25 - 28. Запуск программного модуля «MeshProperties» позволяет задать размеры сетки, размеры ячейки, координаты начальной точки и имена выходных файлов (Рис. 25).

Пример сгенерированных сеток представлен на Рис. 26: сетка из параллелепипедов (Рис. 26), сетка осредненных нормалей (Рис. 27). На Рис. 28 показана сборка SolidWorks из загруженных сеток, сгенерированных программным пакетом.

Как видно из рисунков, погрешность аппроксимации геометрии - порядка размеров ячейки, при этом мелкие геометрические элементы (с размерами, меньшими размера сетки) огрубляются.

На рис. 29-30 представлены примеры расчета обтекания цилиндрических тел (2D и 3D на сетках, сгенерированных разработанным пакетом программ. Учет направляющих свойств поверхностей, реализованный в сеточном генераторе, дал возможность получить при расчетах гладкое обтекание объектов.

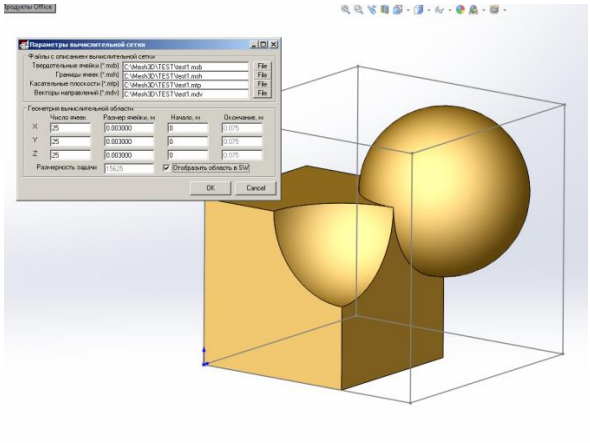
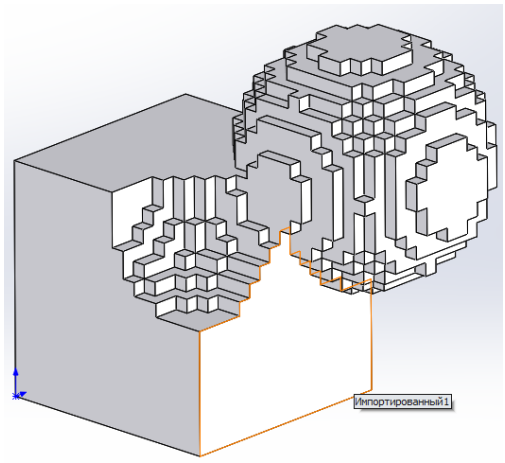
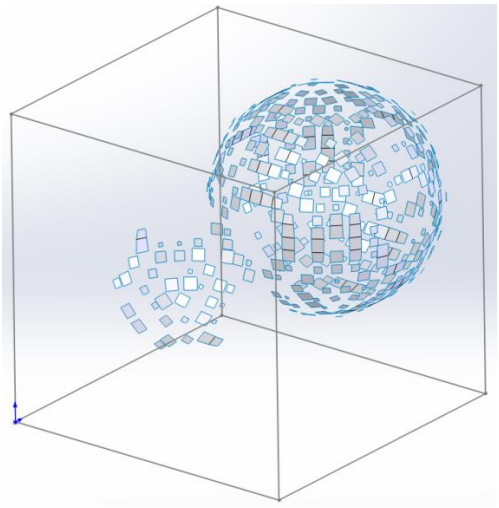


Рис. 25. Окно задания параметров создания сетки



а)

Рис. 26. Результаты работы пакета по генерации сеток



б)

Рис. 27. Результаты работы пакета

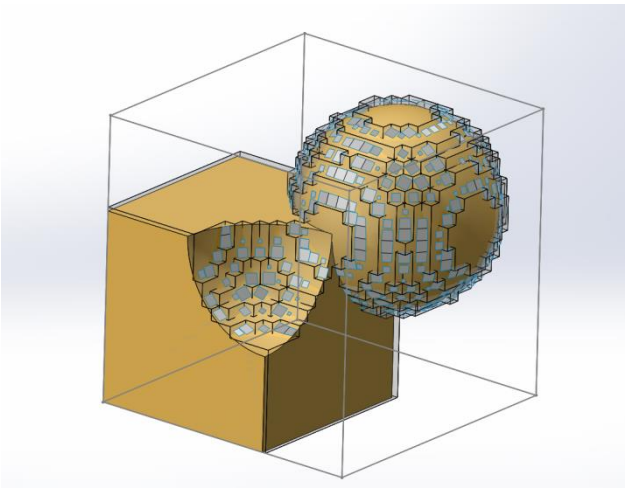


Рис. 28. Сборка SolidWorks из загруженных сеток для оценки

по генерации сеток качества полученных сеток

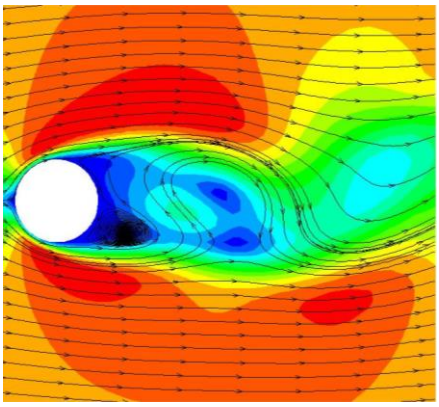


Рис. 29. Обтекание цилиндра

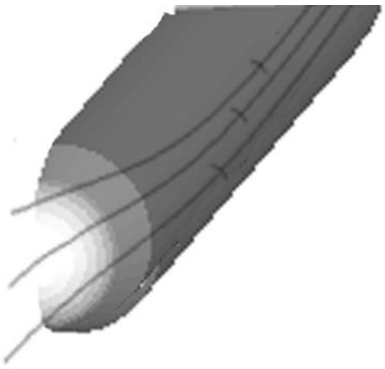


Рис. 30. Обтекание цилиндрического тела

Разработанный и реализованный пакет программ позволяет генерировать регулярные ортогональные сетки. Разработанный пакет интегрирован в среду SolidWorks и позволяет с применением универсальных средств SolidWorks и оригинального математического аппарата строить в расчетных областях декартовы прямоугольные сетки с учетом криволинейных поверхностей твердых тел. ПП обеспечивает аппроксимацию твердых тел и их поверхностей с точностью порядка размеров ячейки.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1576765152MITVOL46No4PART32019.pdf

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МОРСКИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Направления:

1. **Влияние внешних факторов на технологическую систему высокоточного станка в условиях плавучих мастерских**

При ремонте морских и речных транспортных средств широкое применение находят такие передвижные технологические комплексы, как плавучие рейдовые мастерские (ПРМ), на палубах которых размещены механообрабатывающие участки, включающие практически все виды станочного оборудования. Особенностью эксплуатации оборудования является наличие вибраций, вызванных действием различных источников, приводящее к снижению точности и чистоты обработки, а также и к другим нарушениям технологических процессов. Наличие колебаний в отклонениях расположения шероховатости поверхности, объясняется возмущающими воздействиями в технологических процессах, вызванных нестабильностью технологической системы. А нестабильность параметров деталей определяется воздействием в процессе их производства на технологическую систему (ТС) изменяющихся внешних факторов, часть из которых неизвестна и не контролируется. Эта проблема весьма актуальна для работы высокоточных станков в условиях ПРМ.

Системный анализ технологической системы станка в плавучей мастерской

При системном анализе технологической системы оборудования плавучей мастерской кроме воздействий внешнего оборудования, характерных для работы в стационарных условиях участка (цеха), таких как компрессоры, вентиляторы, насосы, транспортно-загрузочные устройства, создающие гармоническое воздействие на основание с частотой вращения приводных двигателей (f = 12…48,5 с-1) и оборудование, создающее импульсное воздействие на основание – прессы, долбежные и строгальные станки, необходимо учитывать такие воздействия внешней среды, как колебания водной поверхности, передающие вибрационные воздействия через плавучее основание и поверхность палубы на оборудование.

При декомпозиции системы механической обработки в ПРМ выделяют подсистему «Источник колебаний» и подсистему «Объект виброзащиты»,

которые соединены между собой связями, вызывающими колебания объекта под действием сил динамических воздействий. Знакопеременные напряжения, вызванные вибрационными воздействиями, приводят к накоплению повреждений в материале, что вызывает появление усталостных трещин и разрушения. Кроме усталостных разрушений в механических системах наблюдаются такие явления, как ослабление неподвижных соединений, смещение сопряженных поверхностей соединений деталей машин. При этом происходит изменение структуры поверхностных слоев сопрягаемых деталей, их износ и, как результат, уменьшение силы трения в соединении, что вызывает изменение диссипативных свойств объекта, смещает его собственные частоты и т.п.

Процесс влияния возмущений на технологическую систему металлорежущего станка в ПРМ представлен на Рис. 31



Рис. 31. Схема вибрационных взаимодействий системы станка в ПРМ

На схеме стрелками и цифрами 0…8 показаны направления и последовательность колебаний, возбуждаемых соответственно внешней средой, плавучим основанием, внешним оборудованием, поверхностью палубы, а также станиной станка, его узлами и системами. Стрелками и цифрами 9…19 обозначены направления и последовательность передачи колебаний от самовозбуждения (колебания и вибрации в зоне резания и работы приводов). Стрелки и цифры 9'…12' указывают на передачу вибраций от силовых приводов.

В системе металлорежущего станка при работе происходят сложные вибрационные воздействия, как стационарные, так и нестационарные, в результате колебательных процессов (кинетических и силовых). Можно предположить также наличие ударных воздействий – механических кратковременных в результате работы внешнего оборудования одновременно с процессом обработки, а также – длительного действия за счет качки при колебаниях водной поверхности, передаваемых плавучим основанием через поверхность палубы технологическому оборудованию.

Период работы оборудования должен обеспечиваться удержанием плавучей мастерской в заданном месте в условиях воздействия внешней среды – ветра, течения и морского волнения. В случае прекращения мер по удержанию, возмущающие силы могут привести к приостановке работ, к аварийным ситуациям и к выходу из строя технологического оборудования.

Актуальность данной работы заключается в выявлении путей снижения влияния шумов возбуждений, связанных как с внутренними, так и с внешними источниками колебаний ТС в условиях ПРМ.

Для обеспечения работоспособности оборудования необходимо выполнить компенсацию колебаний, создаваемых технологическим оборудованием вследствие смещений плавучей мастерской в результате внешних возмущений. Они определяются сезонными условиями заданных акваторий. В частности, скорость течения может достигать 1,5 м/с, степень морского волнения – 5…6 баллов, скорость ветра – 25 м/с и более.

На плавучее основание ПРМ воздействуют возмущающие силы ветра, течения и морского волнения. Воздействие ветра может быть оценено путем измерения скорости и направления ветра румбоанемометрами, установленными на плавучем основании, и расчета аэродинамических сил по известным соотношениям:

$$F_{xв} = C_{xв}(\beta)\rho_{xв}S_{xв}V_в^2/2,$$

$$F_{yв} = C_{yв}(\beta)\rho_в S_{yв}V_в^2/2,$$

$$M_{zв} = C_{mв}(\beta)\rho_в S_{yв}L_в V_в^2/2,$$

где $C_{хв}$, $C_{ув}$, $C_{mв}$ – аэродинамические коэффициенты плавучего основания – функции от угла ветра β; $\rho_в$ – удельная плотность воздуха; $V_в$ – скорость ветра относительно плавучего основания; $S_{хв}$, $S_{ув}$, $L_в$– эффективные площади сопротивления и характерная длина ПРМ.

Параметры $S_{хв}$, $S_{ув}$, $L_в$, $C_{хв}(\beta)$, $C_{ув}(\beta)$, $C_{mв}(\beta)$ могут быть с достаточной точностью определены при испытаниях масштабных моделей и уточнены при экспериментах.

Скорость ветра определяется суммой следующих составляющих:

$$V_в = V_{во} + V_{mв},$$

где $V_{во}$ – средняя скорость ветра, $V_{mв}$ – волновая составляющая.

Волновая составляющая является стационарной центрированной функцией времени [2]. Ее корреляционная функция практически совпадает с соответствующей характеристикой волновых ординат, отличаясь дисперсией.

Согласно существующим представлениям морское волнение представляет собой суперпозицию большого числа плоских (двумерных) волновых систем, распространяющихся под различными углами к генеральному направлению бега волн. Последнее, в случае ветров постоянного направления, через 4…6 часов совпадает с направлением ветра.

Математическое описание ветрового волнения производится на основе обработки и аппроксимации экспериментальных данных. В настоящее время известно более десяти форм представления спектра волнения. Наиболее применимым считается спектр, предложенный Международной конфедерацией опытовых бассейнов (МКОБ):

$$S(w) = Aw^{-5}\exp\left(-Bw^{4}\right),$$

где A = 8,1·10-3g2; B = 3,11·$h_{1/3}^{2}$; g – ускорение силы тяжести в заданной точке;h1/3– высота волны 1/3 обеспеченности; w – угловая частота волнения.

Наиболее точным по существующим представлениям является описание морского волнения суперпозицией волновых систем [4]. Энергетические спектры двумерного и трехмерного волнения связаны соотношением:

$$\int_0^{\infty} S_r(w)dw = \int_{0-\pi}^{\infty\ \pi} S_r(w,\alpha)d\alpha dw,$$

где α – угол распространения плоской системы волн относительно генерального направления.

Для описания энергетического спектра трехмерного волнения обычно используется формула Артура.

Подстановка позволяет записать выражение спектральной плотности трехмерного морского волнения, действующего на плавучее основание, расположенное под углом χ к генеральному направлению бега волн.

Для определения динамических характеристик несущей системы, а именно, амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых частотных характеристик, необходимо наличие динамических моделей технологических систем (ТС) станка, которые могут быть построены на основе конкретной расчетной схемы.

В реальности такие многомассовые системы представляют собой

довольно сложные и громоздкие математические модели, в связи с чем их заменяют упрощенными эквивалентными схемами.

Одна из таких предложенных схем позволяет проиллюстрировать динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания в процессе круглого наружного шлифования.

На основе принципа возможных перемещений для системы построена ее модель в виде совокупности дифференциальных уравнений, характеризующих динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания.

Для исходного положения заготовки в момент начала ее контакта с инструментом

$$L_0 = R_0 + r_0;\ S_0 = 0;\ x_{10} = 0;\ x_{20} = 0;\ t_f = 0$$

система уравнений в отклонениях запишется:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + h_1\dot{x}_1 + c_1x_1 + h_3(\dot{x}_1 + \dot{R}) + c_3(x_1 + \Delta R) - \\ - h_3(\dot{x}_2 - \dot{r}) - c_3(x_2 - \Delta r) - h_1\dot{S} - c_1S = 0, \\ m_2\ddot{x}_2 + h_2\dot{x}_2 + c_2x_2 + h_3(\dot{x}_2 - \dot{r}) + c_3(x_2 - \Delta r) - \\ - h_3(\dot{x}_1 + \dot{R}) - c_3(x_1 + \Delta R) = 0. \end{cases}$$

Вследствие вращения круга и заготовки вариации геометрических размеров имеют периодический или почти периодический характер, что и объясняет появление внутренних возбуждающих сил, существенно определяющих динамику процесса шлифования.

Для решения задач моделирования динамики процесса целесообразно записать последнее соотношение совместно с уравнением наблюдений.

В матричной форме пространства состояний система приобретает вид:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_0 &= A_0 \cdot Y_0 + B_0 \cdot \Psi + C_0 \cdot U; \\ Z_0 &= E_0 \cdot Y_0 + F_0 \cdot V_0; \\ T_0 &= Q_0 \cdot Z_0, \end{aligned}$$

где

$$\dot{Y}_0 = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix},\ Y_0 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix},\ A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\dfrac{c_1 + c_3}{m_1} & -\dfrac{h_1 + h_3}{m_1} & \dfrac{c_3}{m_1} & \dfrac{h_3}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \dfrac{c_3}{m_2} & \dfrac{h_3}{m_2} & -\dfrac{c_2 + c_3}{m_2} & -\dfrac{h_2 + h_3}{m_2} \end{bmatrix},$$

$$U = \begin{bmatrix} S \\ \dot{S} \end{bmatrix},\ \Psi = \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{bmatrix},\ \Psi_1 = \begin{bmatrix} \Delta R + \Delta r \end{bmatrix},\ \Psi_2 = \begin{bmatrix} R + \dot{r} \end{bmatrix}$$

$$B_{01} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\dfrac{c_3}{m_1} \\ 0 \\ \dfrac{c_3}{m_2} \end{bmatrix},\ B_{02} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\dfrac{h_3}{m_1} \\ 0 \\ \dfrac{h_3}{m_2} \end{bmatrix},\ C_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \dfrac{c_1}{m_1} & \dfrac{h_1}{m_1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},\ B_0 = \begin{bmatrix} B_{01} & B_{02} \end{bmatrix}$$

Где Y_0 – вектор (матрица-столбец), представляющая вектор состояния системы, $\dot{Y}_0$ – вектор производных состояний системы, A_0– матрица, характеризующая динамические свойства системы, B_0– матрица параметров влияния отклонений формы детали и круга, Ψ – вектор состояний отклонений формы детали и круга от номинальных параметров, C_0– матрица управления процессом, U - вектор управляющих воздействий, связанный с поперечной подачей.

$$E_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad F_0 = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix}$$

$$\cdot V_0 = \begin{bmatrix} \upsilon_1 \\ \upsilon_2 \end{bmatrix}, \quad T_0 = [t_f], \quad Q_0 = [-1 \;\; 1],$$

где E_0, F_0, $\cdot V_0$, T_0,– матрица состояния состояния измерений, матрица интенсивностей шумов измерителей; матрица независимых гауссовых белых шумов измерителей единичной интенсивности, матрица глубины резания и матрица преобразования совокупных измерений соответственно.

Оцененная таким образом глубина резания t_f несвободна как от погрешностей, определяемых качеством процесса измерений шумами измерителей, так и от влияния случайных составляющих отклонений форм детали и круга от номинальных и внешних возмущений.

Для повышения качества обработки прецизионные станки должны быть защищены от вибраций соседних установок. При монтаже некоторых станков (шлифовальных, точных токарно-винторезных, балансировочных и т.п.) на фундаментах первой группы, когда роль собственно фундамента выполняет станина, практикуют в качестве антивибрационного мероприятия установку станков на виброизолирующих опорах. При недостаточно тщательном подборе или при изменении режима работы станка упругие элементы могут вызывать даже усиление вибраций.

Однако, в тех случаях, когда требуется особо высокая чистота обработанной поверхности или когда источник большой вибрации находится поблизости, то вышеуказанный способ виброизоляции является недостаточным.

Повышение качества обработки деталей непосредственно связано с необходимостью ослабления вынужденных колебаний станка,

передаваемых через поверхность палубы от внешних источников. Уровень вынужденных колебаний станка снижается при установке его на виброизолирующие устройства.

Как правило, на палубах плавучих мастерских фиксация станков обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции из-за значительных колебательных воздействий, как от внешнего оборудования, так и от внешней среды через плавучее основание и поверхность палубы.

Традиционные виброизолирующие опоры металлорежущих станков выполнены на основе виброизоляторов, различающихся упруго-демпфирующими характеристиками, различным сочетанием виброизолирующих и ударно-защитных свойств, долговечностью, способностью функционировать в тех или иных климатических условиях, а также конструктивными особенностями (габаритами, способом монтажа и т.п.), не могут быть использованы в плавучих мастерских по причине невозможности их функционирования в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием.

Полученная таким образом расширенная модель будет представлять собой стохастическое описание процесса съема материала при взаимодействии абразивного инструмента, заготовки и источника внешних возмущений и послужит основой для определения стохастических представлений основных технологических показателей процесса обработки в условиях ПРМ, что является задачей дальнейших исследований.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/

2. Сравнительный интерференционный анализ конфигурации береговых радиолокационных станций при различных параметрах антенн, на примере района действия системы управления движением судов порта Новороссийск

Обеспечением безопасности мореплавания на акватории порта Новороссийск и на подходах к нему занимается система управления движением судов, в дальнейшем именуемая СУДС, работающая согласно международным и национальным правовым и нормативным актам, над повышением уровня безопасности путем сбора, обработки информации и выдачи ее на суда, оказание помощи в судовождении и организации движения объектов по акватории и представляет собой систему с разветвленной информационной частью и весьма сложными алгоритмами обработки информации. Состоит из следующих основных подсистем: сбора информации, дистанционного управления и передачи

информации, обработки и отображения информации, связи и базы данных. Подсистема сбора информации играет ключевую роль в СУДС, обеспечивая получение данных о местонахождении судов, а также вспомогательной информации (гидрометеорологической, оперативной и т. п.). Основу подсистемы сбора информации формируют береговые радиолокационные станции (БРЛС), по эхо-сигналам которых определяются координаты судов и их элементы движения. Отказы БРЛС, как основного технического средства СУДС влияют на качество работы всей системы в целом и на принятие оператором СУДС управленческого решения

Из интерференционной картины зоны действия СУДС порта Новороссийск следует, что совместив зоны нулевого уровня эхо-сигнала от всех БРЛС, расположенных в районе действия СУДС порта Новороссийск, до цели, получили интерференционные "мертвые" зоны в секторах 12,5 – 15 км, 16 – 16,5 км (началом отсчета обозначенных секторов является место стояния БРЛС "TermaScanter" на пункте радиолокационного наблюдения "Южная Озереевка") – район № 670 у выносных причальных устройств; сектор 8 – 9 км (за точку отсчета принято место стояния БРЛС " TermaScanter" радиотехнических пост (РТП) "Дооб") – охватывает угол района якорной стоянки 415. Следовательно, причиной появления ложных целей в районе Южной Озереевки (район №670) в исследуемом периоде, стало наличие интерференционных "мертвых" зон, расположенных у выносных причальных устройств. Проанализируем, как повлияла модернизация радиолокационного оборудования на изменение зависимостей мощности эхо-сигнала от расстояния БРЛС до цели и на интерференционную картину в зоне действия.

Интерференционный анализ конфигурации береговых радиолокационных станций при различных параметрах антенн

Для порта Новороссийск характерна интерференционная проблема радиолокации в виду особенностей географического положения и специфических синоптических условий:

- один конец трассы распространения расположен низко, и точка отражения "непрямой" волны от поверхности находится настолько близко к этому концу, что поверхность моря можно рассматривать как плоский отражатель;

- расстояние от нижнего конца трассы распространения до точки отражения от поверхности существенно, так что кривизна поверхности заметна, но угол скольжения еще достаточно велик, в связи, с чем разница длин путей прямой и отраженной волн является заметной долей половины длины волны.

Требования к характеристикам БРЛС СУДС меняются в зависимости от интенсивности движения, типа СУДС, географических особенностей района и зоны действия. Координаты и характеристики радиотехнических постов (РТП) «Пенай», «Дооб», «Геленджик» и «Южная Озереевка» представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Координаты и характеристики постов «Пенай», «Дооб»,

«Геленджик» и «Южная Озереевка»

Название радиотехнического поста (РТП)	Координаты	Высота антенны БРЛС над уровнем моря, м	Размер и тип антенны БРЛС «TermaScanter»
Пенай	44040’47,8N 37052’51,3E	78	18 футов волноводно-щелевая
Дооб	44037`37,5 N 37054`37,5 E	107	18 футов волноводно-щелевая
Геленджик	44035`49,3 N 37057`46,7 E	331	21 футволноводно-щелевая
Южная Озереевка	44040`15,2 N 37038`59,1 E	113,5	18 футов волноводно-щелевая

На рис. 32-35 представлены зависимости мощности эхо-сигнала (P1(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС до цели для каждого радиотехнического поста.

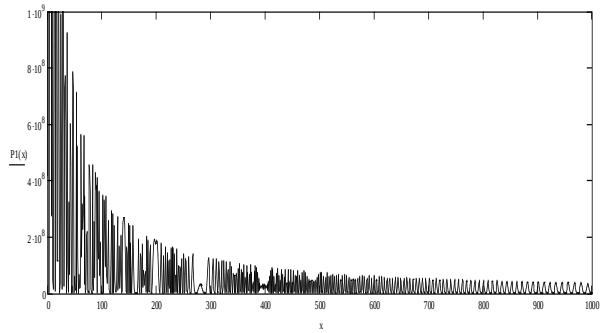


Рис. 32. Зависимость мощности эхо-сигнала (P1(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС «TermaScanter», установленной на РТП «Пенай», высота установки антенны 78 метров над уровнем моря, до цели

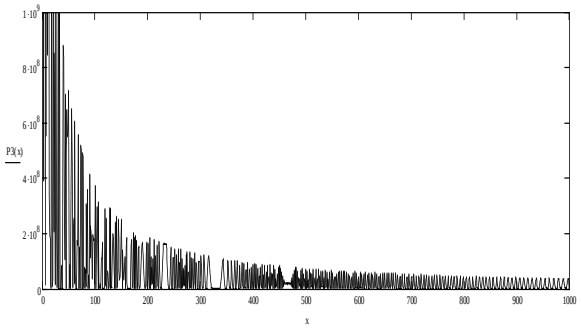


Рис. 33. Зависимость мощности эхо-сигнала (P3(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС «TermaScanter», установленной на РТП «Дооб», высота установки антенны 107 метров над уровнем моря, до цели

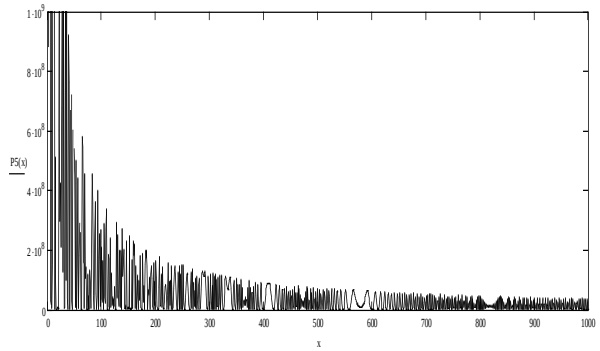


Рис. 34. Зависимость мощности эхо-сигнала (P5(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС «TermaScanter», установленной на РТП «Геленджик», высота установки антенны 331метров

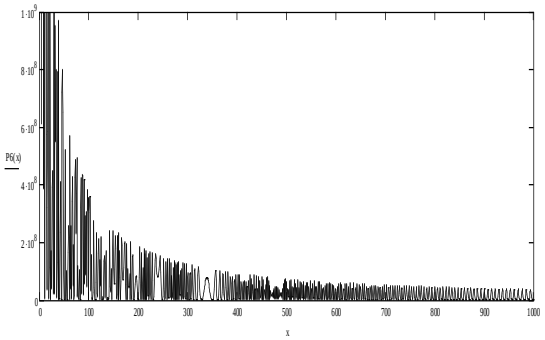


Рис. 35. Зависимость мощности эхо-сигнала (P6(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС «TermaScanter», установленной на ПРН «Южная Озереевка», высота установки

над уровнем моря, до цели

антенны 113,5 метр над уровнем моря, до цели

При совмещении зон нулевого уровня эхо-сигнала от всех БРЛС, расположенных в районе действия СУДС порта Новороссийск, до цели (Рис. 36), получили, что все существовавшие ранее интерференционные «мертвые» зоны перекрываются.

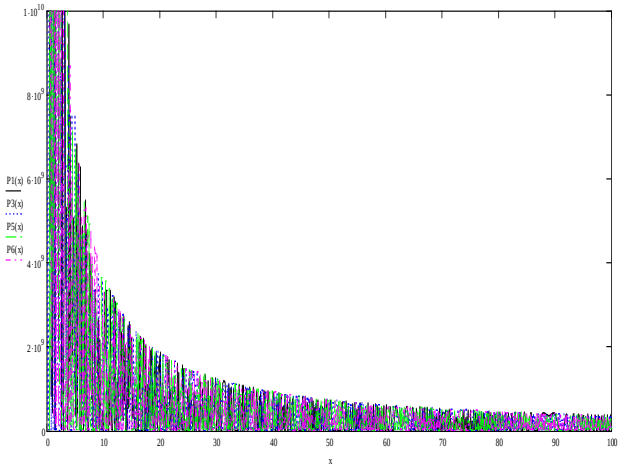


Рис. 36. Зависимость мощности эхо-сигналов (P(x), Вт) от расстояния (x, м) от БРЛС, расположенных в районе действия СУДС порта Новороссийск, до цели

Анализ ожидаемого радиолокационного охвата зоны радиолокационного покрытия РТП СУДС

Для анализа ожидаемого радиолокационного охвата зоны радиолокационного покрытия РТП СУДС используем комбинацию данных о рельефе местности и расчетов линии визирования для оценки видимости целей на заданных высотах, используем программное обеспечение (ПО) Cambridge Pixel's Radar Coverage Tool. Данное ПО отображает радиолокационное покрытие для различных высот цели, используя обработку линии визирования, при этом не учитывается поперечное сечение и радиолокационные характеристики цели. Cambridge Pixel's Radar Coverage Tool представляет информацию о покрытии в виде OpenStreetMap.

Результаты расчетов по программе CambridgePixel'sRadarCoverageTool для РТП СУДС для антенн БРЛС TermaScanter 12 футов, 18 футов и 21 фут представлены на рис.37-44.

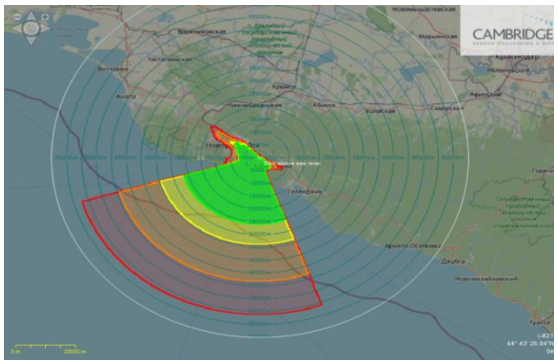


Рис. 37. Ожидаемый

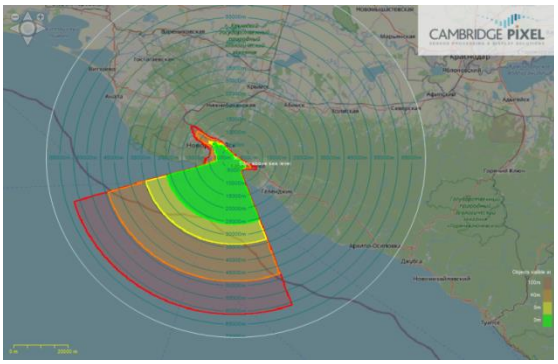


Рис. 38. Ожидаемый

радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Пенай», антенна 12 футов

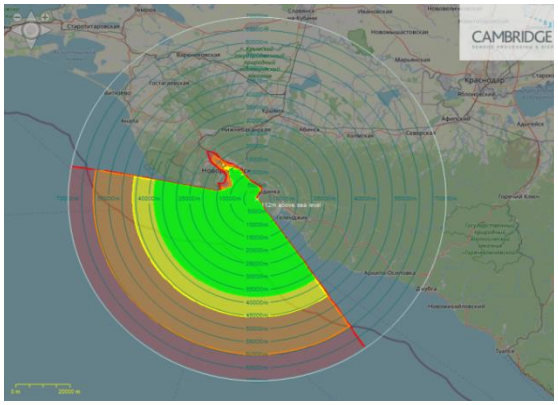


Рис. 39. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Дооб», антенна 12 футов

радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Пенай», антенна 18 футов, 21 фут

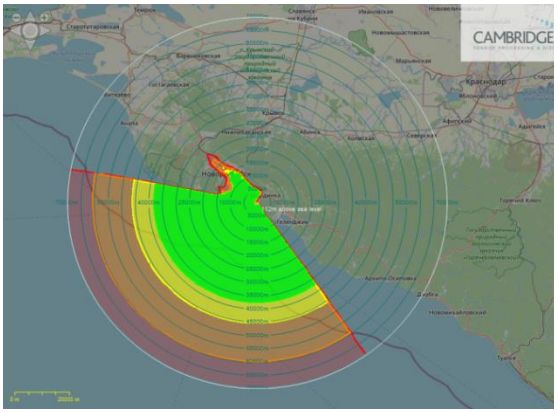


Рис. 40. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Дооб», антенна 18 футов, 21 фут

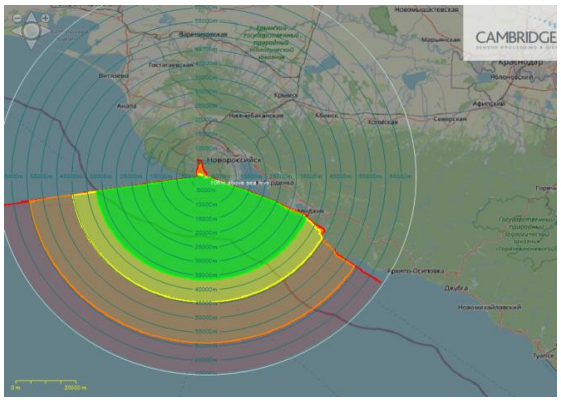


Рис. 41. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Южная Озереевка», антенна 12 футов

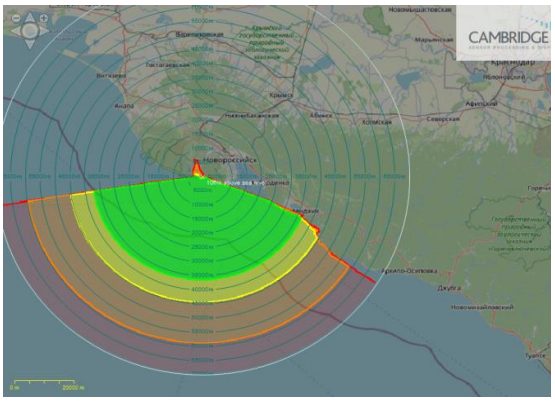


Рис. 42. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Южная Озереевка», антенна 18 футов, 21фут

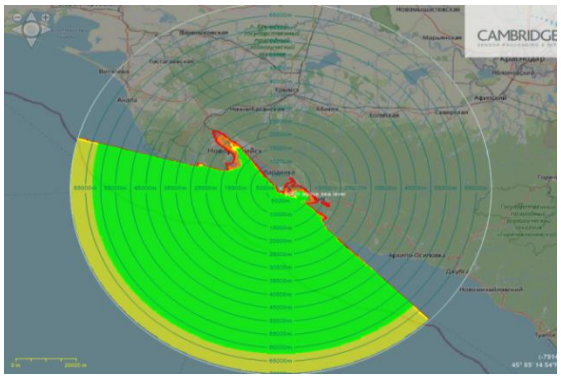


Рис. 43. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП Геленджик, антенна 12 футов

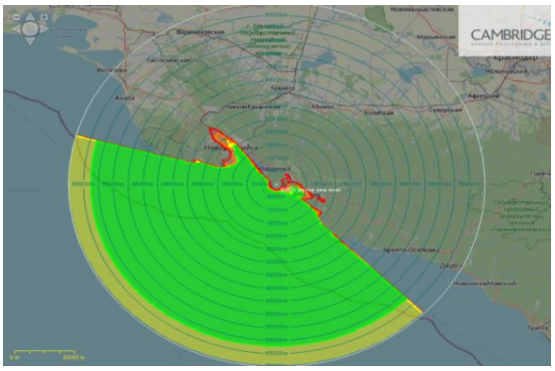


Рис. 44. Ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия РТП «Геленджик», антенна 18 футов, 21 фут

Сравнительный интерференционный анализ конфигурации БРЛС при

различных параметрах антенн, на примере района действия СУДС порта Новороссийск показал, что проведенная модернизация позволила ликвидировать существовавшие ранее интерференционные «мертвые» зоны. Кроме того, замена антенн18 футов и 21 фут на антенну 12 футов не окажет влияния на ожидаемый радиолокационный охват зоны радиолокационного покрытия.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Направления:

1. Лазерный дистанционный мониторинг выбросов вредных веществ судовыми энергетическими установками

В условиях роста межгосударственных товарооборотов наблюдается интенсивное развитие торгового судоходства и, как следствие, его воздействие на окружающую среду. При этом в акваториях портов, происходит наибольшая концентрация судов и их выбросы загрязняющих веществ рассеиваются, в том числе, в атмосферном пограничном слое над акваторией морского порта и прилегающих к ней жилых и рекреационных зон. Выбросы судовых энергетических установок состоят из оксидов азота, углерода, серы, высокомолекулярных ароматических углеводородов и твёрдых частиц. Твердые частицы представляют собой сажу, образовавшуюся в результате неполного сгорания наиболее тяжелых фракций топлива и машинного масла, а также окислы металлов, сульфаты и вода. В процессе своего образования эти частицы насыщаются большим количеством молекул углеводородов и при попадании в дыхательные пути представляют опасность, в значительной степени, обусловленную наличием в них канцерогенных полициклических ароматических углеводородов. Частицы, содержащие тяжелые металлы и другие соединения также представляют большую опасность для органов дыхания человека. При этом экологическому нормированию подлежит только концентрация твердых частиц.

Размер частиц в значительной степени определяет поведение самих частиц в воздушной среде и степень их внедрения в органы дыхания человека. Так крупные частицы размером более 10 мкм, как правило, оседают в носоглотке и создают, в большей степени, гигиенический дискомфорт. Частицы размером менее 10 мкм уже проникают в трахеи и альвеолы легких человека, представляя наибольшую опасность для здоровья человека. По этой причине во многих странах, в том числе и в России, определены дифференцированные гигиенические нормативы твердых частиц в воздушной среде. Кроме того, от размеров частиц в значительной степени зависит их сорбционная способность. Так с уменьшением размеров частиц растет их удельная поверхность и, как следствие, адсорбционная способность. Кроме того, распределение частиц сажи по размерам может явиться дополнительной характеристикой эффективности теплообмена в камере сгорания дизеля. Из всего этого следует необходимость контроля не только концентрации, но и распределения частиц сажи по размерам.

Есть различные методы одновременного измерения концентрации и распределения частиц по размерам. Но нужны такие, которые позволят проводить измерения в режиме реального времени, чтобы своевременно выявлять и предотвращать достижение ими предельно допустимых значений.

Для выбора оптимальных методов контроля концентрации и распределения частиц сажи по размерам необходимо проанализировать их возможные диапазоны варьирования.

Размеры этих частиц в выбросах судовых энергетических установок варьируются от 0,1 до 100 мкм. Основная доля приходится на диапазон размеров частиц от 0,2 до 5,0 мкм. В этой работе представлены предельно допустимые удельные значения выбросов сажи от судовой энергетической установки, которая может составлять не более 0,54 г/(кВт·ч). В описываемых в статье экспериментах эмиссия твердых частиц составляла от 0,139 до 0,188 г/(кВт·ч). Из представленных данных находим, что концентрация твердых частиц в выбросах судовых энергетических установок составляло от 23 до 31 мг/м3. При этом предельное нормативное значение составляет 66 мг/м3.

Принцип измерения концентрации и функции распределения частиц по размерам, образование которых происходит в процессе механической активации (измельчение) различных материалов, таких как цемент, известь, гипс и т.д.. обусловлен, взаимодействием электромагнитного излучения с частицами, в результате чего происходит ослабление и рассеяние этого излучения. Характеристики ослабления и рассеяния электромагнитных волн зависят от физико-химических и оптических свойств частиц. В области возможных диапазонов варьирования размеров частиц сажи актуальным является видимая и ближняя ИК-область электромагнитных волн. Решая обратную задачу ослабления и рассеяния света частицами, мы можем получить информацию о концентрации и функции распределения частиц по размерам.

Средним геометрическим параметром, характеризующим удельную поверхность частиц, является средний объёмно-поверхностный диаметр частиц d32 или диаметр Заутэра. Это диаметр, который будут иметь монодисперсные частицы, совокупная площадь поверхности которых равна общей поверхности всех полидисперсных частиц, занимающих одинаковый объём. Именно он, в первую очередь, характеризует распределение частиц по размерам. При этом в различных технологических переделах значение d32 лежит преимущественно в области от 0,3 до 4,5 мкм. Концентрация таких частиц составляет единицы - десятки мг/м3 в выбросах в атмосферу и до десятков г/м3 в потоках между технологическими переделами.

Из сравнения представленных выше размеров и концентрации частиц сажи в выбросах судовых дизелей и частиц, получаемых в процессе механической активации видно, что их области варьирования перекрываются. Отсюда можно сделать вывод о возможности измерения концентрации и дисперсности частиц сажи в судовых выбросах лазерными методами. Эффективным и достаточно надёжно реализуемым является модифицированный метод спектральной прозрачности или метод дифференциального ослабления.

Суть метода заключается в одновременном зондировании исследуемых частиц в воздушном потоке лазерным излучением на нескольких длинах волн. При этом

длины волн подбираются таким образом, что ослабление излучения частицами происходит неодинаково и определяется соотношением геометрических размеров частиц с учётом их показателя преломления и длины волны. Дифференциальное ослабление лазерного излучения и несёт в себе полезную информацию.

Метод дифференциального ослабления основан на решении обратной задачи, которое можно представить в виде уравнения:

$$\tau_\lambda = \frac{\pi \cdot C_n \cdot l}{4} \cdot \int_0^\infty x^2 \cdot Q(x,\lambda,m) \cdot f(x)dx \quad , \qquad (1)$$

где τλ –оптическая плотность; Cn – счетная концентрация частиц; λ – длина волны зондирующего излучения; Q – фактор эффективности ослабления для одиночных частиц; l – оптическая длина зондирования; x– диаметр частиц; m – комплексный показатель преломления материала частиц.

Усредненный фактор эффективности ослабления вычисляется по формуле:

$$\overline{Q}(x,\lambda,m) = \frac{\int_0^\infty x^2 \cdot Q(x,\lambda,m) \cdot f(x)dx}{\int_0^\infty x^2 \cdot f(x)dx} \quad . \qquad (2)$$

Массовая концентрация взвешенных частиц через счетную выражается формулой:

$$C_m = C_n \frac{\pi \cdot \rho_p}{6} \cdot \int_0^\infty x^3 \cdot f(x)dx \quad . \qquad (3)$$

При замене в уравнении (1) счетной концентрации на массовую получается выражение:

$$\tau_\lambda = \frac{1{,}5\, C_m \cdot l \cdot \overline{Q}(x,\lambda,m)}{\rho_p \cdot d_{32}} \quad , \qquad (4)$$

где ρр – плотность материала частиц.

Экспериментально измеренная оптическая плотность и рассчитанное значение среднего объемно-поверхностного диаметра частиц позволяют рассчитать массовую концентрацию по формуле:

$$C_m = \frac{\tau_{\lambda i} \cdot \rho_p \cdot d_{32}}{1{,}5\, l \cdot \overline{Q}(x,\lambda,m)} \quad . \qquad (5)$$

Физическая модель метода основана на взаимодействии монохроматического излучения с полидисперсной средой по теории Ми и сохранения инвариантности усредненного фактора эффективности ослабления относительно вида функции распределения частиц по размерам.

Средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных потоков определяется путем измерения оптической плотности исследуемого аэрозоля на нескольких длинах волн и вычисления усредненных факторов эффективности ослабления для этих длин волн. Отношение измеренных оптических плотностей на двух длинах

волн равно отношению рассчитанных усредненных факторов эффективности ослабления и выражает функцию среднего размера частиц:

$$\frac{\tau_{\lambda_i}}{\tau_{\lambda_j}} = \frac{\overline{Q}(x,\lambda_i,m)}{\overline{Q}(x,\lambda_j,m)} = F_{ij}(d_{32}) \quad . \qquad (6)$$

Диапазон измерений средних размеров частиц определяется длинами волн зондирующего излучения.

Оптическая схема лазерной системы представлена на Рис. 45. Лазерная установка имеет следующее устройство и принцип действия. Источники лазерного излучения 1 модулируют излучение на трёх длинах волн: 405, 1064, 650 нм. На пути прохождения лазерных лучей установлены светофильтры 2, светоделительные стекла 4, зеркало 3, пластинка с отверстием 10, система зеркал 9.

На противоположной от источников излучения стороне установлен фотоприемник ослабленного излучения 8. Излучение, не прошедшее через измерительный объем аэрозольного потока 7 посредством светоделительных стекол 4 и зеркала 3 попадает на опорный фотоприемник 5. Кроме того, установка включает в себя блок формирования, регистрации и обработки сигналов, состоящий из измерительных и опорных синхронных детекторов, усилителя мощности и генератора импульсов. Синхронное детектирование измерительных сигналов предназначено для повышения чувствительности фотоприемного устройства. А лазер 16 генерирует излучение на длине волны 532 нм, падающее в измерительный объем аэрозольного потока 7 под малым углом $\theta \approx 0°$ к оси телескопа 12, расположенного с лазером 16 по одну сторону от аэрозольного потока. В фокусе телескопа 12 расположен торец световода 13. Этот световод 13 служит для ввода излучения в спектрометр 14, который последовательно подключен к ПК 15.

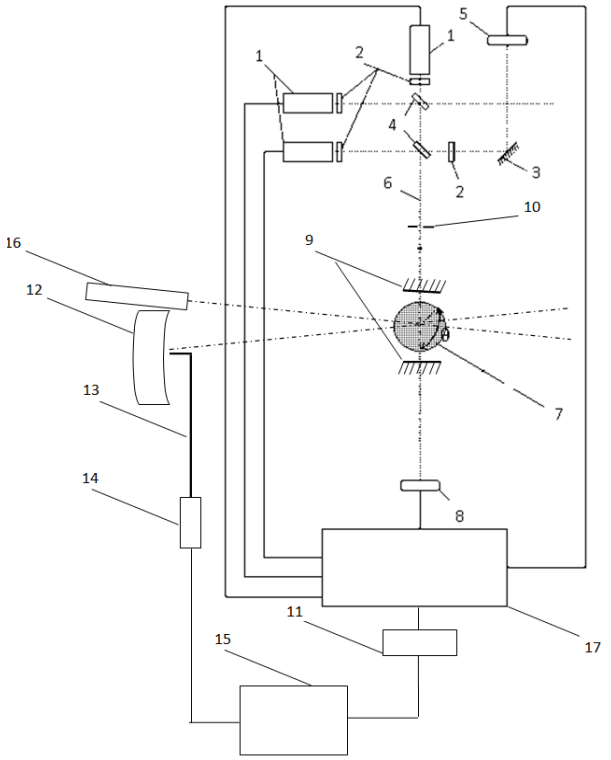


Рис. 45. Оптическая схема лазерной системы:

1 – лазеры на длинах волн 650, 1064, 405 нм; 2 – светофильтры; 3 – зеркало; 4 – светоделительные стекла; 5 – опорный фотоприемник; 6 – лазерный пучок; 7 – аэрозольный поток;8 – фотоприемник МСП; 9 - система зеркал; 10 – пластинка с отверстием; 11 – АЦП; 12 – телескоп; 13 – световод; 14 - спектрометр; 15 – ПК; 16 – лазер на длине волны 532 нм; 17 - блок формирования, регистрации и обработки сигнала

Структурная схема блока формирования, регистрации и обработки сигнала представлена на Рис. 46. Лазерная система работает следующим образом: лазерами 1 генерируется излучение на трёх длинах волн (405 нм, 532 нм, 1064нм) с частотой 5 · 103 Гц. С целью выделения в модулированном излучении нужных длин волн на пути прохождения лазерных лучей размещены светофильтры 2.

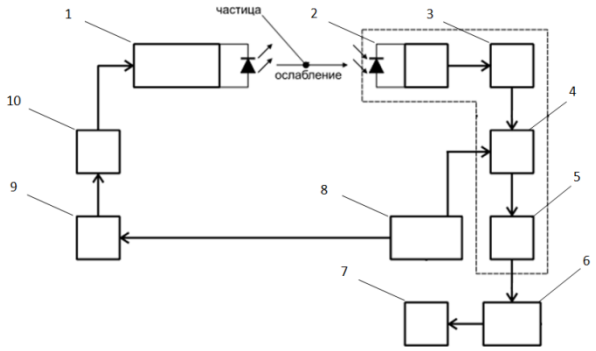


Рис. 46. Структурная схема блока формирования, регистрации и обработки сигнала:
1 – источник лазерного излучения; 2 – фотоприемник;
3, 5 – дифференциальный усилитель; 4 – синхронный детектор; 6 – аналогово-цифровой преобразователь; 7 – персональный компьютер; 8 – генератор импульсов; 9 – модулятор; 10 – усилитель мощности

Сгенерированные последовательности импульсов излучения проходят через светоделительные пластины 4. Часть прошедшего через светоделители 4 излучения, отразившись от зеркала 3, поступает на опорный фотоприемник, а часть излучения, поступая на систему зеркал 9, проходит сквозь аэрозольный поток 7. Перед системой зеркал 9 установлена диафрагма, предназначенная для отсечения лучей, возникающих в результате многократного отражения при прохождении лучами светоделительных стекол 4 и отражении от зеркала 3. Система зеркал 9 представляет собой два установленных параллельно друг относительно друга зеркала.

Многократное отражение лазерных лучей от параллельно расположенных зеркал позволяет увеличить оптический путь проходимый лучами и таким образом увеличить ослабление лазерного излучения регистрируемого фотоприемником ослабленного излучения 8. Зеркала в описываемой лазерной системе установлены под углом, обеспечивающим прохождение лучами девяти проходов сквозь

аэрозольный поток. Проходящее сквозь аэрозольный поток излучение ослабляется и поступает на фотоприёмник 8.

Зарегистрированное фотоприёмником 8 излучение проходит через дифференциальный усилитель и синхронный детектор, после чего повторно усиливается дифференциальным усилителем. Электрический сигнал со второго дифференциального усилителя поступает на АЦП, где преобразуется в цифровой сигнал и далее поступает на обработку в ПК.

Сигналы лазерной системы поступают на блок обработки сигналов, с которого, проходя через аналогово-цифровой преобразователь, передаются на ПК. Блок обработки сигналов использует шесть каналов аналогово-цифрового преобразователя.

Лазер 16 генерирует излучение на длине волны 532 нм. Попадающее в измерительный объем излучение, рассеянное рассеявшись в аэрозольном потоке, попадает в телескоп 12, отраженные в фокус телескопа лучи попадают на вход световода 13. Попадающее на вход световода 13 излучение предается на спектрометр 14, где преобразовывается в цифровой сигнал и по отдельному от сигналов ослабления каналу поступает на обработку в ПК 15.

Таким образом, разработана четырех волновая лазерная система, которая позволяет измерять сигналы ослабления лазерного излучения методом дифференциального ослабления на трех длинах волн и сигнал рассеяния Ми на частицах аэрозоля излучения четвертого лазера.

По измеренным сигналам ослабления рассчитаем средний объемно-поверхностный диаметр аэрозольных частиц.

Средний объемно-поверхностный диаметр можно определить, исходя из зависимости усредненного фактора эффективности ослабления от среднего объемно-поверхностного диаметра. Кривые зависимости усредненного фактора эффективности ослабления на трех длинах волн от среднего объемно-поверхностного диаметра представлены на Рис. 47.

По известным зависимостям усредненного фактора эффективности ослабления на трех длинах волн от среднего объемно-поверхностного диаметра построены показанные на Рис. 48 кривые зависимости отношения усредненных факторов эффективности на двух длинах волн от среднего объемно-поверхностного диаметра.

Рассчитанные кривые зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра от отношения усредненных факторов эффективности на двух длинах волн применимы для отношения оптических плотностей на двух длинах волн.

Выбор длин волн лазерного зондирования осуществляется исходя из возможного диапазона варьирования d32 частиц сажи. Область варьирования этого диапазона должна перекрываться областью, в которой наблюдается монотонный рост отношения усредненных факторов эффективности на двух длинах волн с увеличением d32. Как видно из Рис. 48, использование длин волн лазерного излучения от 405 до 1064 нм позволяет измерять d32 в области размеров от 0,2 до

1,2 мкм.

В настоящее время появилась возможность расширения этого диапазона до 5 и более мкм за счёт применение многоволнового лазера на парах стронция, одновременно генерирующего несколько длин волн в диапазоне от 1030 до 6450 нм.

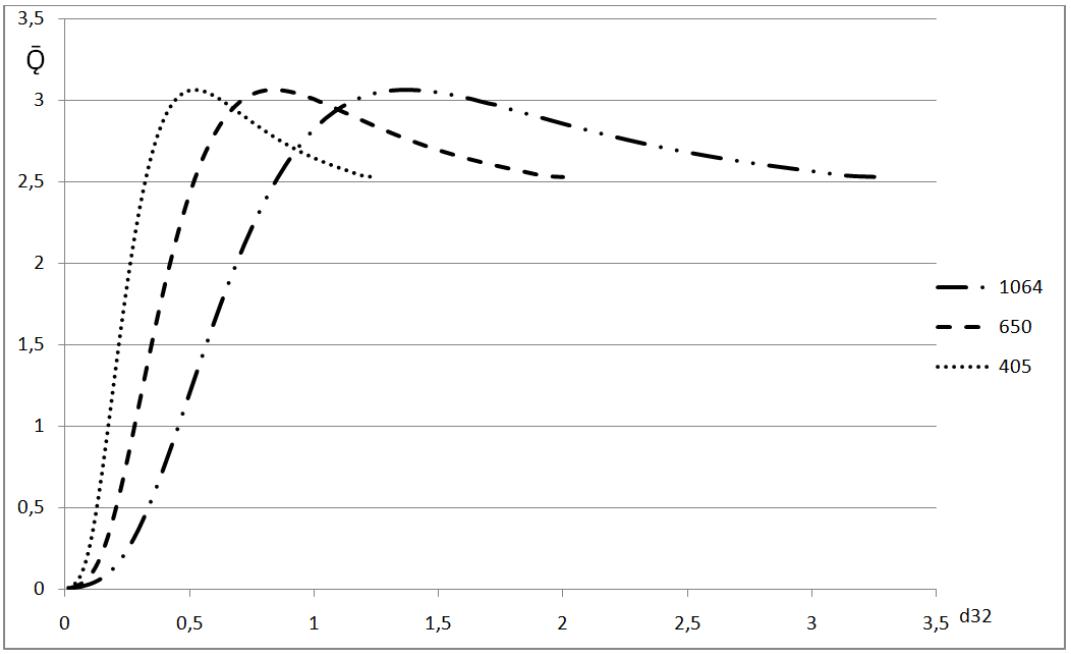


Рис. 47. Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра от усредненных факторов эффективности

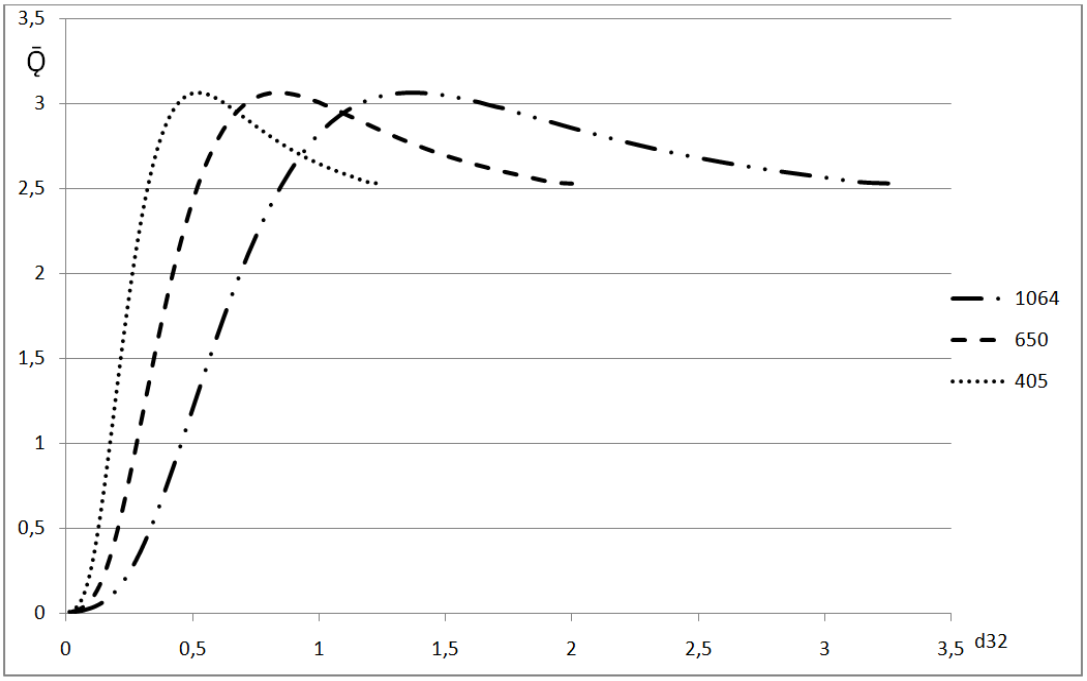


Рис. 48. Зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра от отношения усредненных факторов эффективности на двух длинах волн

Для рассчитанных оптических плотностей на трех длинах волн были найдены отношения:

$$\frac{\tau_{\lambda_{650}}}{\tau_{\lambda_{405}}}, \frac{\tau_{\lambda_{1064}}}{\tau_{\lambda_{405}}}, \frac{\tau_{\lambda_{1064}}}{\tau_{\lambda_{650}}}.$$

По построенным кривым зависимости среднего объемно-поверхностного диаметра от отношения усредненных факторов эффективности на двух длинах волн были определены значения среднего объемно-поверхностного диаметра частиц для каждого рассчитанного отношения оптических плотностей на двух длинах волн.

Для каждой серии измерений было рассчитано среднее значение среднего объемно-поверхностного диаметра измеренного на трех длинах волн. Для полученных средних значений d32 каждой серии было рассчитано среднее значение, которое составило d32 = 0,61МКм.

В результате были измерены сигналы ослабления лазерного излучения на трех длинах волн на разработанной лазерной установке в составе экспериментального стенда. Измеренные сигналы ослабления лазерного излучения позволяют рассчитать значения массовой концентрации и среднего объемно-поверхностного диаметра аэрозольных частиц.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Направления:

1. Отдельные вопросы правового регулирования внедоговорной ответственности на морском транспорте

Отличительной чертой внедоговорной ответственности как правового понятия следует назвать тот факт, что при наличии внедоговорной ответственности стороны не состоят между собой собственно в договорных отношениях, причиненный вред в таком случае будет признан следствием действий, не связанных именно с нарушением договорных обязательств. В этой ситуации причинитель вреда нарушает общую абсолютную обязанность – не посягать на чужие субъективные права. Следует отметить, что часто внедоговорная ответственность отождествляются с деликтной ответственностью, которая вытекает из причинения вреда. Деликтная ответственность является наиболее распространенной среди внедоговорной ответственности, однако следует отметить, что понятие внедоговорной ответственности является гораздо более глубоким и подлежит расширительному толкованию, то есть включает в себя помимо деликтной ответственности и различные другие случаи наступления ответственности при отсутствии договоров. Проблемные вопросы, связанные со внедоговорной ответственностью на морском транспорте, являются актуальной проблемой в современном законодательстве. Решение данных вопросов будет полезно для правоприменительной деятельности.

Развитие морской деятельности неизбежно приводит к росту числа несчастных случаев, в том числе инфарктов, и эта тенденция постоянно увеличивается в результате появления самых неожиданных факторов при работе на морских судах. Соответственно, возрастает количество дел из причинения вреда, разрешение которых в цивилизованных странах упрощается, а в других усложняется.

Смерть на морском судне или получение увечья и инвалидности относятся к обязательствам из причинения вреда и представляют собой один из важнейших институтов международного морского частного права и гражданского законодательства западных стран. Эти обязательства направлены на возмещение вреда, причиненного личности моряка, независимо от договорных отношений или их отсутствия.

Системы законодательства большинства стран исходят из общего понятия «деликта» как противоправного действия и основы для всеобъемлющего «генерального деликта» – безвиновной ответственности. Если в обычном понятии деликтной ответственности необходимы ее известные условия, то в «безвиновной» ответственности их отсутствие не является основанием для освобождения судовладельца от ответственности, в том числе при отсутствии его вины, что и позволяет говорить о «безвиновной» ответственности. Она является как бы

своеобразным исключением из общего правила. Достаточно установить элементы небрежности в действиях ответчика.

Почти во всех странах появилось новое законодательство, совершенствуется старое, наблюдается тенденция к расширению сферы обязательств из причинения вреда, в том числе формируется институт безвиновной ответственности судовладельца (работодателя). Это также внедоговорная ответственность, поскольку даже при заключении договора аренды с экипажем обязательства по возмещению безвиновного вреда здоровью экипажа не рассматриваются. Инфаркт, к примеру, не относится к виновному причинению вреда здоровью, однако такая ответственность страхуется, а значит, по умолчанию присутствует.

Для того чтобы разобраться в этой проблеме, сравним немного отечественную и зарубежную практику, законодательство России и других стран по данному вопросу.

Различия договорной и деликтной ответственности.

Поскольку деликтная ответственность как разновидность внедоговорной ответственности наиболее часто встречается в жизни, отграничение ее от договорной ответственности представляет наибольший интерес. В юридической литературе выделяют следующие наиболее существенные различия в содержании договорной и деликтной ответственности (Рис. 49).

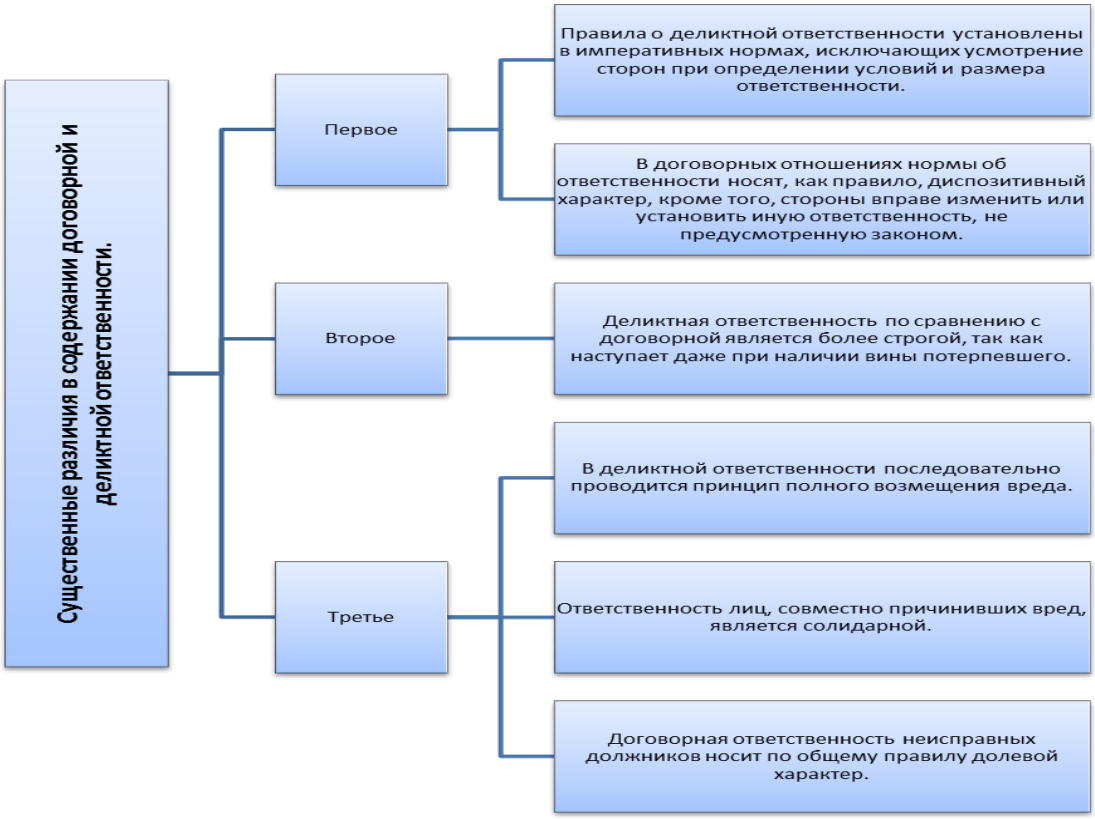


Рис. 49. Различия в содержании условий договорной и внедоговорной ответственности

Что же касается практического применения договорных и деликтных обязательств, но этот вопрос возникает достаточно часто и касается прежде всего

разграничения сферы действия договорных и деликтных обязательств, и как следствие, применения или деликтной, или договорной ответственности. По нашему мнению, в большинстве случаев такая правовая позиция объясняется тем фактором, что правовые нормы, выступающие регулятором того или другого вида ответственности, в ряде случаев существенно различаются.

Отметим также такой немаловажный факт, что применение внедоговорной ответственности, если заниматься определением таких характеризующих ее элементов, как форма и размер, устанавливается законом, причем заметим, что в этом варианте у законодателя отсутствует прерогатива диспозиции, это императивные нормы. В случае, когда вопрос встает о договорном виде ответственности, данные вопросы разрешаются с помощью совокупности двух факторов – и закона, и соглашения сторон (договора). Если одно и то же дело рассматривать по нормам о договорной ответственности, то может получиться один результат, а если по нормам о деликтной ответственности — то другой.

Возникающая в подобных случаях задача разграничения видов ответственности решается следующим образом: если вред (убыток) возник в результате неисполнения или ненадлежащего исполнения договорного обязательства, то нормы об ответственности за деликт не применяются, а вред возмещается в соответствии с правилами об ответственности за неисполнение договорного обязательства или в соответствии с условиями договора, заключенного между сторонами (Рис. 50).

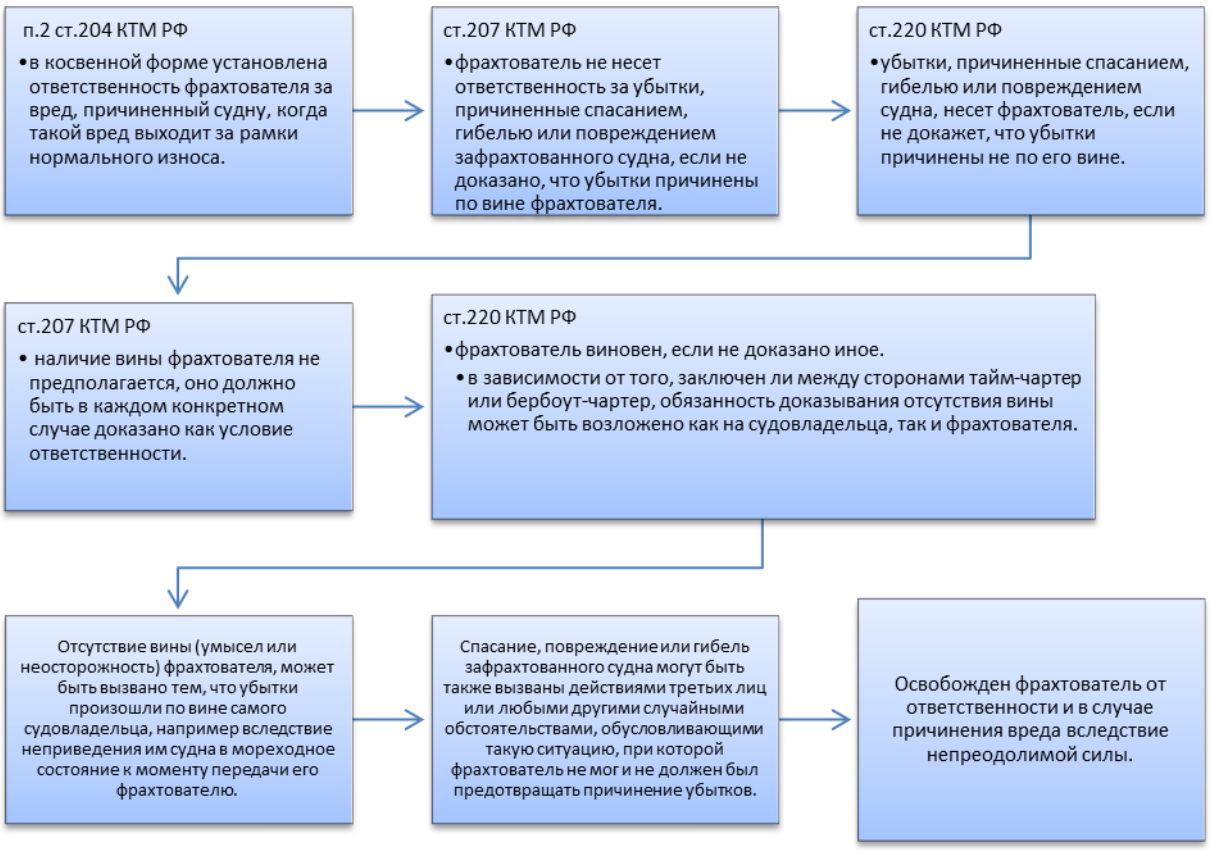


Рис. 50. Особенности наступления внедоговорной ответственности по договору аренды морского судна.

Сравнительная характеристика правового регулирования

Для того чтобы разобраться в этой проблеме, сравним отечественную и зарубежную практику, законодательство России и других стран по данному вопросу.

В США вопросы наступления внедоговорной ответственности призваны решаться путем отсылки к Закону о торговых моряках 1920 г., известному в правовых и не только кругах как Акт Джона (TheJone'sAct). Если дословно следовать терминологии данного Акта, морские происшествия, которые происходят с людьми, которые на основании рабочих документов являются членами судового экипажа, рассматриваются как «опасности моря».

Акт Джона явился для моряков средством для осуществления судебной защиты от небрежности судовладельца (оператора судна). Согласно трактовке данного документа, любой моряк независимо от звания и стажа плавания на судах вообще и данном судне в частности, который пострадает от травмы на судне, имеет возможность руководствуясь исключительно своим выбором, предпринять действие для покрытия ущерба по закону.Согласно Акту Джона, обязанностью доказывания для моряка (истца) является необходимость установить, что его работодатель или агент проявили небрежность, которая согласно элементарным принципам причинно-следственных связей и явилась причиной несчастного случая. Небрежность, даже самая незначительная, достаточна для предъявления иска.

Это очень интересный документ с точки зрения соотношения норм права, морали и равенства всех перед законом. Однако уже из всего, что нами было процитировано, следует, что это равенство явно оттягивает чашу весов в область простого моряка, в обязанности которого входит добросовестное выполнение своих обязанностей, но никак не доскональное изучение норм права. Таким образом, можно обозначить главный принцип, который Суд постановил по умолчанию: наниматель обязан обеспечить моряка безопасным местом работы. В этом случае задача суда присяжных проста, но в то же время скрупулезна – проверить наличие небрежности у работодателя, хотя бы незначительной.

Акт Джона обычно практикуется в пользу моряка, и работодатель (судовладелец) – ответчик или его агент, несет безвиновную ответственность, если условия требований на судне не соответствовали требованиям обеспечения безопасности. Таким образом, Акт Джона обеспечивает представителя истца существенными «инструментами» для поиска правосудия от имени травмированных или погибших моряков их семьям.

В России обязательства из причинения вреда на морском транспорте охватываются понятием «деликтные обязательства» и разрешаются гражданским кодексом РФ (гл. 59). К сожалению, КТМ РФ практически совершенно не разрешает эту категорию дел, относя их к ГК РФ, хотя и содержит основания, позволяющие применять его к обязательствам из причинения вреда на морских судах в части их ареста по одному из видов морских требований, вытекающих из «причинения вреда жизни или здоровью гражданина на суше либо на воде в прямой

связи с эксплуатацией судна».

Российская практика не называет и не имеет в виду инфаркта на рабочем месте (судне). Инфаркт расследуется на общих основаниях, как обычное судовое происшествие, связанное с несчастным случаем на судне. КТМ РФ совершенно не разрешает этих проблем, подчеркивая свое безразличие и равнодушие к судьбам моряков. По-видимому, этим объясняется неучастие России в Конвенции МОТ № 55 «Об обязательствах судовладельца в случае болезни, травмы или смерти моряков» 1949 г. с поправками от 2006 года.

На этот раз Россия присоединилась к конвенции января 2006 года спустя 11 лет, 2017 году, (согласно информации на сайте МОТ http://www.ilo.org по состоянию на 26.10.2017).

Конвенция МОТ № 134 (ст. 1) под производственными несчастными случаями подразумевает все несчастные случаи, происшедшие с моряком во время работы или связанные с ней. Ст. 2 обязывает компетентные органы власти в каждой стране принимать меры для обеспечения надлежащего расследования производственных несчастных случаев с предоставлением отчетов о них. Рекомендации МОТ № 142 о предупреждении производственных несчастных случаев среди моряков предусматривают следующее: особые физиологические и психологические проблемы, вызываемые средой на борту судна, и проблемы, возникающие в связи с физическим напряжением на борту судна, в частности в результате повышения трудовой нагрузки.

Общий принцип ответственности без вины основан на понятии объективности и связан с использованием источника повышенной опасности.

Установление объективной ответственности за вред, причиненный источником повышенной опасности, привел к замене принципа вины как основания деликтной ответственности понятием «риск». В связи с этим судовладельцы отвечают не за «вину», а за опасность, которая постоянно присутствует на морском судне. Подобная безвиновная ответственность за вред охватывается специальным законодательством.

В зарубежном праве эти случаи охватываются системой «генерального деликта (квазиделикта)», поскольку происшествия на море имеют, как правило, неосторожный характер. В отношении ответственности судовладельца (работодателя) за причиненный вред действует неопровержимая презумпция вины: они лишены возможности доказывать свою невиновность, особенно при наступлении смерти моряка. Многочисленные специальные законы ряда стран, регламентирующие ответственность за вред, устанавливают безвиновную ответственность ответчика (деликвента). При страховании жизни моряка причина смерти во внимание не принимается, поскольку ее невозможно предусмотреть. Но и судовладелец, казалось бы, должен отвечать за смерть члена судового экипажа при наличии вины, что установить в ряде случаев невозможно. Приходится буквально выискивать причинную связь между смертью члена судового экипажа и администрацией судна. Поэтому судовладельцы страхуют жизнь члена судового

экипажа не за вину, а от риска возможного наступления смерти.

Рассматривая ответственность судовладельца за наступление инфаркта у члена судового экипажа на судне, мы имеем в виду ответственность за вред по неосторожности. На схеме отражены основные этапы наступления такого вида ответственности (Рис. 51).



Рис. 51. Основные этапы наступления ответственности

Предложения по совершенствованию законодательства

КТМ РФ, Конвенция об аресте судов 1999 г., допуская возможность предварительного обеспечения иска по морским требованиям в виде ареста морского судна, предполагают наличие вины судовладельца. В связи с этим необходимо дополнить ответственность судовладельца в КТМ РФ новым видом безвиновной ответственности за вред в связи со смертью члена судового экипажа или получением им увечья как специфического вида морского происшествия.

Ссылка на официальный источник: http://morintex.ru/ru-nauchnyj-zhurnal/biblioteka-zhurnala/2021-3/zhurnal-2-tom-4-2021-trudy-gmu-imeni-admirala-f-f-ushakova/