

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»

**«НОВЫЕ СТРАТЕГИИ И ТЕХНОЛОГИИ
МОРСКОГО СУДОХОДСТВА И ПРОМЫСЛА»**

**Материалы
Второй национальной научно-технической конференции
на базе ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»
31 марта 2023 г.**

Электронное издание

Калининград
Издательство БГАРФ
2023

Об издании – 1, 2

1 – ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ТИТУЛЬНЫЙ ЭКРАН – СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДАНИИ

ББК 72.4р-268
УДК 001.8(061.2)
Д54

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ермаков С.В. (гл. редактор), (отв. за выпуск Станкевич Т.С.)

«Новые стратегии и технологии морского судоходства и промысла». Материалы Второй национальной научно-технической конференции на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 31 марта 2023 года. [Электронный ресурс] / отв. за вып.: Т.С. Станкевич. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск.

В сборнике представлены доклады, рекомендованные к публикации по итогам представления на Второй национальной научно-технической конференции «Новые стратегии и технологии морского судоходства и промысла» (31 марта 2023 года).

Материалы печатаются в авторской редакции.

Текстовое (символьное) электронное издание

Минимальные системные требования:

Тип компьютера, процессор, частота: Pentium 3, процессор с частотой не ниже 500 MHz

Оперативная память (RAM): 64Mb и более

Необходимо на винчестере: 200Mb

Операционные системы: Microsoft Windows 98/Me/2000/XP/7

Видеосистема: видеокарта 8Mb памяти или лучше

Акустическая система: звуковая карта (любая)

Дополнительное оборудование: CD привод 8x или лучше (рекомендуется 16x)

Дополнительные программные средства: ПО для просмотра файлов PDF

Количество носителей – 1.

© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023

ISBN 978-5-7481-0528-6

2 – ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ТИТУЛЬНЫЙ ЭКРАН – ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Подписано в печать 16.07.2023 г.

Объем издания – 7,4 Mb.

Количество носителей – 1 CD-R.

Уч.-изд. л. – 6,4.

Записано на материальный носитель:

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»,

Издательство БГАРФ,

член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений

236029, Калининград, ул. Молодежная, 6,

тел. +7 (4012) 95-77-18,

тел./факс +7 (4012) 95-52-27,

e-mail: bga_izdatel@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ И КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ»

Ивановская А.В., Гарафутдинов А.Р. ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОГО МИКРОКЛИМАТА В МАШИННО-КОТЕЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ СУДНА	4
Ивановская А.В., Жуков В.А. РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРОСОВОЙ ЧАСТИ ПРИВОДА СУДОВОГО ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	8
Тищенко О.С. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ И ПУТИ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ	12
Ивановская А.В., Виноградов В.Н., Ивановский А.Н., Богатырева Е.В. ПРИНЦИПЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ТРАЛОВОЙ ЛЕБЕДКИ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «СУДНО – ЛЕБЕДКА – БУКСИРУЕМЫЙ ОБЪЕКТ».....	17
Горбачев М.М. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МОНИТОРИНГА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МОРСКИХ СУДОВ.....	21
Русаков С.М., Чупин В.М. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И НАЛАДКИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ	24
Матвиенко А.Е. СИНТЕЗ НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА И СТРУКТУРЫ ПРИЕМНИКА ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	38
Ермаков С.В., Мулина Е.В. ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНЯТИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ «ТОЛЬКО НЕРЫБОПРОМЫСЛОВОЕ СУДНО».....	46

СЕКЦИЯ «НАУЧНЫЕ СЕМИНАРЫ МОРСКОГО ИНСТИТУТА»

Станкевич Т.С. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДХОДА В ПОЖАРОТУШЕНИИ НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ.....	50
---	----

СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ И КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ»

УДК 629.1

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОГО МИКРОКЛИМАТА В МАШИННО-КОТЕЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ СУДНА

¹Ивановская Александра Витальевна, канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок;

²Гарафутдинов Артур Рустемович, курсант 3 курса специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок»

^{1,2}Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь, РФ, e-mail: invkerch@yandex.ru

Рассматривается микроклимат в машинно-котельном отделении и в центральном пункте управления. Это основные места нахождения технического персонала по обслуживанию судовых энергетических установок, работа которых важна для выполнения поставленных задач перед судном и его экипажем, так как на любом судне в данном помещении расположено много количество факторов, влияющих на микроклимат этого помещения и, в частности, на здоровье человека.

Машинно-котельное отделение является одним из самых важных отделений на судне, отвечающим за обеспечение его энергетической работоспособности. Однако, в связи с особенностями работы машинного оборудования, в этом отделении может возникать неблагоприятный микроклимат, который может отрицательно сказаться на здоровье судовых работников. Создание благоприятного микроклимата в машинно-котельном отделении на судах является важным аспектом обеспечения безопасности и комфорта для экипажа. Однако, существует ряд проблем, которые затрудняют поддержание оптимальных условий в данном помещении.

Одной из главных проблем создания благоприятного микроклимата в машинно-котельном отделении является высокая температура воздуха, которая обусловлена работой мощных котлов и двигателей. Высокая температура воздуха может приводить к перегреву электрооборудования и повреждению других систем, а также может вызывать дискомфорт у персонала и повышать риск заболеваний, связанных с перегревом.

Также важно обеспечить правильное хранение топлива и смазочных материалов, чтобы предотвратить их возможное загрязнение и утечку, что может негативно повлиять на микроклимат в помещении.

Еще одной проблемой является высокая влажность воздуха, которая может привести к коррозии оборудования и повреждению электроники.

Кроме того, высокая влажность может создавать неприятный запах и повышать вероятность развития плесневых и грибковых инфекций.

Ещё одной проблемой является повышенный уровень шума, который также связан с работой машинного оборудования. Это может привести к потере слуха у судовых работников, а также к нарушению их психического состояния.

Другой проблемой, связанной с созданием благоприятного микроклимата, является недостаток свежего воздуха. Недостаток свежего воздуха может приводить к низкому качеству воздуха в помещении, что может повышать вероятность развития респираторных заболеваний у персонала.

Всё чаще отмечаются нарушения состояния условий труда, работа в которых приводит к высокой степени профессиональной заболеваемости среди моряков. В дополнение к несоответствию условий труда производится менее точный подбор работников по средствам проведения предварительных и периодических медицинских осмотров. Количество судовых врачей также сокращается, что приводит к снижению качества и отсутствию медицинской помощи. Кроме того, в море выходят суда более старой конструкции и с истекшим сроком эксплуатации, что приводит к ухудшению судовой среды и риску для здоровья моряков.

В определение микроклимата входят параметры воздуха в МКО и ЦПУ, которые в процессе выполнения сотрудником непосредственных обязанностей на рабочем месте воздействуют на него.

Примеси различных химических соединений, находящихся в воздухе, вследствие работы механизмов, оказывают негативные воздействия на человека, которые могут привести к потере сознания или смерти на должностном рабочем месте, в случае не устранения очага.

Воздух в МКО содержит пары топлива и смазочных материалов (ГСМ), частичные выбросы продуктов сгорания и тепловые выбросы от работающего оборудования. Для нормализации условий труда членов МКО и ЦПУ воздух очищается с помощью кондиционеров, принудительной циркуляции воздуха и специального оборудования, такого как воздушные фильтры.

Однако регулирование не является совершенным, и у него есть свои недостатки. Один из них связан с качеством воздуха и не учитывает требования по поддержанию оптимального и приемлемого микроклимата для здоровья человека. Нахождение людей на борту судна так же естественно, как и нахождение в здании или на рабочем месте на суше. Поэтому в правилах необходимо предусмотреть ряд требований к микроклимату и качеству воздуха в помещениях, помимо тех, которые указаны в технических регламентах по безопасности зданий и сооружений.

Санитарные правила и нормы устанавливают параметры микроклимата для судовых помещений (регламент 2.5.2-703-98), в частности и микроклимат в МКО и ЦПУ, ниже приведена таблица характеристики санитарно-гигиенических условий труда в МКО и ЦПУ с допустимыми нормами [1, 2].

Таблица 1

Характеристики санитарно-гигиенических условий труда

Наименование	Допустимые параметры воздуха	
	МКО	ЦПУ
Температура рабочего воздуха, °С	28	22-25
Относительная влажность воздуха, %	55	40-50
Скорость движения воздуха, м/с	0,5	0,2
Оксид углерода, мг/м ³	20	20
Пары нефтепродуктов, мг/м ³	300	-
Оксиды азота, мг/м ³	5	3
Пары аммиака, мг/м ³	20	-

Из данной таблицы следует, что требования в отношении воздухообмена более жесткие. Однако необходимо учитывать тот факт, что хотя в вышеуказанных нормах СанПиН содержатся рекомендации по устранению возможности попадания загрязненного воздуха или газов во всасывающую систему, предельно допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе не учитываются в условиях порта с изначально загрязненной атмосферой.

Исходя из вышеизложенного, требования ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» к судовым системам вентиляции и кондиционирования воздуха подходит для применения наилучшим образом. В данном стандарте можно ознакомиться с перечнем описаний и определений оптимальных микроклиматических условий.

Оптимальные условия микроклимата - это сочетание количественных параметров микроклимата, которые позволяют организму поддерживать нормальный температурный режим при длительном и систематическом воздействии, не перегружая механизмы терморегуляции.

Допустимые условия микроклимата - это сочетание количественных показателей условий микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать преходящие и быстрые нормализующие изменения теплового состояния организма с напряжением терморегуляторных механизмов, в той степени, в которой они не превышают физиологические адаптационные возможности. Это не вызывает повреждения или ухудшения здоровья, но может привести к дискомфортным тепловым ощущениям, ухудшению самочувствия и снижению работоспособности [3].

Оптимальные условия микроклимата обеспечиваются параллельной работой нескольких ранее упомянутых систем: системы вентиляции, системы кондиционирования и системы отопления. Причиной этого является разница в температуре и влажности окружающей среды и очень оптимальные условия микроклимата.

Для решения проблемы высокой температуры воздуха можно применять системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Такие системы позволяют снижать температуру и обеспечивать оптимальные условия для работы электрооборудования и других систем. Также важно обеспечить эффективное теплоотведение для предотвращения перегрева.

Для решения проблемы высокой влажности воздуха можно использовать системы осушения воздуха и улучшать вентиляцию помещения, чтобы обеспечить свободный поток воздуха и уменьшить влажность. Также необходимо обеспечить правильную уборку помещения и поддерживать оптимальную температуру, чтобы предотвратить образование конденсата.

Для решения проблемы недостатка свежего воздуха необходимо обеспечить достаточный объем воздуха, поступающего в помещение, и улучшить системы вентиляции, чтобы обеспечить свободный поток воздуха и улучшить качество воздуха в помещении. Кроме того, необходимо регулярно проводить уборку помещения, чтобы избавиться от загрязнений, которые могут влиять на качество воздуха.

Важным аспектом решения проблем создания благоприятного микроклимата является обучение персонала правилам безопасности и обеспечение им необходимых средств защиты. Это может включать в себя использование защитной одежды, масок и других средств, которые помогают предотвратить возможные риски для здоровья персонала.

Несмотря на то, что создание благоприятного микроклимата в машинно-котельном отделении на судах является важной задачей, ее решение может столкнуться с определенными препятствиями. Одной из проблем может быть ограниченное пространство на судах, которое может затруднить установку систем кондиционирования воздуха и улучшение вентиляции. Кроме того, использование некоторых средств, для создания благоприятного микроклимата, может потребовать дополнительных затрат на электроэнергию и другие ресурсы.

Другой проблемой является необходимость обеспечения безопасности персонала при работе с системами кондиционирования воздуха и другими средствами создания благоприятного микроклимата. Например, работа с хладагентами может потенциально представлять опасность для здоровья персонала, поэтому необходимо обеспечивать правильную обученность и использование необходимых средств защиты.

Следует помнить, что в системах подачи воздуха сейчас часто используются различные фильтры, которые необходимы для очистки и обеззараживания загрязненного воздуха. Химический состав воздуха после фильтрации сохраняется, но становится "мертвым". Проходя через фильтрующий слой, воздух оставляет весь свой электрический заряд на фильтре. Чтобы избежать негативных последствий недостаточной или избыточной аэрации ионов, в нормативе СанПиН 2.2.4.1294-03 "Гигиенические требования к аэрационному составу воздуха промышленных и общественных учреждений" определены гигиенические требования к аэрационному составу воздуха промышленных и общественных учреждений. Ниже приведена таблица справочных значений концентраций аэроионов.

Нормируемые показатели концентраций аэроионов

Нормируемые показатели	Концентрация аэроионов, p (ион/см ³)		Коэффициент полярности, $У$
	Положительной полярности	Отрицательной полярности	
Минимально допустимые	$P^+ \geq 400$	$p^- > 600$	0,4 ≤ $У$ < 1,0
Максимально допустимые	$P^+ < 50000$	$p^- \leq 50000$	

Допустимая концентрация ионов воздуха обеспечивается специальным устройством, называемым ионизатором. К сожалению, эта норма непопулярна у судостроителей при проектировании судов.

Заключение

Анализ норм и технических документов МКО и ЦПУ по формированию соответствующих микроклиматов показывает, что решение проблемы улучшения гигиенических условий при проектировании систем может быть достигнуто только путем соблюдения действующих соответствующих требований, гигиенических норм и норм аэроионизации.

Также, при проектировании судовых систем, позволяющих создать подходящий микроклимат на судне, необходимо придерживаться следующих требований, а именно: компактность установок, малое энергопотребление, надежность и устойчивость к работе в агрессивных средах, таких как МКО и использование материалов и технологий, которые одобрены морским Регистром судоходства для обеспечения целостности и надежности при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суда внутреннего и смешанного плавания. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.5.2-703-98. – М.: Минздрав России, 1998. – 144 с.
2. СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиена труда. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений». Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Минздрав России, Москва, 2003. – 5 с.
3. Чижевский А.Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности. Методические указания по использованию аэроионофикационных установок. Россия, Москва, 1959 г. – 23-60 с.

THE PROBLEM OF CREATING A FAVORABLE MICROCLIMATE IN THE BOILER ROOM OF THE VESSEL

¹Ivanovskaya Aleksandra Vitalyevna, PhD, associate professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants;

²Garafutdinov Artur Rustemovich, 3rd year cadet, specialty "Operation of marine power plants"

^{1,2}Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia, e-mail: invkerch@yandex.ru

This article discusses the microclimate in the engine and boiler room and in the central control room. These are the main locations of technical personnel for servicing ship power plants, the work of which is important for fulfilling the tasks assigned to the ship and its crew, since on any ship in this room there are many factors that affect the microclimate of this room and in particular human health.

РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРОСОВОЙ ЧАСТИ ПРИВОДА СУДОВОГО ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Ивановская Александра Витальевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок;

²Жуков Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой судостроения и энергетических установок Института водного транспорта

¹Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь, РФ, e-mail: invkerch@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, РФ, e-mail: zhukov_vla@mail.ru

Работа посвящена исследованию методов проектирования и моделирования судовых грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна. Для такого класса оборудования характерна работа в условиях нестационарности, значительное влияние на которые оказывают переменность нагружения при спуске-подъеме и буксировке груза, гидрометеорологические факторы. Одним из этапов проектирования адаптивной системы управления грузоподъемного оборудования является формализация статики и динамики. Поэтому разработка адекватных математических моделей, которые наиболее полно учитывали бы все происходящие в механической системе нестационарные процессы, является актуальной задачей, имеющей научную ценность.

В состав грузоподъемного оборудования рыбопромыслового судна входят навивочный барабан, направляющий шкив и трос, непосредственно связанный с поднимаемым или буксируемым грузом. Навивочный барабан используется для размотки и сматывания троса или орудия лова, шкив необходим для направления троса относительно поверхности судна (рис.1). Трос испытывает гидродинамическое сопротивление, силы, передаваемые от груза и через шкив из-за движения судна. Все это может привести к обрыву троса, потере груза, поломке грузоподъемного оборудования, вследствие больших колебаний натяжения троса, потере контакта с поверхностью шкива, если трос свободно провисает. Поэтому необходимым является моделирование динамики троса, его взаимодействия со шкивом и барабаном, чтобы предотвратить аварийные ситуации.

При проектировании и эксплуатации судовых грузоподъемных устройств, стационарные задачи, в которых объекты занимают неизменное положение в пространстве при неизменных характеристиках потока и воспринимают постоянные во времени внешние нагрузки, являются квазистационарными. Состояние системы описывается уравнениями статики, хотя действующие на нее силы по своей природе гидродинамические. Динамическая задача для рассмотренной системы связана с гидродинамической. Опыт проектирования и эксплуатации судовых грузоподъемных устройств показывает, что в уравнениях движения элементов систем допустимо использование упрощенных выражений для внешних сил, присоединенных масс жидкости, гидродинамических сил потока жидкости. Динамика процессов учитывается инерционными членами уравнений движения, динамическими составляющими элементов систем в жидкости [1-3].



Рис.1. Система «судно – лебедка – трос – буксируемый объект»

В этих расчетах поперечные размеры сечения тросов указываются только при определении гидростатических гидродинамических внешних нагрузок. При определении пространственной формы и внутренних усилий этих линий их моделируют абсолютно гибкой нитью, обладающей тем не менее, собственной массой, весом, гидродинамическим сопротивлением. Анализ проектных задач при создании судовых грузоподъемных устройств, показывает, что значительную теоретическую сложность и наукоемкость приобретают расчеты системы «трос – буксируемый объект», прочности и надежности их элементов. В связи с этим возникают задачи разработки моделей функционирования этой системы в квазистационарных режимах работы, математических моделей динамики системы, создания комплекса для компьютерного моделирования квазистационарных и динамических режимов работы.

Развитие методов моделирования и расчета динамических нагрузок на элементы грузоподъемного устройства в экстремальных и наиболее типичных условиях эксплуатации позволяет уточнить значения коэффициентов запаса прочности, обеспечивающих необходимую прочность, надежность и долговечность. При этом возможны два основных подхода к проектированию такого рода оборудования. Первый подход состоит в улучшении прочностных характеристик составных элементов систем, например, величины разрывного усилия троса, что позволяет буксировать грузоподъемное устройство при достаточно высокой интенсивности динамических воздействий. Второй подход предполагает минимизацию статических и динамических нагрузок на машину за счет выбора оптимальных скоростных режимов буксировки, ориентации судна относительно направления распространения волн, разработки системы адаптивного управления и т.д. Без сомнения к наилучшим результатам приводит оптимальное сочетание элементов указанных подходов.

На рисунке 2 представлен алгоритм проектирования привода грузоподъемного устройства, который состоит из следующих этапов:

1. Сначала определяют назначение грузоподъемного устройства, учитывая при этом условия эксплуатации как технические, так и гидрометеорологические в соответствующем районе плавания, сезоне, длительности.

2. На этапе формулирования требований к грузоподъемному устройству следует выделить: параметры троса, такие как материал, необходимая длина, диаметр сечения, плавучесть, сопротивление, жесткость по длине, прочность на разрыв, максимальная воспринимаемая нагрузка; параметры груза, такие как масса, размеры, сопротивление [4].

3. При формулировании ограничений, налагаемых на грузоподъемное устройство особенностями эксплуатации следует учесть: состояние моря (волнение в баллах), сила ветра, температура воды и воздуха, соленость воды, гидростатическое давление, максимальная глубина погружения, неровности рельефа дна, подводное или поверхностное течение, переменность нагружения буксируемого объекта, переход из одной среды в другую.

4. Содержательное описание технологического процесса включает в себя этапы травления троса, буксировки объекта, выборку троса, подъем буксируемого объекта на борт судна.

5. При построении формализованной схемы привода грузоподъемного устройства создаются схемы взаимного расположения элементов системы «лебедка – трос – буксируемый объект» применительно к различным режимам эксплуатации.

6. Задание или определение параметров привода грузоподъемного устройства осуществляется на основании требований, обозначенных в п.2 и с учетом ограничений п.3.

7. На данном этапе рассмотрено создание комплексной математической модели привода грузоподъемного устройства.

Системы компенсации вертикальной качки судна можно разделить на пассивные и активные. Пассивная компенсация использует демпфирующий элемент в буксирном тросе или системе в подводной части, чтобы ослаблять движение тела. Активная система компенсации срабатывает на основе измерения движения судна с помощью инерциального измерительного блока, оценивающего длину троса, которую необходимо намотать или размотать лебедкой, чтобы поддержать.

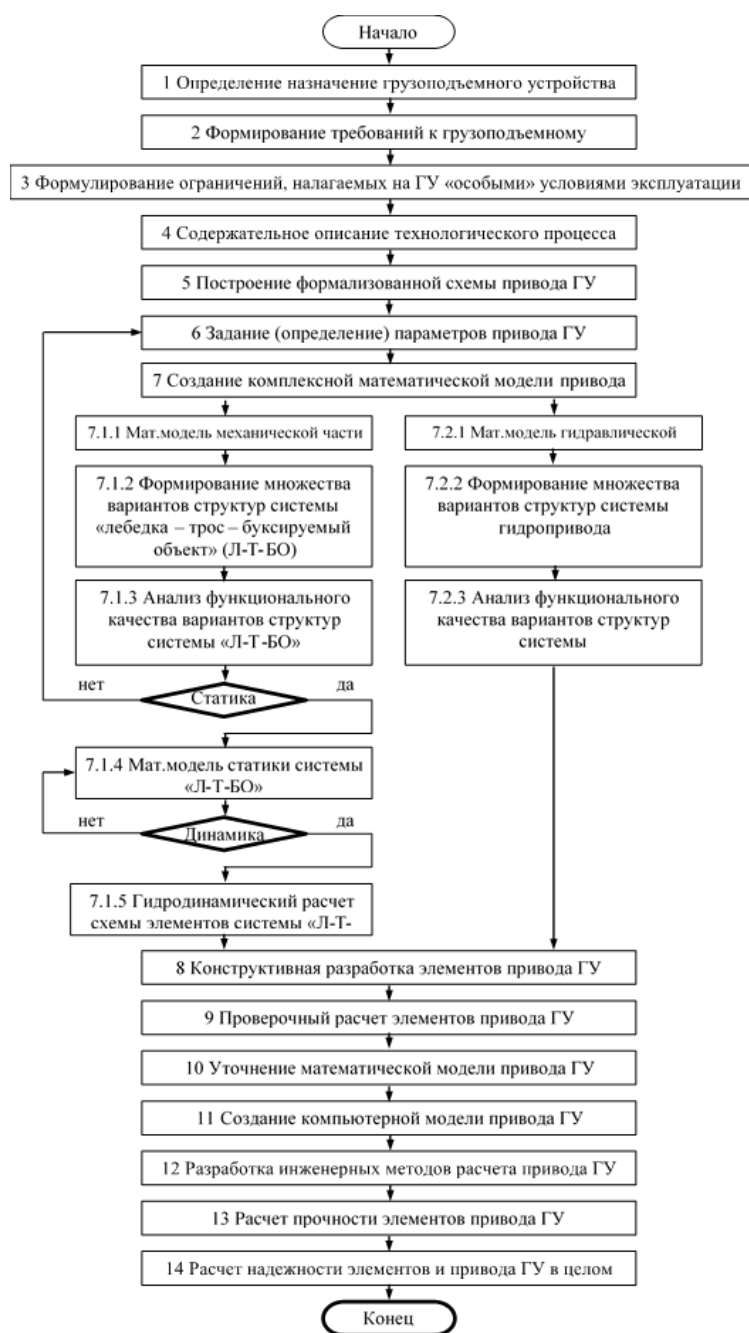


Рис. 2. Алгоритм проектирования привода грузоподъемного устройства

На рисунке 3 показаны основные методы представления троса: в виде гибкой линии (а), системы стержней (б) системы изогнутых элементов (в) и совокупности конечных сегментов (г). Тут линейные конечноэлементные модели содержат прямолинейные упругие элементы, показанные пунктирными линиями, для соединения дискретных частиц или сосредоточенных масс, которые показаны точками. В то время как модели с конечными сегментами состоят из жестких элементов, соединенных сферическими соединениями [5]. Каждое представление имеет свои достоинства и недостатки.

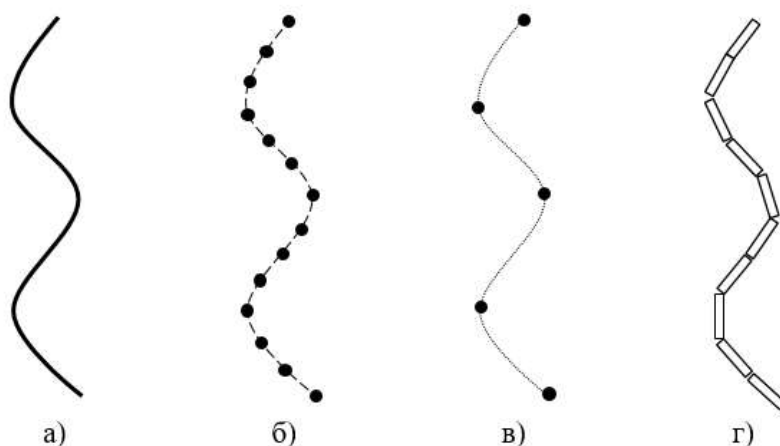


Рис. 3. Основные методы представления троса

Заключение

Для построения адекватной математической модели целесообразно трос представлять в виде криволинейных элементов. Непрерывное определение профиля троса позволит распределить внешние силы по длине всего троса, а не концентрироваться в узлах, как в системе с сосредоточенными массами. Такие криволинейные элементы более точно описывают динамику движения и провисание троса, влияние жесткости на изгиб становится заметным и нелинейным. В данном случае силы взаимодействия могут быть определены как непрерывные функции положения троса и скорости его выборки. Модель тросовой системы, которая включает в себя динамику троса и буксируемого груза, а также отражает контакт между тросом, направляющим шкивом и навивочным барабаном, может использоваться для изучения динамического поведения системы «судно – лебедка – трос» во время буксировочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов В.Н. Продольные резонансные колебания вязкоупругого каната грузоподъемной установки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. – т.18, №4. – С.128-133.
2. Горошко О. А. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины / О.А. Горошко, Г.Н. Савин Киев: Наукова думка, 1971. – 270 с.
3. Бабаков И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М.: Наука, 1976. – 592 с.
4. Ивановская А. В. Моделирование расчетных нагрузок, действующих со стороны траловой системы на лебедку рыбопромыслового судна / А. В. Ивановская, В.А. Жуков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 935–944. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-935-944.
5. Ивановская А. В. Формализация динамики механической системы «судно-ваер-трал» в переходном режиме / А. В. Ивановская // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 2 (30). – С. 106-112. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-2-106-112.

DIFFERENT APPROACHES TO MODELING THE CABLE PART OF THE DRIVE OF SHIP LIFTING EQUIPMENT

¹Ivanovskaya Aleksandra Vitalyevna, PhD, associate professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants;

²Zhukov Vladimir Anatolievich, Doctor of Engineering, Associate Professor

¹Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia, e-mail: invkerch@yandex.ru

²Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru

This work is devoted to the study of methods for designing and modeling ship lifting devices of a fishing vessel. This class of equipment is characterized by operation in non-stationary conditions, which are significantly affected by the variability of loading during lowering-ascent and towing of cargo, hydro-meteorological factors. One of the stages of designing an adaptive control system for lifting equipment is the formalization of statics and dynamics. Therefore, the development of adequate mathematical models that would most fully take into account all the non-stationary processes occurring in a mechanical system is an urgent task of scientific value.

УДК 629.1

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ И ПУТИ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

Тищенко Оксана Сергеевна, специалист по учебно-методической работе кафедры судовых энергетических установок

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь, РФ, e-mail: markelova98.00@mail.ru

Поправки предполагают введение новых требований к морским грузовым и пассажирским судам, работающим за пределами национальных вод с 1 января 2023 года. Такие суда должны будут обеспечить соответствие установленному значению «коэффициента энергоэффективности» судна и пройти соответствующую сертификацию. Если судно получит низкий рейтинг, оно должно будет разработать и реализовать план корректирующих действий для повышения углеродоемкости. С 2023 года выбросы CO₂ всех судов на единицу перевозимого груза не должны превышать установленные нормы. Менее 25 % балкеров и танкеров, работающих сегодня, полностью соответствуют новым требованиям. К концу 2025 года планируется пересмотреть принятые требования.

Введение

Как известно, парниковые газы негативно сказываются на климат нашей планеты, нагревая ее за счет удержания тепла в атмосфере. Такие выбросы происходят как из промышленных источников, так и за счет сжигания топлива в судовой энергетической установке. Леса и океаны, являясь естественными поглотителями выбросов парниковых газов, однако, уже не справляются с огромных их количеством. Каждый парниковый газ вызывает нагревание планеты с разной скоростью. При этом тепловой эффект каждого газа выражается по отношению к наиболее распространенному типу парниковых газов: двуокиси углерода (CO₂), при этом регистрируются глобальные выбросы парниковых газов в эквивалентных метрических тоннах CO₂ [1-3].

Среди наиболее распространенных типов парниковых газов следует выделить следующие:

- углекислый газ CO_2 , который образуется при сжигании ископаемого топлива (уголь, нефть и природный газ);
- метан CH_4 , являясь мощным источником глобального потепления, он может нагреваться в 80 раз быстрее углекислого газа, выбрасывается в атмосферу при сжигании и производстве природного газа, на 70-90% состоящего из метана;
- закись азота NO_2 , может накапливаться в атмосфере в течение очень длительного периода времени, выделяется также при сжигании углеводородного топлива.

В конце 2022 года Международной морской организацией (ИМО) были доработаны и согласованы среднесрочные и долгосрочные меры в период с 2023 по 2030 год и после 2030 года соответственно, касающиеся снижения выбросов парниковых газов с судов.

Целью данной работы является анализ новых требований ИМО по обеспечению энергоэффективности судовой энергетической установки и путей их достижения.

Материалы и методы исследования

В 2018 году Международная морская организация (ИМО) приняла первоначальную стратегию по сокращению выбросов парниковых газов при международном судоходстве. ИМО пересмотрела первоначальную стратегию в 2022 году.

Основными задачами, определенными в Стратегии ИМО, выделены следующие:

- снижение углеродоемкости новых судов за счет дополнительных этапов индекса энергоэффективности для новых построек;
- снижение углеродоемкости (выбросы углекислого газа на одну грузоперевозку) в среднем по международным морским перевозкам не менее чем на 40% к 2030 году, стремясь к 70% к 2050 году, по сравнению с уровнем 2018 года;
- сокращение пиковых выбросов парниковых газов от международного судоходства не менее чем на 50% к 2050 году.

Меры должны способствовать включению альтернативных низкоуглеродных видов топлива, альтернативных движителей и механизмов поддержки, а также различных методов стимулирования сокращения выбросов парниковых газов. Средне- и долгосрочные меры должны быть окончательно доработаны в 2022 году. Меры также должны быть направлены на повышение энергоэффективности как новых, так и существующих судов.

Комитет ИМО по защите морской среды (МЕРС) на своей 59-й сессии (13-17 июля 2009 года) признал необходимость введения проектного индекса энергоэффективности (в оригинальном документе ИМО МЕРС.1/Circ 681 от 17 августа 2009 года, Energy Efficiency Design Index) для новых судов.

Формула (1) для определения EEDI, рекомендованная КЗМС, может быть представлена так:

$$EEDI = \frac{\text{Проектное значение расхода топлива всеми судовыми потребителями}}{\text{Полезная мощность судна, предусмотренная проектом судна}} f_{CO_2}, \quad (1)$$

где f_{CO_2} — фактор приведения расхода топлива к выбросам CO_2 .

Поскольку нас интересует энергетическая эффективность, то в качестве такого критерия можно выбрать отношение критерия «вреда» (затрат энергии или выброса вредных веществ при ее получении) к критерию «полезности», который для транспортного судна характеризуется транспортной работой. В общем виде это можно выразить простой формулой (2):

$$K = E/U, \quad (2)$$

где U – полезность объекта; E – затраты энергии при выполнении функций объекта, обеспечивающих его полезность.

В качестве критерия, характеризующего энергопотребление, было выбрано количество CO_2 , выделяемое судном при выполнении данной транспортной операции. Целью было учесть возможность использования различных видов топлива и таким образом создать предпочтения в пользу использования газового топлива на судах.

При расчете $EEDI$ учитываются только судовые потребители энергии, работающие на ходу судна, то есть только потребители, задействованные при производстве судном транспортной работы.

От японской стороны была представлена расчетная формула (3) для определения величины конструктивного индекса CO_2 , который имеет размерность: г CO_2/m -миля:

$$Attainad\ design\ CO_2 = \frac{CF \cdot SFC \cdot P}{Capacity \cdot V_{ref}}. \quad (3)$$

В числителе этой формулы величина номинальной мощности главного двигателя P , кВт, умноженная на удельный расход топлива этого двигателя SFC , г/кВт-ч, и на безразмерный переводной коэффициент CF , г CO_2/g топлива, между расходом топлива в двигателе, г, и выбросами CO_2 , г, определенными по содержанию углерода в конкретном топливе.

Знаменатель формулы представляет собой произведение тоннажа судна (дедвейт принимался за дедвейт) и его эксплуатационной скорости V , выраженной в узлах.

Требование по расчетному коэффициенту энергоэффективности для существующих судов $EEXI$ вступило в силу в ноябре 2022 года. Требование распространяется на все суда тех же типов, на которые распространяются требования $EEDI$, за исключением пассажирских судов.

В соответствии с правилом 25 Приложения VI к МАРПОЛ 73/78 достигнуты $EEXI$ должен быть меньше требуемого $EEXI$ или равен ему :

$$\text{Достигнутый } EEXI \leq \text{Требуемый } EEXI, \quad (4)$$

где требуемый $EEXI = (1 - Y/100) \times \text{величина Базовой линии } EEDI$.

Конвенция МАРПОЛ устанавливает основные требования к $EEXI$, а также коэффициент снижения от базового значения для конкретного типа судна, рассчитанного для $EEDI$. Принципиальная разница заключается в том, что $EEDI$ предварительно рассчитывается на стадии проектирования судна, и поэтому, если судно не соответствует требуемым значениям, то судно может совершать эксплуатацию только при ограничении мощности двигателя.

$EEXI$, также как и $EEDI$, характеризует выбросы CO_2 на тонну перевозимого груза и милю пройденного расстояния.

Таким образом, рассматривая конструкцию судна и сопоставляя ее со средним значением аналогично показателя для группы однотипных судов, можно сделать заключение о соответствии требованиям.

Это принципиально отличает конструктивные показатели, которыми является $EEDI$ и $EEXI$ от эксплуатационных критериев, к которым следует отнести индекс углеродной интенсивности (Carbon Intensity indicator – CII) и план управления энергоэффективности судна.

Новый критерий энергоэффективности судов CII , введенный поправками к Приложению VI к МАРПОЛ, принятыми на 76-й сессии КЗМС, является эксплуатационным показателем, учитывающим фактическое потребление топлива и расстояние, пройденное для каждого отдельного судна в эксплуатации. Согласно Руководству ИМО по вычислению CII достигнутый индекс углеродной интенсивности можно выразить простой формулой:

$$attainad\ CII = M/W, \quad (5)$$

где M – суммарная масса в граммах эмиссии CO_2 с судна в течении года, которая рассчитывается путем суммирования массы каждого сорта потребленного топлива, перемноженного на соответствующий для этого сорта топлива переводной коэффициент, взятый из Руководства по расчетам $EEDI$; W – транспортная работа, которая вычисляется как суммарное расстояние.

После 2023 года для судов на основе данных о потреблении топлива ежегодно должен рассчитываться так называемый достигнутый индекс углеродоемкости (attained СІІ). Достигнутый СІІ определяется количеством выбросов CO_2 (в граммах) от потребленного на борту топлива на единицу транспортной работы.

Затем администрация государства флага присваивает кораблю рейтинг от «А» до «Е» (где А – лучший) на основе его показателей по сравнению с годовым целевым показателем СІІ.

План корректирующих действий должен быть разработан для судов, не достигших ежегодного целевого показателя СІІ. К ним относятся суда, которые получают оценку D или E один раз в течение трех лет подряд. В настоящее время ИМО пересматривает и обновляет руководство по SEEMP, чтобы обеспечить дополнительную ясность в отношении информации, которая должна быть подробно изложена в плане.

КЗМС на указанной выше сессии предложил также для использования на добровольных началах индикатор эксплуатационной энергетической эффективности EEOI, который определяется по следующей формуле (6):

$$EEOI = \frac{M_{CO_2}}{\text{транспортная работа}}, \quad (6)$$

где M_{CO_2} – масса выброшенного в атмосферу углекислого газа в результате сжигания топлива на судне (7), т:

$$M_{CO_2} = \sum_j FC_j \cdot C_{Fj}, \quad (7)$$

где FC – расход топлива судном за j-ый (FC_j) рейс или период эксплуатации, например, за день главными и вспомогательными двигателями, котлом и инсинератором, т.; C_{Fj} – безразмерный фактор приведения расхода топлива к эмиссии CO_2 , зависящий от содержания углерода в топливе.

Транспортная работа рассчитывается с помощью уравнения (8):

$$\text{Транспортная работа} = \sum_i (m_{cargo,i} \cdot D_i), \quad (8)$$

где $m_{cargo,i}$ — перевезенный груз или выполненная работа (число контейнеров или пассажиров), или валовая вместимость для пассажирских судов, т; D – расстояние, соответствующее выполненной работе по перевозке груза или пассажиров, морские мили.

Более правильно называть EEDI индексом выброса парникового газа CO_2 или индексом эффективности расходования топлива на судне, либо индексом выбросов парникового газа CO_2 , одновременно характеризующим эффективность использования топлива для преобразования его энергии в транспортную работу, но не индексом энергетической эффективности.

Индекс EEOI может быть использован для оценки выбросов парникового газа CO_2 без адаптации к условиям эксплуатации судов на ВВП РФ. Однако этот параметр правильнее называть показателем выбросов (эмиссии) CO_2 , связанных с топливоиспользованием на судне, но не индексом эксплуатационной энергетической эффективности, и применять для оценки контролирующими органами загрязнения судами окружающей среды парниковым газом.

Индексы EEDI и EEOI являются размерными величинами, вследствие чего их нормирование вызывает определенные трудности в связи с отсутствием эталона.

Таким образом, разработка методик определения энергетической эффективности судов, с одной стороны, отвечающих требованиям законодательства Российской Федерации, а с другой стороны – необходимых для целей управления и диагностирования СЭУ, представляет собой важную и актуальную задачу.

Результаты исследования и их обсуждение

На 74-й сессии КЗМС (май 2019 г.) утвержден Порядок оценки воздействия на государства возможных мер по снижению выбросов ПГ с судов. Процедура определяет четыре шага:

Шаг 1: первоначальная оценка воздействия, которая должна быть представлена как часть начального предложения Комитету по возможным мерам;

Шаг 2: представление документов с комментариями, если таковые имеются;

Шаг 3: исчерпывающий ответ, если это требуется комментирующими документами; и

Шаг 4: всесторонняя оценка воздействия, если этого требует КЗМС.

Оценки воздействия должны основываться на фактических данных и должны учитывать, при необходимости, инструменты и модели анализа, такие как инструменты анализа экономической эффективности, т.е. модели стоимости морского транспорта, модели торговых потоков, влияние на валовой внутренний продукт (ВВП); обновленные кривые предельных затрат на борьбу с загрязнением окружающей среды (МАСС); экономические торговые модели, транспортные модели и комбинированные торгово-транспортные модели.

При разработке оценки воздействия на государства также следует учитывать:

- географическую удаленность и связь с основными рынками;
- стоимость и тип груза;
- транспортную зависимость;
- транспортные расходы;
- продовольственную безопасность;
- реагирование на стихийные бедствия;
- экономичность; и
- социально-экономический прогресс и развитие.

Непропорционально негативное воздействие должно быть оценено и устранено соответствующим образом.

Применение альтернативных видов топлива, таких как: аммиак, биотопливо, электроэнергию, топливные элементы, водород, метанол, ветер.

Перспективным является использование инновационных технологий. Так, например, в рамках проекта GMN МТСС, финансируемого Европейским союзом, продолжаются пилотные проекты. В одном из них в Тихом океане установлены солнечные панели на паром, что привело к экономии топлива на 32% при эксплуатации и сокращению выбросов парниковых газов на 87% на якоре. Другие примеры включают сбор и анализ данных о потреблении судового топлива; помощь в оптимизации дифферента корабля; разработка оценок технологических потребностей; и проведение энергетического аудита портов. Данные из пилотных проектов передаются для облегчения масштабирования и развертывания в других местах [4-5].

Заключение

Проведенный анализ показывает, что предложенный метод оптимизации позволит удовлетворить потребности судна на эксплуатацию и промысловые технологические операции, сократить потребление топлива, снизить вредные выбросы, что в целом повысит энергоэффективность судовой энергетической установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванченко А.А., Петров А.П., Живлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2015, № 3(31). – С. 103–112.

2. Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития энергетических установок крупных судов // Труды Крыловского государственного научного центра. Санкт-Петербург – 2016, № 94(378). – С. 125–148.

3. Мясников Ю.Н., Никитин А.М. Характеристики пропульсивного комплекса в проблеме обеспечения энергоэффективной и экологически безопасной эксплуатации морского судна // Судостроение. – 2017, № 5. – С. 33–40.

4. Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития энергетических установок // Труды Крыловского государственного научного центра. Санкт-Петербург – 2017, № 3(381). – С. 75–90.

5. Козлов А.В., Теренченко А.С., Миренкова Е.А., Ветошников А.Г. Оценка энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания // Сборник трудов докладов международной научно-технической конференции «Двигатель-2017», посвященной 110-летию специальности «Дизельные двигатели» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Режим доступа: URL: <http://pistonengines.ru/images/konferencia/> (дата обращения: 21.02.2023).

PROBLEM ISSUES OF BIOLOGICAL FOULING AND CORROSION OF SEA WATER SYSTEMS AND THEIR SOLUTIONS

Tishenko Oksana Sergeevna, Specialist in educational and methodological work of the department "Operation of ship power plants"

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia, e-mail: invkerch@yandex.ru

The amendments involve the introduction of new requirements for sea cargo and passenger ships operating outside national waters from January 1, 2023. Such vessels will have to ensure compliance with the established value of the "energy efficiency coefficient" of the vessel and undergo appropriate certification. If the vessel receives a low rating, it will have to develop and implement a corrective action plan to increase carbon intensity. From 2023, CO2 emissions of all ships per unit of cargo transported should not exceed the established standards. Less than 25% of bulk carriers and tankers operating today are fully compliant with the new requirements. By the end of 2025, it is planned to revise the adopted requirements.

УДК 621.31

ПРИНЦИПЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ТРАЛОВОЙ ЛЕБЕДКИ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «СУДНО – ЛЕБЕДКА – БУКСИРУЕМЫЙ ОБЪЕКТ»

¹Ивановская Александра Витальевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок;

²Виноградов Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры судовождения и промышленного рыболовства;

³Ивановский Алексей Николаевич, ассистент кафедры судовождения и промышленного рыболовства;

⁴Богатырева Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок

^{1,2,3,4}Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет», г. Керчь, РФ, e-mail: invkerch@yandex.ru

Рассмотрены особенности проектирования грузоподъемного оборудования рыбопромыслового судна, изложены принципы проектирования, среди которых можно выделить принцип декомпозиции, иерархии, итерации, унификации и контролируемости. Ведущую роль в создании новых машин играют теоретические исследования, включающие математическое моделирование. В работе выделены этапы формализации динамики работы, а также рекомендуемые допущения, принимаемые для адаптации полученных зависимостей в качестве инженерных расчетов.

Во многих морских технологических процессах одной из составляющих является буксировка объекта. Основным управляющим параметром является длина ваера (трос с помощью которого осуществляется буксировка). В процессе буксировки лебедка выбирает ваера или их отдает. Для выработки оптимального закона управления буксировкой объекта необходимо знать закон изменения натяжения ваера. Без решения этой задачи невозможно осуществить планирование операции буксировки и управление ею.

Отдельный интерес вызывает буксировка системы «орудие лова – улов». В Азово-Черноморском бассейне основными видами промысла являются траловый и кошельковый лов рыбы, каждый из которых отличается выполняемыми операциями.

К грузоподъёмному оборудованию морского судна предъявляются требования надежности, работоспособности, экономичности, устойчивости в работе на переменных режимах, возможности плавного регулирования производительности и мощности. При моделировании и проектировании палубного оборудования промыслового судна особую роль играют действующие на него эксплуатационные нагрузки, представляющие собой случайные процессы. Расчетными же нагрузками, которые характеризуют их максимальные или типичные значения с определенной достоверностью, являются детерминированными значениями эксплуатационных нагрузок [1].

Расчет промысловых лебедок выполняется с учетом специфики работы каждого вида механизма и состоит из следующих этапов:

1. Формирование массива исходных данных для обоснования основных проектных характеристик лебедки. Исходными данными являются: назначение лебедки, тип судна, характеристики орудий лова или грузов и т.д.

2. Обоснование основных проектных характеристик лебедки. К ним относятся: максимальное и номинальное тяговое усилие на каждом барабане, максимальная, номинальная и минимальная скорость выборки и травления каната, канатовместимость каждого барабана, мощность привода лебедки и т.д. Тяговые усилия рассчитываются в зависимости от размеров и сопротивления орудий лова. Необходимый диапазон скоростей принимают в соответствии с техникой и тактикой работы с орудием лова. Канатовместимость ваерных лебедок определяется максимальной глубиной опускания трала, кабельных барабанов, максимальной длиной кабельной оснастки тралов и т.д. Обоснование основных параметров является наиболее ответственным этапом проектирования, ошибки, допущенные на этом этапе, трудно поддаются исправлению и приводят к большим экономическим потерям.

3. Расчет гибких тяговых органов (канатов), геометрических и прочностных размеров рабочих органов (барабанов). Тип и диаметр канатов выбирают из ГОСТа с учетом рекомендуемых коэффициентов запаса прочности.

4. Построение кинематической схемы механизма.

5. Расчет и подбор привода (двигателя, редуктора, передач), расчет валов, подшипников, муфт, тормозов, укладчиков и т.д.

6. Построение схемы энергопитания, управления приводом, тормозами и муфтами лебедки.

7. Сравнение показателей технического уровня проектируемой лебедки с конструктивным прототипом.

8. Проведение мероприятий в случае необходимости по повышению технического уровня проектируемой лебедки.

9. Разработка ТЗ на конструкцию лебедки.

В основе проектирования лебедки лежат следующие принципы (рис. 1).

Среди методов проектирования следует выделить принципы: по способам организации выполнения проектных процедур: экспериментальные (макетирование и физическое моделирование) и теоретические (расчет по аналитическим выражениям, математическое моделирование); по степени автоматизации выполнения проектных процедур: автоматизированные и автоматические.



Рис. 1. Основные принципы проектирования лебедки

Модели являются важным инструментом для инженеров. При разработке нового продукта критически важно оценить его поведение в различных ситуациях. В большинстве случаев полномасштабный прототип нового продукта не доступен для тестирования. Прежде, чем приступить к созданию прототипа, необходимо быть относительно уверенным, что проект будет соответствовать определенным критериям с точки зрения стоимости, производительности и долговечности. Единственный возможный способ оценить критерии до создания прототипа — это использовать модель.

Система, состояние которой изменяется во времени, называется динамической системой [2]. Большинство аспектов современного машиностроения связаны с динамическими системами, которые оказывают значительное влияние на рыночную конкуренцию и разработку продуктов. Инженерные изделия становятся все более сложными с точки зрения компонентов и функциональных возможностей. Из-за всех этих аспектов динамические системы представляют особый интерес для моделирования. Чтобы понять и предсказать динамическое поведение существующей системы, а также спроектировать новые системы, инженерам необходимо использовать инструменты компьютерного моделирования, симуляции и анализа. В этом контексте моделирование будет процессом создания упрощенного представления особенностей реальной динамической системы, которые являются репрезентативными (релевантными для их динамического поведения).

Для анализа динамической системы траловой лебедки будем использовать математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями. Эти модели могут описывать механические, электрические, гидравлические или тепловые системы. В основном для формализации целесообразно пользоваться уравнением Лагранжа. Таким образом, можно сказать, что получаемая математическая модель лебедки – это математическое представление поведения реального объекта или процесса подъема, упрощенное, абстрактное, математическое описание, относящееся к части реальной системы, созданное с определенной целью набор уравнений (дифференциальных и/или алгебраических), описывающих отношения между переменными системы.

Можно выделить следующие этапы формализации динамики работы траловой лебедки (рис. 2).

В процессе формализации динамики лебедки следует учесть неэволюционность процесса буксировки и подъема груза, возникающие при зацепах груза о неровности дна или другие подводные объекты, обрывы троса, изменения параметров груза и длины троса [3]. Для упрощения математической модели считаем целесообразными следующие допущения:

- дискретные массы грузоподъемного устройства – абсолютно жесткие тела;
- соединения дискретных масс – упругие невесомые связи с постоянным коэффициентом жесткости;
- выбираемый трос представлен весомой упруго-вязкой нитью переменной длины погонного веса q из изотропного материала, деформация которого осуществляется согласно закона Гука;
- отсутствуют поперечные колебания троса;
- скольжение троса по барабану отсутствует;
- податливость опор барабана и направляющих шкивов ничтожно мала по сравнению с податливостью упругих связей;
- момент инерции органа навивки, в период разгона системы постоянна в связи.

Немаловажным при моделировании чувствительного к изменению нагружения привода является анализ всевозможных случаев динамического воздействия на механизм подъема со стороны механической системы «трос – буксируемый объект».

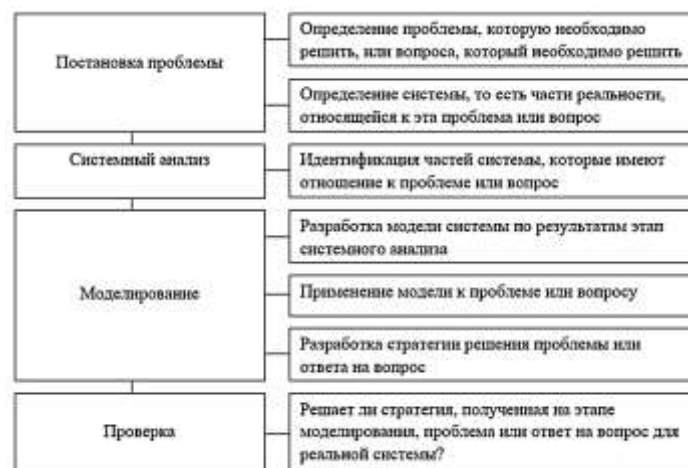


Рис. 2. Этапы формализации

Заключение

Моделирование и расчет эксплуатационной нагрузки палубного грузоподъемного оборудования промыслового судна заключается в научно-обоснованном выборе основных параметров работы устройства в зависимости от различных факторов. Высокая точность расчетов позволит избежать перегрузки привода такого оборудования, приводящей к их быстрому износу, частым поломкам и выводу из строя, а также к нежелательному нерациональному использованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановская А.В. Моделирование расчетных нагрузок, действующих со стороны траловой системы на лебедку рыбопромыслового судна / А.В. Ивановская, В.А. Жуков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 935–944.
2. Бабаков И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – М.: Наука, 1976. – 592 с.
3. Ивановская А.В. Исследование динамики приводов грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна / А.В. Ивановская, В.А. Жуков, В.В. Попов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2021. – Т. 13. – № 6. – С. 875–886.

PRINCIPLES FOR FORMALIZING THE DYNAMICS OF OPERATION OF A TRAWL WINCH AS A COMPONENT OF THE SYSTEM “SHIP – WINCH – TOWED OBJECT”

¹Ivanovskaya Aleksandra V., PhD, associate professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants;

²Vinogradov Vladimir N., Grand PhD in Engineering, Associate professor, professor of the Department of Industrial fishery;

³Ivanovskii Aleksei N., assistant lecturer of the Department of Industrial fishery;

⁴Bogatyreva Elena V., PhD, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants

^{1,2,3,4}Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia, e-mail: invkerch@yandex.ru

The paper considers the design features of the lifting equipment of a fishing vessel, outlines the design principles, among which the principle of decomposition, hierarchy, iteration, unification and controllability can be distinguished. The leading role in the creation of new machines is played by theoretical research, including mathematical modeling. The paper highlights the stages of formalization of the dynamics of work, as well as the recommended assumptions taken to adapt the obtained dependencies as engineering calculations.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МОНИТОРИНГА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МОРСКИХ СУДОВ

Горбачев Максим Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта»

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань, РФ,
e-mail: max9999_9@mail.ru

Рассматриваются вопросы повышения безопасности мореплавания морских судов при помощи систем мониторинга крутильных колебаний. Это позволит снизить риски возникновения отказов судовых машинно-двигательных комплексов в периоды между контрольными измерениями параметров крутильных колебаний, производящихся в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства через каждые 15 000 часов работы. Приведены примеры реальных аварий, возникших по причине развития крутильных колебаний и приведших к усталостным разрушениям элементов судовых валопроводов. Также приводятся результаты авторских исследований по разработке и испытаниям экспериментальных образцов системы мониторинга в лабораторных и судовых условиях, говорящих о перспективности перехода от периодической оценки крутильных колебаний к их постоянному мониторингу.

Введение

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики РФ [1], доля морских судов под флагом России с возрастом более 30 лет в период с 2010 по 2021 гг. увеличилась с 28,7% до 52,2%. Согласно международной и отечественной статистике за 2018 – 2022 гг., доля отказов судовых машинно-двигательных комплексов достигает 30% от общего числа аварий и за последние годы эта цифра стабилизировалась на указанном уровне [2, 3, 4]. Согласно данным Российского морского регистра судоходства (РМРС) около 43% среди прочих видов опасностей для судна составляют случаи потери хода и управляемости, которые напрямую связаны с отказами машинно-двигательного комплекса. Сложившаяся тенденция говорит о необходимости повышения внимания к безопасности мореплавания и внедрения новых технологий, которые помогут снизить риски возникновения подобных происшествий на морских судах. Современное развитие автоматики и информационных технологий привело к возможности обеспечения не только контроля, но и постоянного мониторинга параметров и технического состояния судовых машинно-двигательных комплексов при помощи специальных систем.

Актуальность мониторинга крутильных колебаний на морских судах

Аварийные отказы в судовых валопроводах достаточно часто вызваны усталостными разрушениями таких элементов, как: коленчатые валы главных двигателей, промежуточные и гребные валы, упругие муфты и т.д. В значительной мере усталостные разрушения вызваны сочетанием продольных, поперечных и крутильных колебаний судового валопровода, при этом, крутильные колебания, по мнению многих специалистов, являются основной причиной возникновения таких аварий [5, 6, 7]. Амплитуды и частоты крутильных колебаний подвергаются периодическим измерениям согласно требованиям РМРС, что позволяет сделать вывод, как об их опасности, так и о техническом состоянии демпфера крутильных колебаний. Однако это не дает полноценной гарантии возникновения отказов в период между контрольными измерениями, по следующим причинам вероятного характера: отказ демпфера из-за износа его элементов или вытекания жидкости наполнителя; высокие динамические нагрузки при работе судна в штормовых и ледовых условиях; длительная работа главного двигателя в зоне запретных зон частот вращения; посадка судна на мель и

надрыв гребного вала при попытках снятия с нее; некачественный ремонт валопровода и т.д. Подобные риски подтверждаются рядом случаев усталостных разрушений валопроводов судов, например: буксира ОТА-974 в 2005 г.; грузо-пассажирского парома «Аратере» в 2013 г.; рыболовных судов «Леди Гертруда» в 2016 г. и «Бен энд Кейси» в 2017 г.; танкера «ЭЛАНД» в 2019 г., буксира ОТ-2110 в 2022 г. и т.д. Описанные случаи привели к финансовому ущербу для судовладельцев от нескольких млн. до нескольких десятков млн. рублей. Приведенные примеры говорят о недостаточной гарантии снижения рисков при использовании периодического контроля крутильных колебаний и необходимости перехода к их постоянному мониторингу.

Предлагаемый концепт системы мониторинга крутильных колебаний

Подобная система на судах серийно используется только компанией «Geislinger» (Австрия) [8] совместно с демпферами крутильных колебаний производства этой же фирмы. При этом следует отличать системы измерения параметров крутильных колебаний, которых на сегодня достаточное количество (в том числе и российские разработки - радиоторсиограф РТ-660 или измерительная система компании «ZetLab») от систем непрерывного мониторинга. Как отмечается в работе Костюкова В.Н. [9], мониторинг – это наблюдение за техническим состоянием агрегата или комплекса агрегатов для определения и предсказания их перехода в предельное состояние. Если сформулировать упрощенно – система мониторинга обладает функциями не только контроля параметров, но и анализа, сигнализации, передачи данных и других «SMART» технологий. Таким образом, в связи с отсутствием в настоящее время четкого термина, описывающего суть и функции системы мониторинга крутильных колебаний, предлагается в рамках исследования ввести и использовать определение следующего толкования. Система мониторинга крутильных колебаний – программно-аппаратный комплекс, осуществляющий контроль параметров (регламентированных нормативной документацией и классификационными обществами), возникающих из-за развития крутильных колебаний и обеспечивающий запись, анализ, передачу данных, сигнализацию для предотвращения рисков возникновения аварийных ситуаций в машинно-двигательных комплексах. Данная формулировка, на наш взгляд, не противоречит определению «система мониторинга», которое приведено в ряде нормативных документов и является его вариантом применительно к области исследования диссертации.

При всем вышесказанном, судовладелец не обязан переходить на новый вид оценки технического состояния судового машинно-двигательного комплекса при помощи систем мониторинга, пока этот подход не будет научно и экономически обоснован и при отсутствии эффективного технического решения, одобренного РМРС.

Благодаря проведенному анализу научно-технической литературы, для длительного мониторинга параметров крутильных колебаний были выбраны два перспективных метода - измерение при помощи лазерного датчика и отражательной ленты (подобная технология применяется в виброметрах фирмы «Брюль & Кьер», в торсиографе «СКАН», системах фирм «OROS», «ENGIE Laborelec», «LOGIC ELEMENTS» и т.д.) и при помощи тензометрических датчиков (метод используется в системах «Астеч Электроникс», «General Electric», «Marine Electronic Engineering LTD», «IVC Technologies», «Binsfeld Engineering» и т.д.).

Для практической реализации этих двух методов в ФГБОУ ВО «АГТУ» на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» были разработаны два экспериментальных образца системы мониторинга с тензометрическими датчиками и лазерным датчиком с отражательной лентой [10].

Результаты исследования

Полученные экспериментальные образцы системы мониторинга прошли лабораторные испытания, а вариант с тензометрическими датчиками прошел испытания и в судовых условиях в течение одного месяца. Это дало возможность получить торсиограммы отдельных рейсов судна бункеровщика при длительности переходов до 11 часов. Полученные результаты позволяют говорить о применимости подобных систем для длительного мониторинга крутильных колебаний и формирования на их основе данных для оценки технического состояния демпферов крутильных колебаний и упругих муфт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Транспорт в России 2022 году. Статистический сборник. – М.: Росстат, 2022. – 101 с.
2. Федеральная служба по надзору в сфере транспорта. Управление государственного морского и речного надзора. Обзор аварийности с судами на море и на внутренних водных путях Российской Федерации за 2022 год, М.: Госморречнадзор, 2023. – 43 с.
3. Commercial marine shipping accidents: understanding the risks in Canada. Workshop Report. Council of Canadian Academies, 2016. – 70 s.
4. European Maritime Safety Agency. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents, 2021. – 150 s.
5. Викулов С.В. Диагностика коленчатого вала судового дизеля по параметрам крутильных колебаний // Ползуновский вестник № 4/3, 2013. – с. 146–150.
6. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.
7. Возницкий И.В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. СПб.: Моркнига, 2006. – 138 с.
8. Geislinger Monitoring System. Catalog, 2018. – 34 s.
9. Костюков В.Н. и др. Состояние и перспективы развития мониторинга технического состояния в реальном времени оборудования промышленных предприятий // VI Научно-техническая конференция. Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций. – М.: ОАО «ВТИ», 2011. – с. 29–34.
10. Результаты разработки и испытания прототипа системы мониторинга крутильных колебаний судовых валопроводов в рамках реализации научного гранта «СТАРТ-1». Покусаев М.Н., Сибряев К.О., Горбачев М.М. // В сборнике: 66-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета. Материалы конференции. – Астрахань, 2022. – С. 466–468.

IMPROVING NAVIGATION SAFETY BY MONITORING OF TORSIONAL VIBRATIONS OF ENGINE-PROPULSION COMPLEXES OF SEA-GOING VESSELS

Gorbachev Maxim Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Operation of Water Transport"

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: max9999_9@mail.ru

The study examines the issues of improving the safety of navigation of marine vessels using torsional vibration monitoring systems. This will reduce the risk of failures of ship propulsion systems during the periods between control measurements of torsional vibration parameters, carried out in accordance with the requirements of the Russian Maritime Register of Shipping every 15,000 hours of operation. The study provides examples of real accidents that occurred due to the development of torsional vibrations and led to fatigue failure of ship shafting elements. The results of the author's research on the development and testing of experimental samples of the monitoring system in laboratory and ship conditions are also presented, indicating the prospects for the transition from periodic assessment of torsional vibrations to their constant monitoring.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И НАЛАДКИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

¹Русаков Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электрооборудования и автоматики судов;

²Чупин Виктор Михайлович, главный электроинженер

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, РФ, e-mail: rusakov.sm@bgarf.ru

²Круизная компания «Ройал карибиан интернешнл», США

Цель работы заключается в обобщении опыта использования современных калибраторов и имитаторов, позволяющих повысить качество и сократить затраты времени на проверку готовности и подготовку к вводу в действие, техническое обслуживание и диагностирование судовых систем управления, контроля и защиты. Новизна состоит в рекомендациях и схемах использования калибраторов и имитаторов в процессе технической эксплуатации судовых систем автоматизации. Использование этого класса приборов способствует повышению надежности, безопасности и эффективности технической эксплуатации судового энергооборудования.

Энерговооруженность и уровень автоматизации современных судов неуклонно повышаются, что дает возможность эффективно вести промысел морских биоресурсов, добывать со дна моря и транспортировать энергоносители, развивать международную торговлю и туризм в сложной геополитической обстановке.

В связи с этим возрастают требования к надежности и безопасности технической эксплуатации судового энергооборудования.

Качество технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) систем и устройств автоматизации (С и УА) судового высокоавтоматизированного энергооборудования существенно влияет на надежность и безопасность его эксплуатации.

Трудоемкость и сложность выполнения ТО и Р, в особенности диагностирования, значительно возрастают в связи с усложнением судового оборудования, интенсивной цифровизацией процессов контроля и управления, использованием новых физических принципов и технических решений в конструкции датчиков, усилительных и исполнительных устройств С и УА.

Среди требуемого перечня проверок, выполняемых при ТО судовых С и УА выделяются те, которые предписывают определять погрешность источников информации и отклонения в работе связанных с ними систем управления (СУ) и систем автоматического регулирования (САР) судовых объектов управления (ОУ), систем централизованного контроля (СЦК), систем аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) и систем автоматической защиты (САЗ). Значимость указанных проверок обусловлена тем, что обеспечить безопасную и экономичную эксплуатацию судовых ОУ невозможно при выходе за допустимые пределы погрешности работы или при отказах систем АПС и САЗ, при недопустимых отклонениях параметров локальных САР, при сбоях в работе систем дистанционного автоматизированного управления (ДАУ) судовыми двигателями. Это проверки:

- соответствия установленным требованиям погрешности датчиков систем ДАУ и локальных САР;
- соответствия установленным требованиям показателей качества работы локальных САР;
- точности срабатывания систем АПС и САЗ;
- правильности, реализуемых системой ДАУ алгоритмов, так как не все системы ДАУ имеют встроенные имитаторы датчиков и другие средства проверки правильности функционирования.

Выявленные несоответствия устраняются путем настройки, ремонта или замены в зависимости от технического состояния (ТС) контролируемого элемента или системы.

В частности, Правилами эксплуатации С и УА на судах флота рыбной промышленности России [1], при подготовке к вводу в действие С и УА требуется убедиться в правильности функционирования С и УА. Для этого проверяется:

- исправность средств АПС систем ДАУ ГД, ВДГ, систем управления ВКУ и других объектов управления СЭУ;

- правильность поддержания установленных значений температуры смазочного масла, охлаждающей воды, а также частоты вращения на холостом ходу и при нагрузке судовых двигателей.

При выполнении ТО-1 (без вывода из действия) СЦК предписано выполнить проверку точности:

- измерения параметров путем сравнения с показаниями штатных контрольно-измерительных приборов, расположенных на местном посту управления (МПУ);

- срабатывания каналов сигнализации плавным изменением уставки, величины параметра или с помощью имитатора датчика.

При выполнении ТО-2 (с выводом из действия) С и УА судовых ОУ предписано проверить:

- исправность системы АПС;

- точность срабатывания и величину временных задержек в цепях АПС и защиты;

- точность показаний средств дистанционного контроля, правильность функционирования регистраторов и других средств отображения информации.

Существенно повысить качество и достоверность указанных проверок и сократить трудоемкость контроля и диагностирования технического состояния судового электрооборудования (СЭО) и средств автоматики, позволяет использование таких современных специализированных технических средств как многофункциональные калибраторы, имитаторы, тестеры и ряд других переносных устройств.

Мультиметры (рис.1), как наиболее известные и универсальные приборы, применяются на судах для «прозвонки» электрических цепей, предохранителей, определения уровня напряжений постоянного и переменного тока, измерения частоты импульсных и синусоидальных сигналов, экспресс-проверки полупроводниковых приборов: диодов, тиристоров и симисторов, биполярных и IGBT-транзисторов [2]. Их также используют для измерения параметров судовой электрической сети, для измерения электрических выходных сигналов и диагностики датчиков, регуляторов и других электрических и электронных С и УА.

Однако мультиметры не позволяют выполнить указанные выше проверки в полном объеме. С помощью мультиметров невозможно без дополнительных устройств проверять и подстраивать средства и каналы измерения температуры, давления и других теплофизических параметров.

В отличие от мультиметров приборы типа калибраторов и имитаторов обеспечивают эффективное и качественное выполнение предписываемых правилами и инструкциями по эксплуатации проверок [3, 4]. Также калибраторы и имитаторы незаменимы при диагностировании систем автоматического регулирования и их функциональных узлов.



Рис. 1. Мультиметр в комплекте с измерительными щупами, гибким токоизмерительным датчиком и беспроводным модулем измерения переменного/постоянного тока

Калибратор – специальная эталонная мера, предназначенная для поверки, калибровки или градуировки измерительных приборов, установок методом сличения. В общем случае калибраторы выполняют функции эталонных источников электрических сигналов (тока, напряжения и частоты) и устройств, воспроизводящих другие физические процессы или явления с определёнными, точно заданными параметрами [5].

Калибраторы позволяют:

- оперативно проверить соответствие измерительных каналов систем автоматического контроля и управления метрологическим требованиям, точность срабатывания систем автоматической защиты и в случае обнаружения несоответствия устранить его подстройкой измерительного канала, заменой датчика или другого функционального узла влияющего на точность измерений;
- диагностировать техническое состояние и определить неработоспособный элемент или функциональный блок системы.

По количеству выполняемых функций калибраторы подразделяются на универсальные (многофункциональные) и специализированные, предназначенные для выполнения ограниченного числа функций.

Современные универсальные калибраторы (калибраторы процессов, рис.2) выполняют следующие основные функции [6]:

- воспроизведение и поддержание заданной температуры;
- измерение и генерирование постоянного тока, напряжения, частотных и импульсных сигналов;
- измерение давления и управление контроллером давления;
- тестирование реле;
- обеспечение работы токовой петли от источника постоянного напряжения 24 В для питания токовой петли, совместимой с цифровыми шинами FOUNDATION Fieldbus, Profibus PA;
- измерение (до трех каналов одновременно) и имитация сопротивления термометров сопротивления;
- измерение (до двух каналов одновременно) и имитация сигналов термопар;
- компенсация термопар: внутренняя, внешняя, ручная;
- поверка и калибровка расходомеров с токовыми или частотными выходными сигналами;
- калибровка/поверка автоматически или вручную оператором;
- хранение данных о приборах, процедурах, результатах калибровок, возможность передачи данных во внешнее программное обеспечение;
- коммуникацию устройств с интерфейсами HART, FOUNDATION Fieldbus, Profibus.



Рис. 2. Универсальные калибраторы (калибраторы процессов): с термостатом и компрессором – 1, без термостата и компрессора – 2

К числу дополнительных относятся следующие возможности:

- масштабирование любых измерений;
- звуковая сигнализация о достижении верхних, нижних границ параметра и скорости его изменения;
- тест утечки;
- цифровая фильтрация измеряемых сигналов;
- программируемые функции наклонов и ступеней при генерировании сигналов;
- программируемые кнопки быстрого ввода значений;
- удобная подстройка генерируемой величины;
- полная информация на дисплее о выбранной величине;
- создание списка пользователей, измерения пользователя, а также градуировок платиновых термометров сопротивления.

Универсальные калибраторы различаются по степени автоматизации процесса калибровки датчиков, наличием внутренних или внешних модулей давления, массогабаритными характеристиками и стоимостью.

Универсальные калибраторы (калибраторы процессов) дорогие устройства. Альтернативой им являются более дешёвые переносные универсальные калибраторы без термостата и компрессора, к которым выпускаются дополнительные устройства в основном с ручным приводом: комплекты для пневматических испытаний, гидравлические комплекты и испытательные насосы (рис. 3).



Рис. 3. Дополнительные устройства к универсальным калибраторам без термостата и компрессора: комплекты для пневматических испытаний – 1, гидравлические комплекты – 2 и испытательные насосы – 3

Специализированные калибраторы предназначены для настройки и калибровки определенного вида датчиков и измерительных приборов.

Калибраторы температуры (рис. 4) предназначены для калибровки (поверки) термопар, термометров сопротивления, стеклянных и манометрических термометров, термореле погружного типа [7]. Основой их конструкции является термостат, оснащенный контроллером, датчиками температуры и регулятором температуры. Примером такого устройства является цифровой сухоблочный калибратор температуры серии RTC-R. Он обеспечивает присущую жидкостным термостатам однородность температуры с высокой скоростью ее изменения при меньших габаритах.



Рис. 4. Калибратор температуры

Некоторые калибраторы температуры оснащены дополнительными функциями быстрого нагрева и охлаждения, снабжены схемой измерения сигнала внешнего эталонного термометра сопротивления. Такой термометр устанавливается рядом с поверяемым датчиком и подключается к специальному разъему калибратора. Это существенно упрощает калибровку методом сличения, который обладает значительно меньшей погрешностью.

Калибраторы давления (рис. 5) предназначены для точного задания и измерения давления в широком диапазоне, в том числе, при использовании в составе автоматических испытательных систем [8].



Рис. 5. Калибратор давления

Калибраторы давления подразделяются:

- на устройства с ручным насосом для задания давления и на калибраторы-контроллеры с встроенным насосом с электроприводом;
- на пневматические калибраторы и гидравлические калибраторы.

Модули измерения и регулирования давления, а также шасси, оснащены клапанами сброса давления для защиты прибора и персонала от чрезмерного повышения давления. Давление можно задавать вручную с клавиатуры и плавно регулировать вращением рукоятки, расположенной на передней панели.

Калибраторы-имитаторы термопар предназначены для высокоточного измерения и воспроизведения (имитации) сигналов термопар с компенсацией колебаний температуры холодного спая [9].

Калибраторы-имитаторы термопреобразователей сопротивления выполняют измерение температуры по выходному сигналу термопреобразователя сопротивления и имитацию выходного сигнала термопреобразователя сопротивления по заданной температуре.

Они необходимы при калибровке термометров, средств передачи сигналов термодатчиков, контроллеров и регистраторов температуры. Конструктивное исполнение позволяет использовать их, как в лабораторных, так и в судовых условиях.

На рис.6. представлены образцы калибратора-имитатора термопар (1) и калибратора-имитатора термопреобразователей сопротивления (2).

Калибраторы петли тока (рис. 7) предназначены измерения, генерирования и моделирования слабых токов. Они обеспечивают:

- быструю и простую проверку линейности токового сигнала с шагом 25 %;
- быструю проверку нулевой точки и диапазона;
- регулируемое медленное пилообразное, быстрое пилообразное и пошаговое изменение тока;
- питание петли тока от встроенного источника постоянного напряжения 24 В;
- режимы работы в диапазоне 0 – 20 мА или 4 – 20 мА.

Мультиметры-калибраторы с клещами для измерения слабых токов без разрыва петли обеспечивают:

- генерацию сигналов 4 – 20 мА для проверки входов/выходов или точек подключения систем управления;
- моделирование сигналов 4 – 20 мА для проверки входов/выходов систем управления;
- измерение сигналов 4 – 20 мА внутри цепи;
- питание преобразователя с помощью источника питания петли 24 В;
- автоматическое пилообразное или ступенчатое изменение выходного сигнала 4 – 20 мА для дистанционного тестирования токовой петли.



Рис. 6. Калибратор-имитатор термопар (1) и калибратор-имитатор термопреобразователей сопротивления (2)



Рис. 7. Калибратор петли тока

Имитаторы термометров сопротивления, частоты вращения и сигналов токовой петли относятся к наиболее простым и недорогим приборам. Имитаторы воспроизводят характеристики реальных датчиков для проверки и настройки систем управления, контроля и защиты судовых ОУ без их ввода в действие.

Имитаторы термометров (термопреобразователей) сопротивления с различными градуировками представляют собой набор переключаемых сопротивлений, соответствующих сопротивлению реальных датчиков температуры, при определенных значениях температуры [11]. Они предназначены для поверки и калибровки тепловычислителей, входящих в состав теплосчетчиков. В судовых условиях эти имитаторы целесообразно использовать для проверки исправности функционирования и калибровки измерительных каналов систем управления, контроля и защиты без использования штатных термометров (термопреобразователей) сопротивления. Примеры имитаторов представлены на рис. 8.



Рис. 8. Имитаторы датчиков температуры резистивного типа:

1 – прецизионный, специализированный, для поверочных лабораторий; 2 – наиболее доступный

Имитаторы датчиков частоты вращения с импульсным выходным сигналом выполнены на основе генератора прямоугольных импульсов с перестраиваемой частотой (рис.9) [12]. С их помощью выполняется проверка работы САЗ судовых двигателей по недопустимому повышению частоты вращения при неработающих двигателях.



Рис. 9. Имитатор датчиков частоты вращения

Имитаторы токовых сигналов стандарта 4 – 20 мА (рис. 10) предназначены для формирования дискретного набора токовых сигналов [13]. Имитатор подключается вместо датчика с токовым выходом к регулятору (контроллеру) и формирует фиксированные выходные токовые сигналы, определяемые положением переключателя имитатора.

Имитаторы применяются в следующих случаях:

- для имитации выхода датчиков на этапе ввода в эксплуатацию различных систем, построенных на основе датчиков с токовым выходом 4 – 20 мА;
- для программирования характеристик датчиков с выходом 4 – 20 мА в контроллерах;
- для тестирования и отладки контроллеров, работающих совместно с датчиками с выходом 4 – 20 мА;
- для анализа работы систем управления, контроля и защиты, построенных на основе датчиков с выходом 4 – 20 мА;
- для тестирования и отладки различных исполнительных механизмов, управляемых от сигналов 4 – 20 мА с 2-х проводной схемой подключения: клапанов, приводов и т.п.;
- для анализа в процессе эксплуатации нештатных ситуаций, проверки состояния кабельной сети, диагностики неисправности датчиков и иного оборудования, входящего в состав систем управления, контроля и защиты различного типа;
- для проведения технического обслуживания и проверки работоспособности систем управления, контроля и защиты.



Рис. 10. Имитатор токовых сигналов стандарта 4 – 20 мА

Решение о необходимости подстройки (калибровки) датчиков и подключенных к ним измерительных каналов систем ДАУ, СЦК и САР, входных каналов систем АПС и САЗ принимается при выходе погрешности измерений или срабатывания за допустимый предел, равный 2,5% для современных судовых систем. Измеряемая величина равна рабочему (номинальному) значению или 80% от этого значения. Аналогично входная величина для систем АПС и САЗ равна установленному пределу срабатывания. Для упрощения процесса проверки допускается использование калибраторов и имитаторов для воспроизведения измеряемого параметра на выведенном из действия объекте.

Погрешность складывается из двух составляющих – аддитивной погрешности (смещение нуля) и мультипликативной (отклонение коэффициента преобразования).

На рис.11 представлены градуировочные характеристики (ГХ) средств измерений и измерительных каналов, где обозначены:

Y, X – относительные значения измеряемого параметра на выходе и входе средства измерений (измерительного канала);

1, 2, 3 – ГХ при отсутствии погрешностей, с погрешностями смещения нуля и отклонения коэффициента преобразования, с компенсацией смещения нуля соответственно.

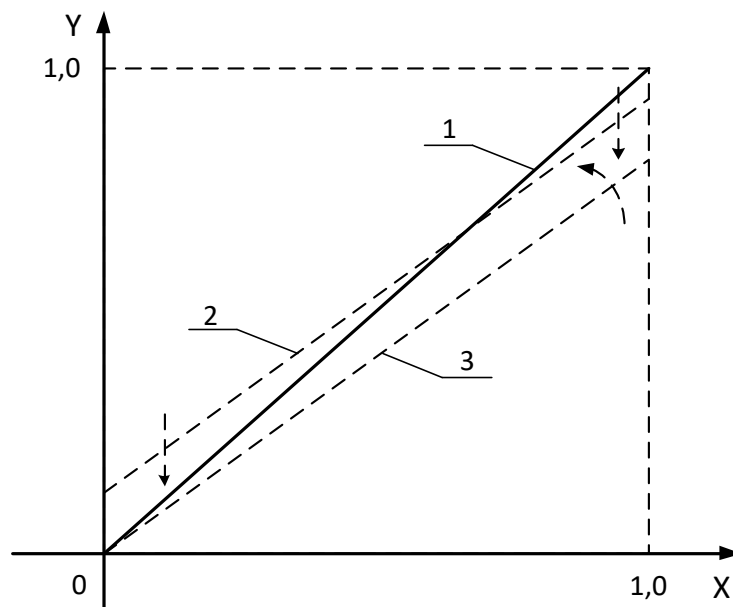


Рис. 11. Градуировочные характеристики средств измерений и измерительных каналов

Цель калибровки – путем настройки устранить недопустимую погрешность измерения средства измерений или измерительного канала и характеристику 2 привести к виду 1 (рис. 11).

Структурная схема измерительного канала приведена на рис.12.

На структурной схеме обозначены:

- 1 – измерительный преобразователь (ИП);
- 2 – выходной преобразователь напряжение – ток датчика;
- 3 – аналоговый канал связи датчика с каналом преобразования ПЛК (регулятора, СЦК) в виде токовой петли 4 – 20 мА;
- 4 - входной преобразователь ток - напряжение канала преобразования ПЛК (регулятора, СЦК);
- 5 – усилительно-нормирующий блок с входами для подстройки нуля (ZERO) и коэффициента преобразования (SPAN);
- 6 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 7 – цифровой индикатор.

Обозначения настроечных элементов ZERO и SPAN используются практически во всех технических описаниях и инструкциях по эксплуатации судовых зарубежных средств измерений и СЦК.

Последовательность калибровки одинакова для всех датчиков судовых систем:

- воспроизводится нулевое значение измеряемого параметра;
- показания цифрового индикатора настраиваются на ноль (воздействием на вход ZERO);
- воспроизводится 80 % номинальной величины измеряемого параметра;
- показания цифрового индикатора системы измерения настраиваются на эту же величину (воздействием на вход SPAN).

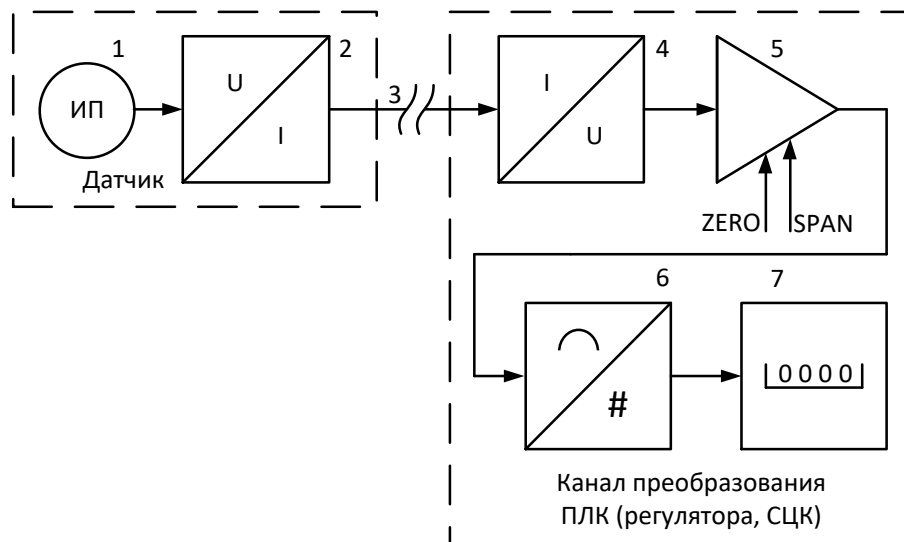


Рис. 12. Структурная схема измерительного канала

Калибровка измерительных каналов с термопарами выполняется с использованием универсальных калибраторов, калибраторов температуры или калибраторов-имитаторов термопар.

Калибровка может выполняться только при исправной схеме компенсации ненулевой температуры свободного спая термопар. При неисправной схеме появляется погрешность измерения, вызванная изменением температуры свободного спая. Исправность работы схемы подтверждается независимостью измеряемой температуры от изменения температуры свободного спая термопары.

Калибровка измерительного канала с термопарой с использованием универсальных калибраторов и калибраторов температуры выполняется следующим образом:

- термопара калибруемого канала демонтируется с места установки на выхлопном коллекторе двигателя и размещается для выравнивания температур рядом с поверенным термометром высокого класса (не ниже 1.0), включается система измерения и контроля (СЦК);
- корректируется смещение нуля по температуре окружающего воздуха, настройкой ZERO на индикаторе выставляется температура, показываемая термометром;
- термопару устанавливают в калибратор (универсальный или температуры), задают температуру 250⁰С (300⁰С), включают режим нагрева и стабилизации температуры на заданном уровне;
- после достижения заданной температуры настройкой SPAN корректируется коэффициент преобразования измерительного канала (показания индикатора выставляются на температуру нагрева термопары).

При отсутствии поверенного термометра высокого класса точности для воспроизведения нулевой температуры и коррекции смещения нуля следует использовать термоизолированную емкость с водой и льдом. Для коррекции коэффициента преобразования измерительного канала без калибраторов используют ёмкость с кипящей водой.

Пример использования калибраторов и имитаторов при калибровке измерительных каналов, подготовке и вводе в действие, ТО-1 и ТО-2, диагностировании судовых систем АПС (САЗ, СЦК) представлен на рис. 13.

В канал преобразования контролируемого (изменяемого) параметра с выходным интерфейсом 4 – 20 мА входят: ИП – измерительный преобразователь, А1 - усилитель, U1 – преобразователь напряжения в токовый сигнал 4 – 20 мА. Преобразование сопротивления R_t термопреобразователя в напряжение U_R осуществляется подачей тока 10 мА от системы АПС (САЗ, СЦК). При выходе параметра за установленные предельные значения включаются элементы звуковой Р1 и световой Р2 сигнализации. Измерительный прибор У в СЦК отображает текущие значения параметра Х в аналоговой или цифровой форме. Исполнительное устройство САЗ представлено в виде электромагнитного клапана ЭМК, обеспечивающего остановку ОУ, например, дизель-генератора, путем перекрытия подачи топлива.

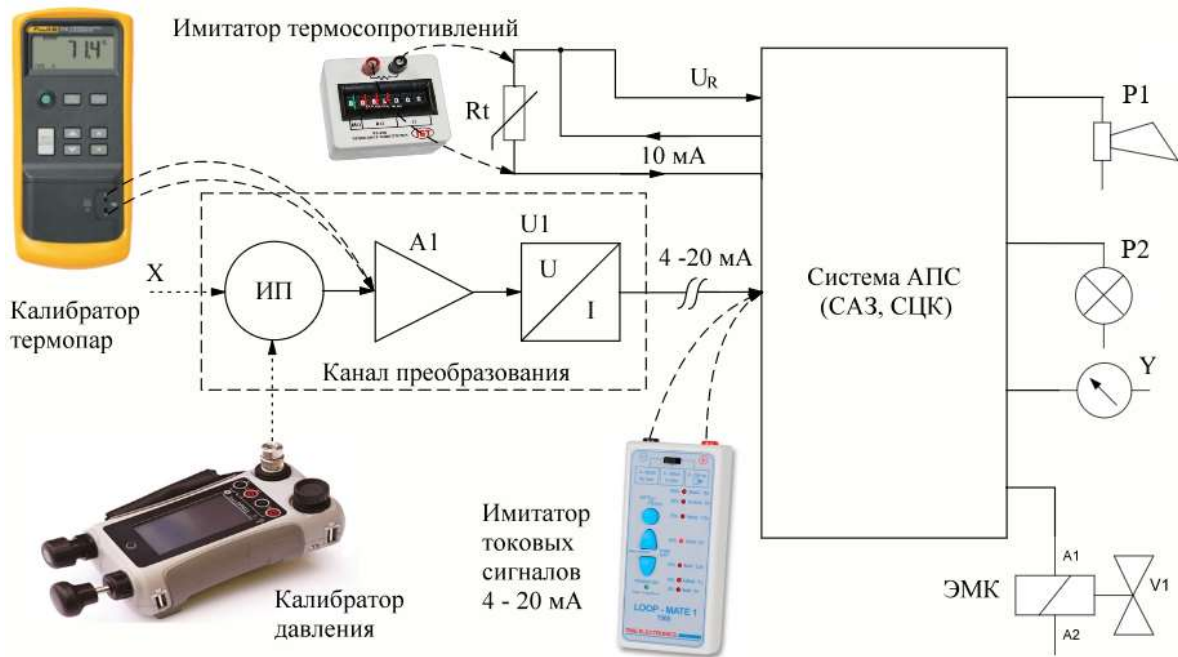


Рис. 13. Пример использования калибраторов и имитаторов при подготовке и вводе в действие, ТО-1 и ТО-2, диагностировании систем АПС, САЗ и СЦК

Калибровка измерительного канала с термопарой с использованием калибратора-имитатора термопар выполняется в таком порядке (при ТО-2):

- калибратор-имитатор настраивается на функцию измерения температуры термопарой используемого в системе типа;
- измерительный кабель, соединяющий термопару с измерительным каналом системы измерения и контроля температуры, отсоединяется от термопары;
- калибратор-имитатор в режиме измерения подключается к термопаре, по его индикатору считывается температура;
- калибратор-имитатор переключается в режим имитации термопары и подключается к кабелю системы измерения температуры, ему задается температура, определенная при подключении калибратора-имитатора к термопаре и эта же температура регулировкой ZERO системы выставляется на индикаторе системы;
- на калибраторе-имитаторе задается температура, равная 80% от номинальной, регулировкой SPAN показания индикатора системы измерения температуры выводятся на эту же величину (для малооборотных ГД температура выхлопных газов равна 500°C - 550°C);
- восстанавливается соединение измерительного кабеля системы с термопарой.

Калибровка измерительных каналов с термопреобразователями сопротивления может выполняться с использованием универсальных калибраторов, калибраторов температуры и калибраторов-имитаторов термопреобразователей сопротивления аналогично представленной выше калибровке измерительных каналов с термопарами. Однако, учитывая более длительную стабильность параметров термопреобразователей сопротивления по сравнению с термопарами, целесообразно использовать более простые и недорогие имитаторы термопреобразователей сопротивления для калибровки измерительных каналов с термопреобразователями сопротивления.

Калибровка с использованием имитатора термосопротивлений выполняется следующим образом (при ТО-2):

- измерительный кабель, соединяющий термосопротивление с измерительным каналом системы измерения и контроля температуры, отсоединяется от термосопротивления и подключается к имитатору;

- на имитаторе задается температура, равная 0°C , регулировкой ZERO системы 0°C выставляется на индикаторе системы;
- на имитаторе задается температура, равная 80% от номинальной, регулировкой SPAN показания индикатора системы измерения температуры выводятся на эту же величину;
- восстанавливается соединение измерительного кабеля системы с термосопротивлением.

Для калибровки измерительных каналов с датчиками давления могут использоваться универсальные калибраторы с компрессором (комплект для пневматических испытаний) и калибраторы давления. Калибровка выполняется аналогично представленной выше калибровке измерительных каналов с термопреобразователями.

Для проверки и калибровки аналогового интерфейса в виде петли тока используются калибраторы и имитаторы токовой петли.

При отсутствии в конструкции датчика (измерительного преобразователя) настроек аналогового интерфейса типа токовой петли проводится проверка его исправности. Она осуществляется калибратором токовой петли при нулевом значении и при 80% (100%) от верхнего предела измеряемой (преобразуемой) физической величины. Также рекомендуется проверить линейность преобразования при промежуточных значениях физической величины.

Калибровка токовой петли датчика (измерительного преобразователя) при наличии настроек начального тока и тока конца диапазона преобразования (установка нижнего и верхнего значений токов насыщения, соответственно из диапазонов 3,6 – 4,0 мА и 20,0 – 21,0 мА) выполняется следующим образом:

- кабель, соединяющий измерительный преобразователь с контроллером (регулятором, СЦК), отсоединяется от контроллера (регулятора, СЦК) и подключается к калибратору токовых сигналов стандарта 4 – 20 мА;
- на датчик с преобразователем напряжение-ток подается измеряемая величина с нулевым значением (температуры, давления, уровня и т.д.);
- по индикатору калибратора регулировкой начального тока преобразователя выставляется ток 4 мА;
- на датчик с преобразователем напряжение-ток подается измеряемая величина равная 80% (100%) от верхнего предела (температуры, давления, уровня и т.д.);
- по индикатору калибратора регулировкой тока верхнего предела преобразователя выставляется ток 16 мА (20 мА);

Калибровка входного преобразователя токовой петли контроллера (регулятора, измерительного канала СЦК) осуществляется аналогично калибровке измерительных каналов с датчиками:

- кабель, соединяющий измерительный преобразователь с контроллером (регулятором, СЦК), отсоединяется от измерительного преобразователя и подключается к имитатору (калибратору) токовых сигналов стандарта 4 – 20 мА;
- на имитаторе (калибраторе) задается ток 4 мА, соответствующий нулевому значению, преобразуемого в ток сигнала (измеряемого параметра);
- регулировкой ZERO контроллера (регулятора, измерительного канала СЦК) ноль выставляется на его индикаторе;
- на имитаторе (калибраторе) задается ток, равный 80% (100%) от верхнего предела тока и регулировкой SPAN показания индикатора контроллера (регулятора, измерительного канала СЦК) выводятся на 80% (100%) от верхнего предела измеряемого (передаваемого по токовой петле) параметра.

При выполнении ТО-2 систем АПС, ТО-1 СЦК выборочно проверяется точность срабатывания каналов сигнализации плавным изменением уставки, плавным изменением величины параметра, либо с помощью имитатора датчика [1]. Проверка с использованием калибраторов (имитаторов) наиболее безопасна.

На рис. 13 показан один из вариантов подключения имитаторов и калибраторов для проверки точности срабатывания каналов защиты и сигнализации по давлению и температуре в системах АПС (САЗ, СЦК).

К калибратору давления подключается датчик давления. Предварительно он демонтируется с места установки, очищается поверхность чувствительного элемента его измерительного преобразова-

теля (ИП). Посредством встроенного компрессора или вручную калибратором плавно повышается давление до срабатывания сигнализации. Если измеренное давление срабатывания с учетом погрешности не отличается от величины уставки, то метрологические характеристики канала – в норме.

Аналогично проверяются каналы сигнализации по температуре. Для этого могут использоваться как калибраторы процессов, так и калибраторы температуры.

Для быстрой проверки исправности и диагностирования судовых систем и устройств автоматики также удобно использовать калибраторы и имитаторы. Они позволяют при неработающем ОУ провести проверку различных средств автоматики.

В качестве примера ниже приведено описание поиска неисправности в системе управления среднеоборотным главным двигателем с редуктором с использованием портативных устройств: мультиметра, калибратора и имитатора. Предположим, установлено, что система ДАУ не отработывает команду «Пуск», привод маслососа редуктора не включается.

Поиск неисправности начинается с датчика давления, как элемента системы с наиболее высокой вероятностью выхода из строя.

Без документации по внешнему виду, количеству контактов разъема и размерам датчика можно определить его конструктивное исполнение и вид выходного сигнала:

- аналоговый (непрерывный) токовый 4...20 мА;
- дискретный с механическим воздействием на электрический контакт;
- дискретный с полупроводниковым ключевым элементом (n-p-n или p-n-p типа) и токовый 4...20 мА;
- токовый 4...20 мА и цифровой по интерфейсу RS-485 по протоколу Modbus-RTU.

Большинство судовых современных датчиков давления – компактные, электронного типа, с двухпроводной схемой подключения и аналоговым выходом 4 – 20 мА. Чувствительный элемент: керамическая мембрана с мостом Уитстона из четырех тензорезисторов. Давление, действующее на мембрану, приводит к деформации и изменению сопротивления тензорезисторов. Появляется разбаланс мостовой схемы. Электроника датчика усиливает и преобразует сигнал разбаланса в унифицированный выходной сигнал, а также обеспечивает напряжением питания его схемы.

Датчики (сигнализаторы) давления с электрическим контактом (замыкающим, размыкающим, переключающим) традиционно используются на судах, имеют более простую, но громоздкую конструкцию за счет рычажно-пружинной системы настройки со шкалой и указателем давления срабатывания.

Датчики-реле давления электронного типа, с одним или двумя разъемами:

- с полупроводниковым ключом и аналоговым выходом 4 – 20 мА;
- токовым 4...20 мА и цифровым выходом по интерфейсу RS-485 по протоколу Modbus-RTU.

В рассматриваемом примере полагаем, что по документации или внешнему виду, количеству контактов в разъеме определен вид интерфейса датчика: токовый 4...20 мА.

Проверяется наличие повреждений или загрязнений чувствительного элемента (мембраны) датчика.

При отсутствии повреждений и загрязнений проверяется наличие или отсутствие короткого замыкания в электронике датчика. Кабель, соединяющий датчик с СУ отключается от датчика, мультиметром замеряется сопротивление между выходными клеммами датчика. Низкое сопротивление указывает на то, что в электронике датчика имеется короткое замыкание, датчик вышел из строя и подлежит замене.

В случае высокого сопротивления к датчику с соблюдением полярности подключается калибратор токовой петли. При нулевом избыточном давлении и исправном датчике калибратор должен показать 4 мА. После этого датчик подключается к калибратору давления и задается определенный уровень давления (меньший номинального). Токовый сигнал должен увеличиться пропорционально заданной величине давления. Если это не происходит, то датчик неисправный.

Подключить вместо датчика давления калибратор (имитатор) токовой петли к кабелю, соединяющему датчик с СУ. Задать калибратором (имитатором) ток 4 мА и контролировать реакцию СУ по сигнальным светодиодам состояния входов/выходов или по монитору СУ.

Если СУ не реагирует на имитацию низкого давления в редукторе, то подключить калибра-

тор (имитатор) токовой петли непосредственно к клеммам СУ. В этом случае реакция СУ на входной сигнал позволяет сделать вывод о неисправном состоянии кабеля и контактных соединений в цепи передачи сигнала от датчика давления к СУ.

Если СУ реагирует на имитацию низкого давления в редукторе, а электропривод маслонасоса не включается, то проверяется цепь включения контактора, подключенного к выходу СУ через промежуточное реле. Для этого отключаются провода от катушки контактора, и на неё подается постороннее питание.

Если датчик, СУ и пускатель исправны, то проверяется электродвигатель маслонасоса.

Таким образом, применение на судах современных калибраторов и имитаторов позволяет сократить затраты времени на проверку качества работы, настройку и диагностирование судовых систем управления, контроля и защиты. Это способствует повышению надежности, безопасности и эффективности технической эксплуатации судового энергооборудования. Хотя калибраторы и имитаторы существенно различаются по функциональным возможностям и цене, для каждого судна, в зависимости от конкретных условий, имеется возможность приобрести оптимальные по цене комплекты или отдельные приборы из указанных технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила эксплуатации систем и устройств автоматизации на судах ФРП России. – СПб: Гипрорыбфлот. – 2000. – 120 с.
2. Цифровые мультиметры. – URL: <https://flukerussia.com/tsifrovie-multimetri/fluke-a3000-fc-kit/> (дата обращения 29.03.2023)
3. Дьяконов В.П. Многофункциональные калибраторы — новый класс измерительных приборов // Компоненты и технологии. – 2013 – № 10 . – С. 169–179.
4. Имитаторы термопреобразователей сопротивления. – URL: <https://www.electropribor.ru/catalog/283/mk3002.htm/> (дата обращения 29.03.2023)
5. Калибратор. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Калибратор/> (дата обращения 29.03.2023)
6. Метрологическое и контрольно-измерительное оборудование. Многофункциональные калибраторы и др. – URL: <https://www.irimex.ru> (дата обращения 29.03.2023)
7. Сухоблочные калибраторы измерителей температуры. – URL: <https://nd-testing.ru/products/sukhoblochnye-kalibratory-izmeriteley-temperaturey1/> (дата обращения 29.03.2023)
8. Портативный калибратор давления серии Druck DPI 611. – URL: <https://kiptm.com/wp-content/uploads/2020/05/17/dpi-611-calibrator-opisanie.pdf/> (дата обращения 29.03.2023)
9. Калибратор термомпар. – URL: https://www.pribor-service.ru/catalog/pribory-izmereniya-i-regulirovaniya-temperaturey/kalibratory_temperaturey/ (дата обращения 29.03.2023)
10. Калибратор термосопротивлений. – URL: <https://flukeshop.ru/kalibratory-processov/kalibratory-temperaturey/kalibrator-temperaturey-fluke-712-rtd/> (дата обращения 29.03.2023)
11. RS-RTD – Имитатор резистивных датчиков температуры. – URL: <https://www.etalonpribor.ru/catalog/poverochnoe-oborudovanie/RS-RTD/> (дата обращения 29.03.2023)
12. Функциональный генератор Dds. – URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.57fa9477-644ef339-8c5aff8d-74722d776562/https/www.manualslib.com/manual/1447796/Ezm-Fg-100.html/ (дата обращения 29.03.2023)
13. Имитатор контура /тока/напряжения. – URL: <https://www.manualslib.com/manual/2559115/Time-Electronics-7006.html/> (дата обращения 29.03.2023)

EXPERIENCE IN THE USE OF MODERN TECHNICAL MEANS FOR THE DIAGNOSIS AND ADJUSTMENT OF SHIP EQUIPMENT ELECTRICAL EQUIPMENT AND AUTOMATION EQUIPMENT

¹Rusakov Sergey Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Automation of Ships;

²Chupin Viktor Mikhailovich, Chief Electrical Engineer

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: rusakov.sm@bgarf.ru

²Royal Caribbean International Cruise Company, USA

The purpose of the work is to generalize the experience of using modern calibrators and simulators, which allow to improve the quality and reduce the time spent on checking readiness and preparing for commissioning, maintenance and diagnostics of ship's control, control and protection systems. The novelty consists in recommendations and schemes for the use of calibrators and simulators in the process of technical operation of ship automation systems. The use of this class of devices contributes to improving the reliability, safety and efficiency of technical operation of marine power equipment.

УДК 654.16

СИНТЕЗ НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА И СТРУКТУРЫ ПРИЕМНИКА ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Матвиенко Александр Евгеньевич, преподаватель дисциплин специальной подготовки

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Ейский морской рыбопромышленный техникум (филиал), Ейск, Россия, e-mail: matvienkoae@mail.ru

Проводится синтез навигационного сигнала и структуры приёмника фазовых радионавигационных систем (РНС). В качестве критерия синтеза используются параметры функции рассогласования. Основное преимущество многочастотного навигационного сигнала заключается в том, что с одной стороны у данной системы точность как у сверхширокополосной системы, с другой стороны реализуется она как узкополосная система, в которой узлы оборудования более эффективны. Корреляционный приёмник РНС реализует функция рассогласования в виде $\sin(x)/x$, позволяет интерполировать и экстраполировать в соответствии с рядом Котельникова.

Введение

Для решения задачи синтеза навигационного сигнала использована методика синтеза РЛС, где в качестве критерия синтеза используются параметры функции рассогласования. Функция рассогласования с одной стороны определяет основные ТТХ системы: помехоустойчивость, чувствительность, точность, а с другой стороны определяет зондирующий сигнал и структуру приёмника [1].

Корректность данной методики обосновывается тем, что любое измерение – это сравнение, а функция рассогласования – это мера совпадения при сравнении.

Существуют различные типы фазовых РНС, а именно дальномерная, разностно-дальномерная, угломерная фазовая РНС. Во всех типах РНС фазовый сдвиг пропорционален дальности. Также в спутниковых навигационных системах имеется возможность фазовых измерений [2].

Разложение тригонометрических функций в гиперболический ряд

Тригонометрические функции можно представить в виде рядов. Например, функцию можно представить в виде суммы степенных функций, непрерывной дроби или бесконечных произведений. Также тригонометрическую функцию можно разложить в гиперболический ряд [3]:

$$\frac{1}{\sin(x)} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^k}{x + k \cdot \pi}. \quad (1)$$

На рис. 1 и 2 представлены результаты моделирования схождения гиперболических рядов. Видна сходимость гиперболических рядов уже при пяти слагаемых. Далее мы используем это разложение в синтезе.

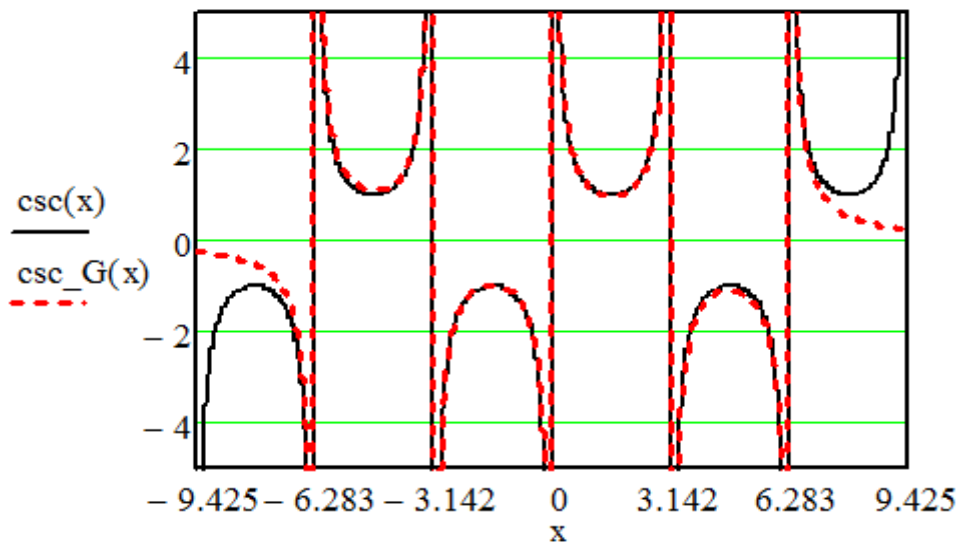


Рис.1. Проверка сходимости гиперболического ряда к косекансу

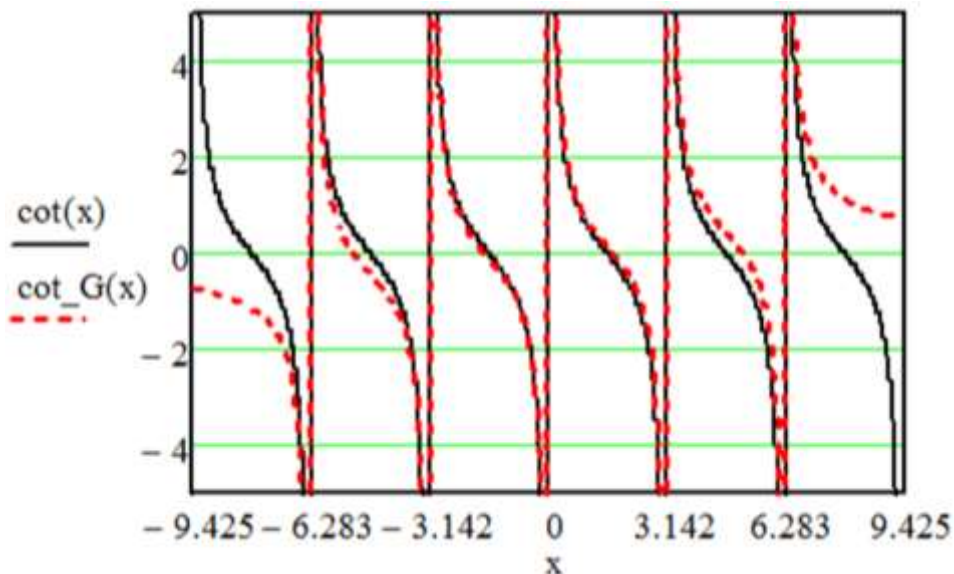


Рис.2. Проверка сходимости гиперболического ряда к котангенсу

Функция взаимной корреляции синусоидальных сигналов

При общей постановке вопроса рассогласование по фазе это разные начальные фазы двух синусоидальных сигналов.

Наилучшим устройством сравнения и измерения параметров сигналов является корреляционный приёмник (рис. 3), в котором сначала перемножаются сигналы, а затем результат перемножения интегрируется во времени.



Рис. 3. Корреляционный приёмник

Если мы их подадим на корреляционный приёмник двух синусоидальных сигналов, то получим функцию взаимной корреляции (ФВК) в виде косинуса с соответствующим периодом повторения, а значит неоднозначности измерений [4]:

$$\begin{aligned} \chi_n(\Delta\Theta) &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S_1(t, \Delta\Theta_n) \cdot S_0(t, \Delta\Theta'_n) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A_0^2 \cdot \sin(\Delta\omega_n t + \Theta_n) \cdot \sin(\Delta\omega_n t + \Theta'_n) dt \end{aligned} \quad (2)$$

где Θ_n – разница фаз сигналов S_1 и S_0 ; Θ'_n – аппаратный сдвиг фазы S_0 относительно S_1 ; $\Delta\Theta_n$ – рассогласование по фазе, равное:

$$\Delta\Theta_n = \Theta_n - \Theta'_n = \frac{\Delta\omega_n}{c} \cdot (R - R') = \frac{\Delta\omega_n}{c} \cdot \Delta R, \quad (3)$$

где R, R' – фактическая дальность до объекта и дальность, на которую настроен приёмник РНС, соответственно.

Здесь и далее, термином «разница фаз» обозначается разница фаз доплеровских частот, обусловленная задержкой распространения, а термином «сдвиг фазы» обозначается аппаратный сдвиг фазы принятого сигнала.

Выполнив интегрирование (2) получим ФВК сигналов S_0 и S_n как Функция взаимной корреляции (рассогласования) по фазе $\Delta\Theta_n$:

$$\chi_n(\Delta\Theta) = \frac{1}{2} A_0^2 \cdot \cos \Delta\Theta_n \quad (3)$$

или с учётом (3):

$$\chi_n(\Delta R) = \frac{1}{2} A_0^2 \cdot \cos\left(\frac{\Delta\omega_n}{c} \Delta R\right). \quad (4)$$

Таким образом, требуется выбрать навигационный сигнал и структуру приёмника так, чтобы периодическая косинусоидальная функция взаимной корреляции преобразовалась в функцию с допустимым периодом однозначности.

Синтез функции рассогласования

На рис. 4 представлены основной и побочные лепестки функции рассогласования по фазе в виде функции «синус икс на икс» [3]:

$$\begin{aligned}\psi^{осн}(\Delta\Theta) &= \frac{\sin(G \cdot \Delta\Theta)}{G \cdot \Delta\Theta}; \\ \psi_{k'}^{поб(-)}(\Delta\Theta) &= \frac{\sin(G \cdot (\Delta\Theta + k'\pi))}{G \cdot (\Delta\Theta + k'\pi)} = \frac{-\sin(G \cdot \Delta\Theta)}{G \cdot (\Delta\Theta + k'\pi)}; \\ \psi_{k''}^{поб(+)}(\Delta\Theta) &= \frac{\sin(G \cdot (\Delta\Theta + k''\pi))}{G \cdot (\Delta\Theta + k''\pi)} = \frac{\sin(G \cdot \Delta\Theta)}{G \cdot (\Delta\Theta + k''\pi)}.\end{aligned}\quad (5)$$

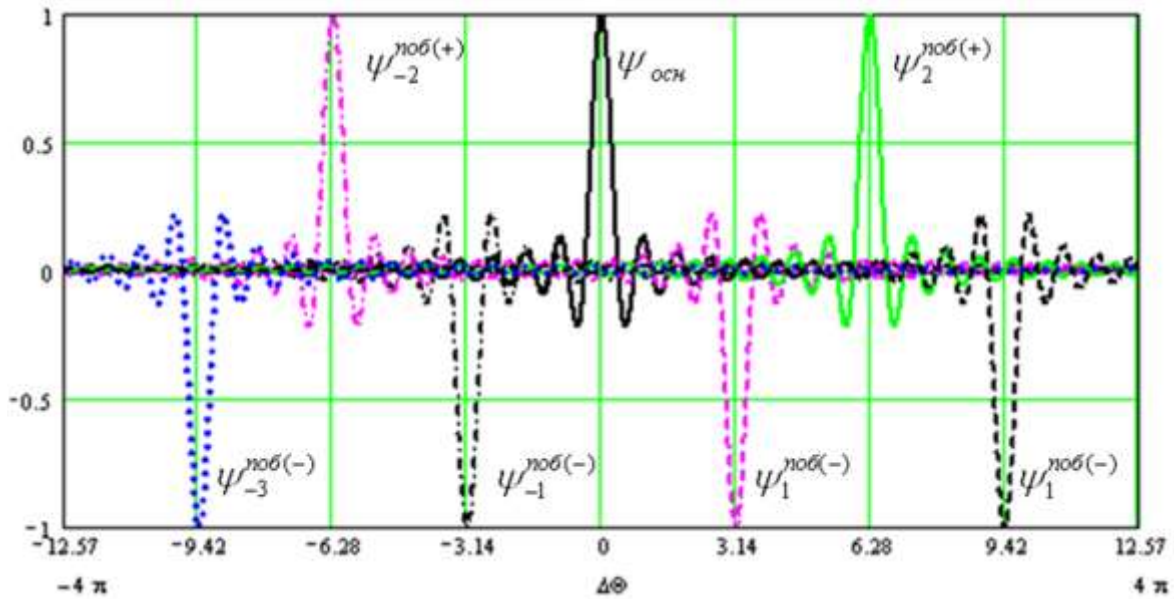


Рис. 4. Основной и побочные лепестки функции рассогласования по фазе в виде функции «синус икс на икс»

Данная функция будет представлять собой произведение функции «синус икс на икс» и гиперболического ряда:

$$\psi(\Delta\Theta) = \frac{\sin(G \cdot \Delta\Theta)}{G} \times \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^k}{\Delta\Theta + k \cdot \pi}.\quad (6)$$

Как было показано ранее (1), данный гиперболический ряд сводится к косекансу, тогда получаем:

$$\psi(\Delta\Theta) = \frac{\sin(G \cdot \Delta\Theta)}{G \cdot \sin \Delta\Theta}\quad (7)$$

На рис. 5 представлена функция рассогласования (ФР) по фазе. Данная функция представляет собой периодическую функцию «синус икс на икс».

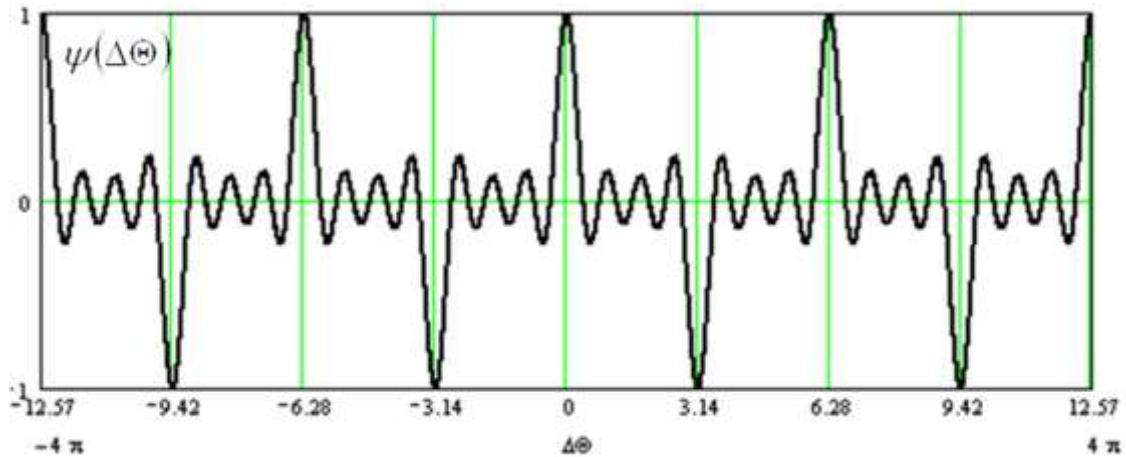


Рис. 5. Функция рассогласования по фазе

Следует отметить, что при использовании периодического сигнала неоднозначность измерений любой системы принципиально не устраняется. Необходимо увеличить интервал однозначности до значения более грубого измерения дальности по временной задержки.

Навигационный сигнал и структура приёмника

Если принять $G = 2^N$, где N – целое положительное число, то последовательно применяя тригонометрическую формулу двойного угла, можно выражение (7) представить как:

$$\psi(\Delta\Theta) = \frac{\sin(2^N \cdot \Delta\Theta)}{2^N \cdot \sin \Delta\Theta} = \prod_{n=1}^N \cos(2^{n-1} \Delta\Theta). \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что с учётом (3) или (4), ФР можно выразить по дальности как произведение ФВК $\chi_n(\Delta\Theta)$ или $\chi_n(\Delta R)$, если:

$$\Delta\omega_n = 2^{n-1} \cdot \Delta\omega, \quad (8)$$

где $\Delta\omega$ – минимальное изменение несущей частоты.

Отбрасывая множитель A_0 в (4) запишем формулу определяющую отношение ФР и ФВК доплеровских частот:

$$\psi(\Delta R) = \prod_{n=1}^N \cos\left(\frac{2^{n-1} \cdot \Delta\omega}{c} \Delta R\right) = \prod_{n=1}^N \chi_n(\Delta R), \quad (9)$$

где ΔR – рассогласование по дальности, т.е. разница между фактической дальностью до ОО и дальностью, на которую настроен приёмник РНС.

Таким образом, для формирования ЗО необходимо выполнение двух условий. Первое условие – разница между значением частот ЗС должна удовлетворять (8). Второе условие – требуется специальная обработка доплеровских сигналов. Вначале рассчитывается значение ФВК доплеровских частот в соответствии с (2). Затем рассчитывается значение ФР в соответствии с (7). В зависимости от рассогласования по дальности результирующее значение ФР определяется (9).

На рис. 6 представлены диаграммы, поясняющие данный способ обработки навигационных сигналов для случая $G=4$.

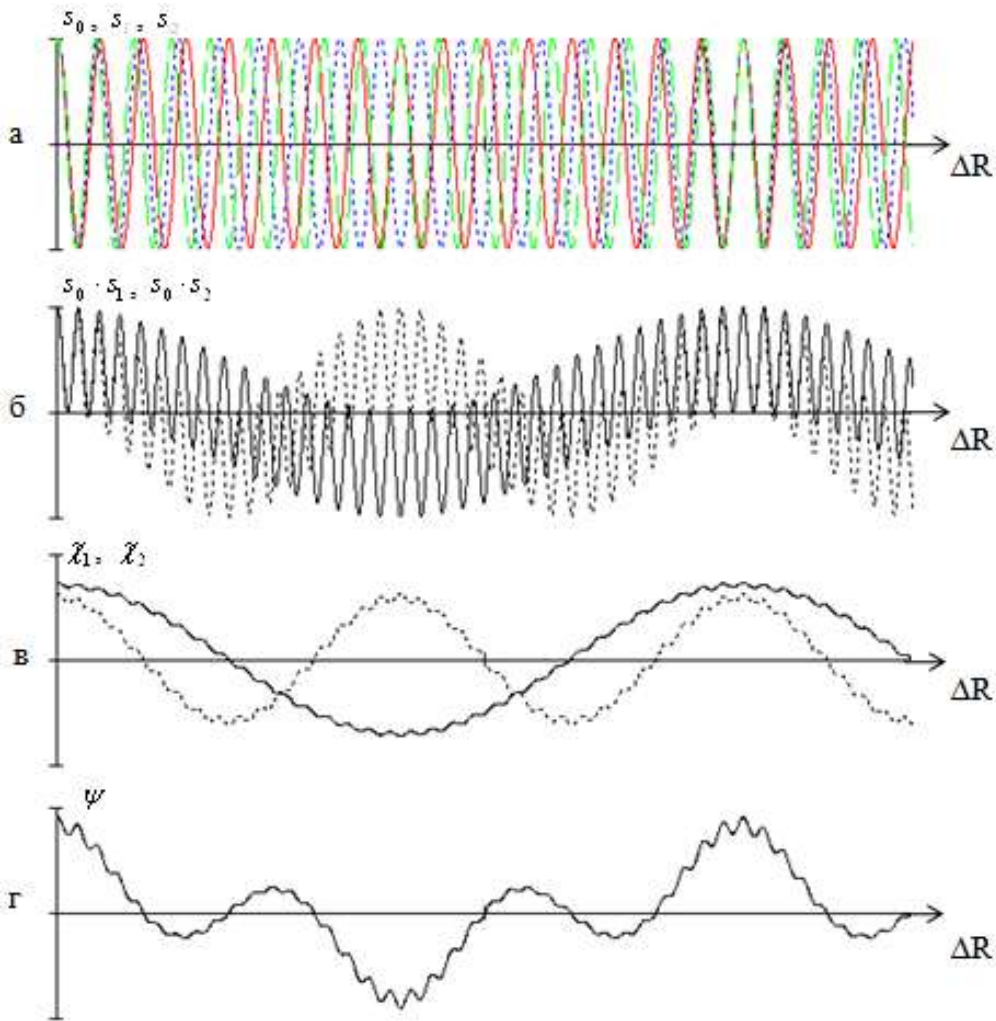


Рис. 6. Иллюстрация предлагаемого способа обработки навигационных сигналов

Из рис. 6 видно, что при добавлении дополнительной частоты в навигационный сигнал интервал однозначности увеличивается вдвое. А функция рассогласования стремится к периодической функции «синус икс на икс».

При добавлении ещё одной разностной навигационной частоты интервал однозначности ещё увеличится вдвое. И так далее будет удваиваться и всё лучше приближаться к функции «синус икс на икс».

На рис. 7 представлена структура приёмного устройства для обработки навигационного сигнала.

На рис. 8 представлен многочастотный навигационный сигнал фазовой РНС и его спектр (б).

Ширина основного лепестка ФР определяется значением максимальной разности частот в навигационном сигнале $2^{N-1} \cdot \Delta\omega$, а интервал однозначности значением минимальной разности частот в навигационном сигнале $\Delta\omega$.

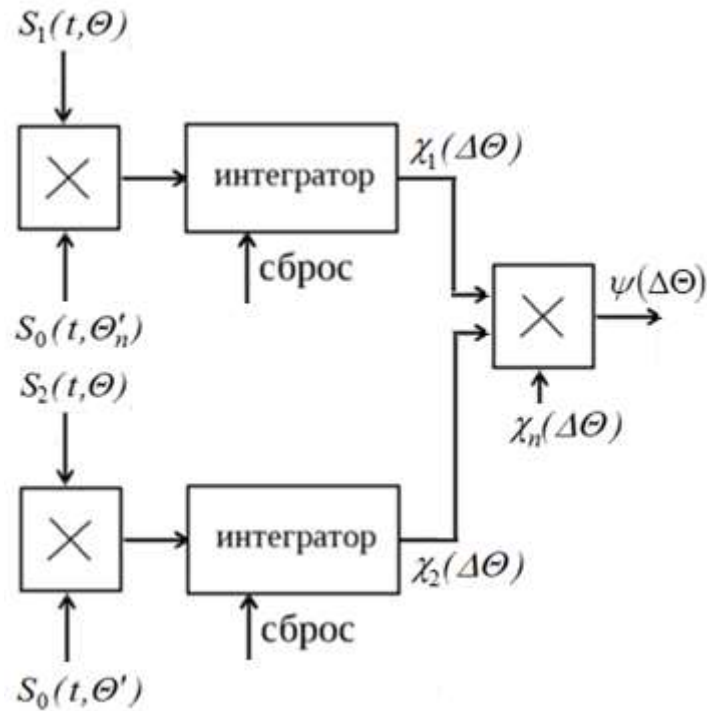


Рис. 7. Структура приёмного устройства для обработки навигационного сигнала

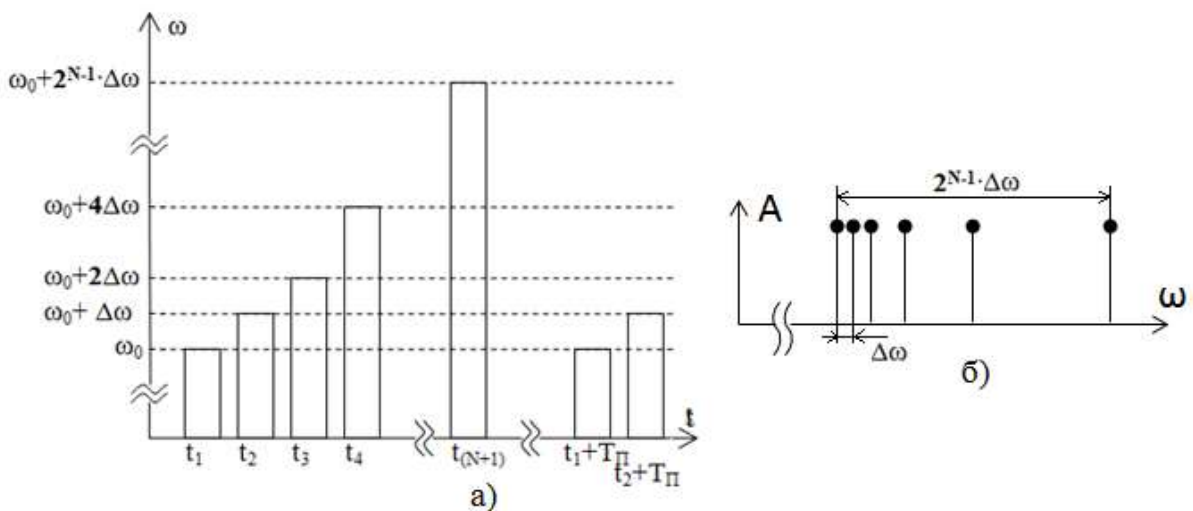


Рис. 8. Многочастотный навигационный сигнал фазовой РНС (а) и его спектр (б)

Заключение

Основное преимущество многочастотной РНС заключается в том, что с одной стороны у данной системы точность как у сверхширокополосной системы, с другой стороны реализуется она как узкополосная система, в которой узлы оборудования более эффективны. Дискретный частотный спектр позволяет более эффективно использовать частотный ресурс. Частоты навигационного сигнала в широком диапазоне позволяют компенсировать ошибку, связанную с распространением радиоволны в тропосфере.

Функция рассогласования в виде $\sin(x)/x$ позволяет интерполировать и экстраполировать в соответствии с рядом Котельникова (рис. 8).

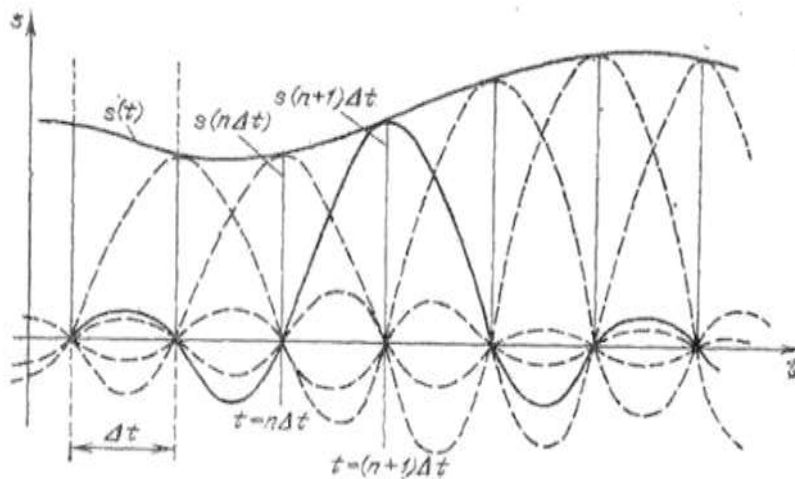


Рис. 8. Ряд Котельникова

Данное разложение позволяет восстанавливать значение координат при несовпадении фактической дальности и теми дальностями, на которые настроен многоканальный навигационный приёмник. То, что обычно именуется боковыми лепестками в ДН антенн или фильтрующих функций в данном фазочувствительном приёмнике таковыми не являются.

Также корреляционный (энергетический) приёмник РНС реализует максимальную возможную чувствительность и соответственно максимально возможную дальность действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольский Б.А. Основы радиотехнических систем. – Самара: Самарский государственный радиотехнический аэрокосмический университет, 2013. – 469 с.
2. Бакулев П.А. Радионавигационные системы: учебник. – М.: Радиотехника, 2011. – 269 с.
3. Матвиенко А.Е. Системы ближней радиолокации для обнаружения наземных целей на основе частотно-модулированного и многочастотного зондирования. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, 2010 – 163 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Стереотип, 2022. – 448 с.

SYNTHESIS OF NAVIGATION SIGNAL AND RECEIVER STRUCTURE OF PHASE-BASED RADIO NAVIGATION SYSTEMS

Matvienko Alexander Evgenievich, teacher of special training disciplines

Astrakhan State Technical University, Yeisk Marine Fishing Technical School (branch), Yeysk, Russia, e-mail: matvienkoae@mail.ru

In this work, the synthesis of the navigation signal and the structure of the receiver of phase radio navigation systems (RNS) is carried out. The parameters of the mismatch function are used as a synthesis criterion. The main advantage of a multi-frequency navigation signal is that, on the one hand, this system has the accuracy of an ultra-wide-band system, on the other hand, it is implemented as a narrow-band system in which the equipment nodes are more efficient. The RNS correlation receiver implements the mismatch function in the form of $\sin(x)/x$ allows interpolation and extrapolation in accordance with the Kotelnikov series.

ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНЯТИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ «ТОЛЬКО НЕРЫБОПРОМЫСЛОВОЕ СУДНО»

¹Ермаков Сергей Владимирович, канд. техн. наук, директор морского института;

²Мулина Елена Вадимовна, аспирант

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, РФ, e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru; ²mulina409@gmail.com

Рассмотрены, проанализированы и разъяснены нормы Положения о дипломировании членов экипажей морских судов, касающиеся снятия ограничения «только нерыбопромысловое судно», вносимые в квалификационные документы при их получении. Идентифицирована проблема наличия и качества программ подготовки для работы на рыбопромысловом судне, обучение по которым является необходимым условием для снятия ограничения.

Введение

Практически любой нормативный правовой акт, будь то закон, постановление, приказ, правила, инструкция или положение, в результате правотворческой деятельности не может получиться идеальным, какие бы профессионалы над ним не работали. Здесь возможны и пробелы, и противоречия, неточность, неясность и неопределенность формулировок. Приводящие к различным их трактовкам. Эти недостатки начинают проявляться после вступления нормативного правового акта в силу и начала правоприменения. Для устранения этих недостатков, предупреждения проблем регулирования, уполномоченные на то органы издают инструкции, дают разъяснения по применению спорных норм, вносят поправки в «сырые» нормативные правовые акты.

8 ноября 2021 года Министр транспорта Российской Федерации подписал приказ № 378 «Об утверждении Положения о дипломировании членов экипажей морских судов» [1]. Положение вступило в силу 1 марта 2022 года. Нельзя, конечно, сказать, что оно стало началом новой эпохи в дипломировании, однако новелл в новом документе всё-таки немало, в том числе и тех, что вызывают вопросы. По этой причине уже в начале декабря 2022 года, т.е. задолго до истечения года работы документа, на базе ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. С.О. Макарова» было созвана Конференция по вопросам организации, методики подготовки и повышения квалификации членов экипажей морских судов, особенностям, проблемам и перспективам развития и получившая название «Подготовка и дипломирование моряков». Причём созвана она была по согласованию с Федеральным агентством морского и речного транспорта. Проработав интенсивно два дня Конференция выработала ряд рекомендаций, среди которых:

- устранить разночтения Положения и типовых программ повышения квалификации командного состава экипажей морских судов о подготовке согласно п.3 Раздела А-VI/4 Кодекса ПДНВ [2] путем внесения поправок в типовые программы с учетом замечаний Минздрава России;
 - разработать технико-эксплуатационные требования к учебно-тренажерным центрам;
 - уйти от практики применения ограничений в квалификационных документах до реализации существующих образовательных инструментов, таких как дополнительные курсы повышения квалификации или тренажерная подготовка, позволяющих морякам снять эти ограничения;
 - обеспечить единство оформления квалификационных документов дипломными отделами служб капитанов морских портов при их выдаче и продлении;
 - в названиях типовых программ подготовки указывать должности (специалиста), а не только ссылку на норму Конвенции ПДНВ [2]
- и многие другие.

Одна из рекомендаций Конференции (третья в приведённом списке) непосредственно касается предмета настоящей статьи – ограничения «только нерыбопромысловые суда» и определяет цель исследования – анализ правовых норм Положения о дипломировании членов экипажей морских судов в части, касающейся снятия ограничения «только нерыбопромысловое судно».

Содержание правовых норм, определяющих ограничения и их снятие

В настоящем исследовании принимаются к рассмотрению и анализу пункты 83, 84, 85 главы VI «Записи и ограничения, вносимые в квалификационные документы при их получении» пункт 88 главы VII «Продление действия квалификационного документа» Положения [1].

В соответствии с пунктом 83 среди ограничений, предусмотренных Конвенцией ПДНВ, которые вносятся в квалификационные документы, имеет место быть ограничение «только нерыбопромысловое судно» – для судоводителей уровня управления при отсутствии свидетельства о подготовке для работы на рыбопромысловом судне по программе, согласованной Росрыболовством, выданного морской образовательной организацией [1].

Содержание пункта 84 заключается в следующем: «Для снятия ограничения при отсутствии соответствующего стажа работы на судне предъявляется документ о квалификации, подтверждающий прохождение восстановительной подготовки для работы на судах без ограничений и выданный морской образовательной организацией [1].

Согласно пункту 85 «для снятия ограничения в связи с отсутствием соответствующей подготовки предъявляется документ о квалификации, подтверждающий прохождение соответствующей подготовки и выданный морской образовательной организацией» [1].

И последний пункт, который будет упомянут ниже – это пункт 88, который в частности гласит, что при отсутствии необходимого для дипломирования стажа работы на судне претендент на рабочий диплом должен представить кроме всего прочего «документ о квалификации, подтверждающий прохождение подготовки при длительном перерыве в работе».

Анализ правовых норм, определяющих снятие ограничения «только нерыбопромысловое судно»

Анализ всех правил (пунктов) главы VI Положения показал, что ограничения могут быть наложены (внесены в рабочий диплом) либо в связи с отсутствием достаточного стажа плавания, либо вследствие отсутствия документов о подготовке, либо при отсутствии и того и другого вместе. В первом случае для снятия ограничения применим пункт 84 Положения, во втором – пункт 85 Положения.

В свою очередь, ограничение «только нерыбопромысловое судно» вносится в диплом при отсутствии свидетельства о подготовке для работы на рыбопромысловом судне по программе, согласованной Росрыболовством, выданного морской образовательной организацией. При этом пункт 83 никак не связывает это ограничение с наличием или отсутствием стажа работы на рыбопромысловом судне.

Таким образом, в отношении ограничения «только нерыбопромысловое судно» в пунктах 83 и 85 упоминаются одни и те же документы и программа подготовки, а пункт 84 не применим к указанному ограничению. Этот пункт можно было использовать для снятия ограничения, если бы в пункте 83 присутствовала бы фраза «при предъявлении стажа работы только на нерыбопромысловых судах», однако этой фразы там нет.

Здесь крайне неудачным следует считать название программы подготовки, утверждённой Росморречфлотом и размещённой на сайте агентства – «Восстановительная подготовка для работы на судах без ограничений только «нерыбопромысловое судно», так как это название отсылает к не применимому здесь пункту 84 Положения. Правильной было бы здесь такое наименование программы, каким оно указано в пункте 83 Положения, т.е. «Подготовка для работы на рыбопромысловом судне». Следует заметить, что указанная выше и размещённая на сайте Росморречфлота программа, не соответствуя по названию, вполне соответствует по содержанию заявленным целям, т.е. подготовке на рыбопромысловом судне. Единственный вопрос остаётся по трудоёмкости программы, которая, являясь по сути программой переподготовки (а не повышения квалификации) должна иметь по закону нормативный срок обучения не менее 250 часов.

Под свидетельством (п. 83) и документом о квалификации (п. 85) по смыслу анализируемого ограничения следует понимать либо диплом о высшем или среднем профессиональном образовании, выданной морской образовательной организацией, реализующей образовательную программу по специальности «Судовождение» со специализацией «Промысловое судовождение», либо документ о квалификации, выданный опять же морской образовательной организацией, реализующей программу дополнительного профессионального образования (программу переподготовки) «Подготовка для работы на рыбопромысловом судне». Исключительно отсутствие одного из этих двух документов, а не отсутствие стажа плавания на рыбопромысловом (или ином) судне является по смыслу пп. 83 и 85 Положения основанием для внесения ограничения в рабочий диплом. В случае же недостаточности или отсутствия стажа плавания (причём общего, а не только на рыбопромысловых судах) претендент на рабочий диплом действительно должен пройти восстановительную подготовку, но подготовку по общей, предусмотренной п. 88 Положения, а не по специально разработанной рыбопромысловой программе.

Таким образом, вне зависимости от стажа плавания для недопущения или снятия ограничения «только нерыбопромысловое судно» необходимо либо иметь диплом о высшем или среднем профессиональном образовании по специальности «Судовождение» со специализацией «Промысловое судовождение», либо диплом о переподготовке по программе «Подготовка для работы на рыбопромысловом судне».

Здесь обязательно следует заметить, что для начала реализации программы «Подготовка для работы на рыбопромысловом судне» как программы новой и самостоятельной морская образовательная организация в соответствии с Порядком признания организаций в целях наделения их полномочиями по освидетельствованию судов и организаций, осуществляющих подготовку членов экипажей морских судов в соответствии с Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты от 1978 года с поправками, а также по проведению проверок, связанных с освидетельствованием этих судов и организаций, утвержденным приказом Минтранса России от 8 июня 2011 г. № 157 [3], должна первоначально пройти процедуру признания Минтрансом РФ для получения полномочий по реализации этой программы. При этом необходимость прохождения процедуры признания никак не зависит от наличия признания образовательной программы ВО или СПО по специальности «Судовождение». Это две разные программы подготовки, и признание одной программы не может означать автоматического признания другой.

Заключение

Следует признать, что самой большой проблемой сейчас при снятии ограничения «только нерыбопромысловое судно» является отсутствие соответствующих Положению программ, и название, и содержание которых полностью отражает промысловую специфику. В уже разработанных и реализуемых некоторыми образовательными организациями программами перемешаны восстановительная и промысловая подготовка. В частности, назначением одной из таких программ является:

- подготовка судоводителей рыбопромысловых судов с уровня эксплуатации до уровня управления;
- подготовка судоводителей, окончивших образовательные учреждения Росрыболовства, но не работавших на рыбопромысловых судах в течение последних пяти лет;
- подготовка судоводителей, окончивших морские образовательные учреждения, не готовивших судоводителей по специалитету «Промысловое судовождение».

Категория слушателей определяется следующим образом:

- судоводители, имеющие диплом вахтенного помощника капитана или капитана морского судна валовой вместимостью менее 500, занятого в прибрежном плавании и претендующие на получение диплома уровня управления для работы на судах без ограничения «только нерыбопромысловое судно»;
- судоводители, имеющие диплом вахтенного помощника капитана, или старшего помощника капитана, или капитана морского судна валовой вместимостью 500 и более, и претендующие на получение диплома уровня управления для работы на судах без ограничения «только нерыбопромысловое судно».

Согласуется ли всё это с концепцией снятия рассматриваемого ограничения, как она представлена в нормах Положения. Ответ очевиден – нет. Стремление сделать программу универсальной – и для снятия ограничения и как восстановительную, возможно, приводит к некоторой экономии средств и времени слушателей (ведь обучение происходит не по двум – промысловой и общей восстановительной – программам, а по одной). Однако, это не согласуется с требованиями Положения, но и закрывает дорогу судоводителям на нерыбопромысловые суда во всяком случае до момента, пока они всё-таки не пройдут восстановительную подготовку, как она предусмотрена п. 88 Положения.

Таким образом, основной задачей на настоящий момент является разработка программы «Подготовка для работы на рыбопромысловом судне», которая должна полностью соответствовать реалиям современного промысла и функционалу судоводителя промыслового судна. При этом образовательная организация, разработавшая и планирующая программу к реализации, должна обладать всем комплексом технических средств, используемых судоводителями в целях промысла, и иметь в своём штате преподавателей (инструкторов), которые сами владеют в совершенстве соответствующими актуальными промысловыми знаниями, умениями и навыками. В противном случае (и, тем более, при низком качестве программы) её реализация и процесс обучения слушателей превратится в профанацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о дипломировании членов экипажей морских судов (утв. приказом Минтранса России от 8 ноября 2021 года № 378 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/727233053> (дата обращения: 02.06.2023).

2. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года, с поправками. Кодекс по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты, с поправками. – Лондон: Международная морская организация, 2017. – 425 с.

3. Порядок признания организаций в целях наделения их полномочиями по освидетельствованию судов и организаций, осуществляющих подготовку членов экипажей морских судов в соответствии с Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты от 1978 года с поправками, а также по проведению проверок, связанных с освидетельствованием этих судов и организаций (утв. приказом Минтранса России от 8 июня 2011 года № 157) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/2589> (дата обращения: 02.06.2023).

LEGAL ASPECTS OF REMOVING THE RESTRICTION «NON-FISHING VESSEL ONLY»

¹Ermakov Sergey Vladimirovich, PhD, Nautical Institute Director;

²Mulina Elena Vadimovna, graduate student

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru;

²mulina409@gmail.com

Considered, analyzed and clarified are the norms of the Regulations on certification of crew members of seagoing vessels, concerning the removal of the restriction «only non-fishing vessel», which are included in the qualification documents upon receipt. The problem of the availability and quality of training programs for work on a fishing vessel is identified. Training in these programs is a necessary condition for removing the restriction.

СЕКЦИЯ «НАУЧНЫЕ СЕМИНАРЫ МОРСКОГО ИНСТИТУТА»

УДК 614.84

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДХОДА В ПОЖАРОТУШЕНИИ НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ

Станкевич Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры
техносферной безопасности и природообустройства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, РФ, e-mail: stankevich.ts@bgarf.ru

Разработка основы оперативного прогнозирования параметров развития пожаров для объектов морской индустрии в сложных условиях. Выполнена разработка алгоритма, основанного на кластеризации для оптимизации и надежной интеграции данных, и математической модели прогнозирования развития пожара на объекте, основанной на машинном обучении в сложных условиях, в том числе с учетом влияния на развитие пожара ветровой нагрузки.

Введение

Стратегия НТР РФ направлена на решение широкого ряда ключевых проблем государства в области науки и инноваций и на обеспечение устойчивого и динамичного развития государства. Глобальной проблемой, вызывающей озабоченность во всем мире, является возрастание пожарной опасности ряда объектов, относящихся к стратегически важным для национальной безопасности государства – портов. Для объектов морской индустрии (порты) характерно наличие на территории мест для хранения нефти и нефтепродуктов – отдельных резервуаров или резервуарных парков. Так, например, на территории «Калининградского морского рыбного порта» – Калининградский филиал ФГУП «Нацрыбресурс» находится топливно-грузовой комплекс площадью 19,034 га с резервуарным парком единовременного хранения нефтепродуктов объемом 50 тыс. м³ [1].

Решение проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов морской индустрии (портов) возможно путем разработки и внедрения интеллектуальной системы на базе кластеризации и машинного обучения с учетом стандарта Industry 4.0.

Экспериментальные данные

Повышение пожарной безопасности резервуара (резервуарного парка) является важной и актуальной задачей. Работа в этом направлении обеспечивает более высокий уровень защиты населения и окружающей среды от техногенных угроз. Задача прогнозирования теплового потока при пожаре резервуара является наиболее важной, так как влияние теплового излучения на соседние резервуары и конструкции предприятия, а также на личный состав объекта и пожарных значительно.

В рамках решения задачи снижения воздействия опасных факторов пожара на объекты инфраструктуры порта и людей исследуется поведение пожара в течение времени. Стоит отметить, что понимание процесса горения можно получить либо путем изучения экспериментальных данных, полученных в ходе полевых экспериментов (в полном или уменьшенном масштабе), либо путем компьютерного моделирования (построение стохастической и детерминированной моделей), либо путем сочетания обоих подходов [2].

Традиционные стохастические и детерминированные модели пожаров не обеспечивают достаточной точности прогноза для сложных объектов, к которым можно отнести и объекты морской индустрии. Оптимальным решением является проведение экспериментов, сбор данных о параметрах пожара во времени и формирование временных рядов с последующим применением подходов анализа временных рядов.

Так, в рамках научно-исследовательской работы «Разработка модели пожара для оценки риска на особо опасных и технически сложных объектах» [3] было смоделировано воспламенение бензина в основном резервуаре наземного вертикального стального резервуара с защитной стенкой для изучения влияния теплового потока и температуры на основные и защитные стены сооружения и на прилегающие резервуары. Проведен эксперимент на модели реального объекта – резервуара объемом 125 тыс. м³. Подробное описание эксперимента отражено в публикации Станкевич Т.С., Далнер Д., Трчка М., Томитчек А. Оперативное прогнозирование теплового потока при пожаре в вертикальном стальном резервуаре с защитной стенкой с использованием ANFIS [3].

После проведения экспериментов с использованием модели получены значения теплового потока и температуры стенок резервуара, топлива и окружающей среды (воздуха) при пожаре бензина в основной емкости в зависимости от расстояния от емкости до объекта и скорости ветра.

Результаты исследования

Машинное обучение включает в себя разнообразные методы, такие как регрессионный анализ, методы отбора и классификация. При этом классификацию, как указано в [4], принято делить на три группы: на контролируемую, полу-контролируемую и неконтролируемую классификацию (кластеризацию). Выбор кластеризации в качестве основного метода обусловлен тем, что хотя методы кластеризации, как правило, более требовательные, чем контролируемые подходы, но они дают больше информации о неполных и выборочных данных в сложных условиях, что характерно для данных о лесных пожарах.

Современные исследователи указывают в работах [5, 6], что кластеризация данных – сложная задача, включающая выбор между различными методами, параметрами и показателями эффективности. Следовательно, особое внимание необходимо выделять выбору алгоритма кластеризации. В работе предложено использовать один из наиболее эффективных и широко применяемых в практике методов – субтрактивной кластеризации на основе искусственной нейронной сети ANFIS.

ANFIS представляет собой пятислойную искусственную нейронную сеть, основанную на системе нечеткого вывода Такаги-Сугено: уровень 1 является входным; уровень 2 – фазсификация; уровень 3 – уровень нечетких правил; уровень 4 – выходной уровень членства; уровень 5 – дефазсификация. Подробное описание каждого сетевого уровня ANFIS представлено в [7]. Поскольку данный тип нейронных сетей объединяет как нейронные сети, так и принципы нечеткой логики, ANFIS сочетает преимущества обоих в одной структуре [7]. Система вывода сети соответствует набору нечетких правил ЕСЛИ-ТО, которые могут обучаться на больших базах данных для аппроксимации нелинейных функций [8, 9].

Как указано в [10], метод субтрактивной кластеризации предполагает, что каждая точка данных является потенциальным центром кластера. Применение метода позволяет вычислить меру вероятности того, что каждая точка данных будет определять центр кластера на основе плотности окружающих точек данных.

Алгоритм субтрактивной кластеризации на основе искусственной нейронной сети ANFIS включает три этапа [10]: первый этап – выбор первого центра (точки с максимальным потенциалом); второй этап – удаление в определенном радиусе всех точек данных; третий этап – итерация (остановка – все данные попали в радиусы центра кластера).

В работе применена субтрактивная кластеризация на основе искусственной нейронной сети ANFIS и установлено, что гибридный метод оптимизации обеспечивает наименьшие значения ошибки выборки.

Полученный объем данных в области динамики пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса (стальной резервуар с защитной стенкой) использован для моделирования пожаров и построения полей опасных факторов (тепловых потоков).

Существует множество подходов к анализу данных, имеющих сложную структурную природу. В работе применены классические подходы к анализу временных рядов и методы, основанные на машинном обучении (адаптивные сети на основе системы нечеткого вывода, долгая краткосрочная память).

В данной работе применены такие методы анализа временных рядов, как экспоненциальное сглаживание, метод скользящих средних и модель Холта-Уинтерса.

На практическом примере использования методов установлено, что потенциальным способом повышения точности прогнозирования данных является использование нейронных сетей типа долгая краткосрочная память – RSME составляет 0,007, что на порядок ниже значений, полученных при использовании рассматриваемых в работе других методов.

Заключение

В рамках работы выполнена кластеризация экспериментальных данных методом субтрактивной кластеризации на основе искусственной нейронной сети ANFIS.

Разработана математическая модель прогнозирования развития пожара на объекте, основанной на машинном обучении в сложных условиях, в том числе с учетом влияния на развитие пожара ветровой нагрузки.

Таким образом, данная работа является комплексной и направлена на решение не только проблемы перехода к современным передовым информационным системам, но также позволяет обеспечить противодействие угрозам (пожарам, вызванных природными и антропогенными причинами) для общества, экономики и государства в целом. Планируется применение разработанной системы для информационной и аналитической поддержки служб МЧС России и иных привлекаемых к тушению пожаров служб, а также в научных и образовательных учреждениях.

Модель на базе долгой краткосрочной памяти, реализованная на языке Python, положена в основу интеллектуальной программной системы для управления тушением пожаров в резервуарах с бензином. Указанная система обеспечивает формулирование прогноза обстановки и построение полей опасных факторов пожара (теплового излучения), тем самым осуществляя информационную и аналитическую поддержку принятия решений руководителем тушения пожара в задачах обеспечения пожарной безопасности объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топливоно-грузовой комплекс Калининградского филиала ФГУП «Нацрыбресурс» (ТГК) [Электронный ресурс]. URL: https://www.kmrp.ru/o-porte/podrazdeleniya_porta/neftebasa.html (дата обращения: 22.10.2022).
2. M. Hurley (ed.). (2016). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, DOI 10.1007/978-1-4939-2565-0_31.
3. Станкевич Т.С., Далнер Д., Трчка М., Томитчек А. Оперативное прогнозирование теплового потока при пожаре в вертикальном стальном резервуаре с защитной стенкой с использованием ANFIS. Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2020;29(5):13-39. <https://doi.org/10.22227/PVB.2020.29.05.13-39>.
4. Jing L., Ng M.K., Huang J.Z. (2007) An entropy weighting k-means algorithm for subspace clustering of highdimensional sparse data. IEEE Transactions on knowledge and data engineering, vol. 19, no 8, pp. 1026–1041. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2007.1048>.
5. Raykov Y.P., Boukouvalas A., Baig F., Little M.A. (2016) What to Do When K-Means Clustering Fails: A Simple yet Principled Alternative Algorithm. PLoS ONE, vol. 11, no 9, pp. 1-28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162259>.
6. Arruda G.F., Costa L.F., Rodrigues F.A. (2012) A complex networks approach for data clustering. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, vol. 391, no 23, pp. 6174-6183. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.07.007>.
7. Jyh-Shing Roger Jang CTS, Mizutani E (1997) Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine learning. Prentice Hall, Upper Saddle River.
8. Jang, J.-S. R., et al., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, Upper Sadle River, N. J., USA, 1997.
9. Abraham, A., Adaptation of Fuzzy Inference System Using Neural Learning, in: Fuzzy Systems Engineering: Theory and Practice (Eds.: N. Nedjah, L. de Macedo Mourelle), Springer Verlag, Berlin, 2005, pp. 53-83.

10. Ali Keshavarzi, Fereydoon Sarmadian, Jalal Shiri, Munawar Iqbal, Rebecca Tirado-Corbalá, El-Sayed Ewis Omran. Application of ANFIS-based subtractive clustering algorithm in soil Cation Exchange Capacity estimation using soil and remotely sensed data. *Measurement*, Volume 95, 2017, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.10.010>.

FEATURES OF APPLICATION OF INTELLIGENT APPROACH IN FIRE FIGHTING AT MARINE INDUSTRY FACILITIES

Stankevich Tatiana Sergeevna, PhD, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering;

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: stankevich.ts@bgarf.ru

In this article, the development of the basis for operational forecasting of fire development parameters for marine industry facilities in difficult conditions. The development of an algorithm based on clustering for optimization and reliable data integration, and a mathematical model for predicting the development of a fire at an object, based on machine learning in difficult conditions, including taking into account the effect of wind load on the development of a fire, has been developed.