

13-я МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ



**6–8 октября 2020 г.
ГНЦ РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
Санкт-Петербург**

МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ ПЯТЬ КОНФЕРЕНЦИЙ,
ОБЪЕДИНЕННЫХ ОДНОЙ ИДЕЕЙ:

- XXXII КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ КОНСТРУКТОРА
ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ Н.Н.ОСТРЯКОВА
- «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)
- «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ»
(МТУиП-2020)
- «УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УАКС-2020)
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.А.МИКРИНА
 - «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2020)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2020)

7–8 ОКТЯБРЯ

Санкт-Петербург
2020

УДК 681.51

Материалы конференции «Управление в морских системах» (УМС-2020). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2020. 200 с.

В настоящий сборник вошли тексты докладов, состоявшихся на конференции «Управление в морских системах» (УМС-2020).

Тексты публикуются в авторской редакции.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ГРУППА РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАН
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ» ИМЕНИ В.И.УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
- УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ РАН
- ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А.ТРАПЕЗНИКОВА РАН
- ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВМФ «ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ АДМИРАЛА ФЛОТА СОВЕТСКОГО СОЮЗА Н.Г.КУЗНЕЦОВА»
- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ («ГОСНИИАС»)
- РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ «ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П.КОРОЛЁВА
- АО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

- ОТДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РАН
- МЕЖДУНАРОДНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «АКАДЕМИЯ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ»
- РОССИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
- ЖУРНАЛА «ГИРОСКОПИЯ И НАВИГАЦИЯ»
- ЖУРНАЛА «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ»

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА

13-Й МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»
АКАДЕМИК РАН **В.Г. ПЕШЕХОНОВ**

XXXII КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ Н.Н.ОСТРЯКОВА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА
АКАДЕМИК РАН **В.Г. ПЕШЕХОНОВ**

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **О.А. СТЕПАНОВ**
К.Т.Н. **А.В. СОКОЛОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ» (МТУиП-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **Д.А. НОВИКОВ**
Д.Ф.-М.Н., ПРОФ. **Н.В. КУЗНЕЦОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ» (ИТУ-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **В.Н. ВАСИЛЬЕВ**
Д.Т.Н., ПРОФ. **В.Н. ШЕЛУДЬКО**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **Р.М. ЮСУПОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УАКС-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
АКАДЕМИК РАН **С.Ю. ЖЕЛТОВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **В.А. СОЛОВЬЕВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **М.В. СИЛЬНИКОВ**

КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ» (УМС-2020)

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:
АКАДЕМИК РАН **Е.И. ЯКУШЕНКО**
АКАДЕМИК РАН **С.Н. ВАСИЛЬЕВ**
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН **А.Ф. ЩЕРБАТЮК**

СОДЕРЖАНИЕ

**КОНФЕРЕНЦИЯ
«УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ»
(УМС-2020)**

ПРИГЛАШЕННАЯ СЕКЦИЯ

Васильев С.Н., Галяев А.А., Гурьев Ю.В., Якушенко Е.И. Абдуктивный логический вывод в задачах управления и диагностики.....	8
Горкунов Э.С. Магнитоупругие явления и их использование для оценки упруго напряженно-деформированного состояния в сталах.....	12
Гурьев Ю.В., Залетин В.В. Определение присоединенных масс жидкости в задачах управления движением и скрытностью морских подводных объектов	13
Кульчин Ю.Н., Ким А.Ю. Свёрточные нейронные сети в решении задачи обработки сигналов сегментарных распределённых волоконно- оптических измерительных сетей	16
Махутов Н.А. Управление безопасностью по критериям рисков критически и стратегически важных морских подвижных объектов	21

Секция 1
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Солонар А. С. Хмарский П. А. Общие принципы построения и особенности функционирования устройства траекторной обработки по данным одного источника радиолокационной информации	23
Хмарский П. А., Солонар А. С. Показатели качества устройств траекторной обработки радиолокационной информации и методы их испытаний	27
Воронина Н.Г., Шафранюк А.В. Кусочно-стационарная фильтрация в задачах траекторного анализа	30
Мельканович В.С. Построение тракта пеленгования сигналов по выходу системы параллельного обзора пространства	34
Мельканович В.С. Особенности построения адаптивной обработки сигналов по выходу цилиндрической антенной решетки с горизонтальной образующей	38
Быкова В.С., Пашкевич И.В., Машошин А.И., Мартынова Л.А. Стенд для отработки системы управления автономного необитаемого подводного аппарата	42
Быкова В.С., Пашкевич И.В., Машошин А.И. Варианты применения необитаемых подводных аппаратов, базирующихся на подводных лодках	45
Шафранюк А.В., Прокопович В.В. Способы построения моделей распределённой помехи в интересах отработки гидроакустических комплексов	49
Киселев Н.К., Мартынова Л.А. Разработка эффективной гибридной системы генерации и распределения электроэнергии автономного необитаемого подводного аппарата	53
Николаев А.В., Федосов Д.В., Старченков А.В. Вопросы радиопередачи беспилотными подводными аппаратами	57
Лаптев К.З., Багницкий А.В. Планирование маршрута и алгоритмы маневрирования автономного необитаемого подводного аппарата дальнего радиуса действия при поиске полыней и разводий в Арктике	60

Костенко В.В., Толстоногов А.Ю. Анализ различных подходов к распределению управляющих воздействий подводного аппарата.....	64
Борисов О.Д., Титов К.Б. Применение искусственных нейронных сетей в алгоритме управления автономными необитаемыми подводными аппаратами.....	68
Филаретов В.Ф., Юхимец Д.А. Система с эталонной моделью для управления пространственным движением автономного подводного аппарата	72

Секция 2 УПРАВЛЕНИЕ МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ИХ СКРЫТНОСТЬЮ

Галаяев А.А., Васильев С.Н., Якушенко Е.И., Залетин В.В. Возможности контроля и управления динамическими параметрами протяженных конструкций на основе распределённой системы интегрирующих датчиков	76
Кульчин Ю.Н., Закасовская Е.В., Денисова Н.И. Методы защиты объектов критической инфраструктуры с помощью интеллектуальных распределенных измерительных систем	79
Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф., Щербатюк Д.А. Распределенная навигационная система переменной конфигурации для позиционирования подводных объектов	82
Кузнецов Н.В., Андриевский Б.Р., Мокаев Т.Н. Устойчивость и колебания в модели авторулевого	85
Гурьев Ю.В., Слуцкая М.З. Результаты компьютерного моделирования силового воздействия сложных морских условий на подводные объекты.....	88
Мастрюков С.И. Национальная система оперативной океанографии как одно из средств недопущения информационного доминирования над Военно-Морским Флотом России.....	91
Рудько И.М. Модель шумоизлучения морского подводного объекта с учетом формы его корпуса.....	95
Небылов А.В., Небылов В.А. Стоимостные особенности проектирования экранопланов и их систем управления	99
Костына М.В., Михайлов Д.Э., Горшков А.А. О формировании перспективного облика тренажеров для практической подготовки специалистов по эксплуатации корабельных ядерных энергетических установок	103
Гусев Л.Б., Горшков А.А., Серебряков А.Б. Подход к количественной оценке минимального уровня надежности оператора корабельной ядерной энергетической установки	107
Яковлев А.Ю., Тхант З.З. Моделирование натуральных характеристик двигателей на начальных этапах жизненного цикла морских систем	111
Граневский К.В., Кораблев Д.К. Комплексное применение геоинформационных систем и робототехнических комплексов в интересах военно-морского флота.....	114
Граневский К.В., Кораблев Д.К. Имитационная модель оценки эффективности освещения надводного района разнотипными робототехническими комплексами.....	118
Фадеева Ю.О., Колпаков В.Е. Искусственный интеллект в технической диагностике на примере судового вспомогательного дизеля.....	121
Валяев А.В., Федосенко Ю.С., Лукина Е.А. Моделирование динамики судна для системы поддержки принятия решений при угрозе скоротечного затопления	124
Лопарев А.В., Зайцев О.В., Антонов Д.В. Использование адаптивных алгоритмов прогнозирования угла качки корабля	127
Дышкантук А.В. Проблема управления жизненным циклом ВВТ ВМФ и пути ее решения.....	131

Горкунов Э.С., Поволоцкая А.М., Задворкин С.М., Путилова, Е.А., Мушников А.Н. Изменение магнитострикции и дифференциальной магнитной проницаемости горячекатаной стали 08г2б под действием циклических и статических деформаций	135
Безносенко Е.М., Волгин П.Н. Подсистема сбора и обработки информации в составе интегрированной системы мониторинга морской обстановки арктического региона	138
Ведякова А. О., Ведяков А. А. Задача динамического позиционирования морского судна под влиянием мультигармонического внешнего возмущения	142
Розенгауз М.Б. Многокритериальная методика расчета оптимального комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей	146
Одинаев В.А., Долгов В.А. Управление гребной электрической установкой перспективного атомного ледокола	150

Секция 3 СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ

Снетков В.Н., Семенова К.А., Доровская Ю.В. Правовой режим континентального шельфа арктической зоны Российской Федерации	154
Баландина Н.В., Храмова И.С., Королева В.В. Коллаборация правового регулирования экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте прикаспийских государств	157
Храмова И.С., Арсеньева Г.В. Ретроспектива законодательства об экологическом надзоре на морском и внутреннем водном транспорте	160
Долженкова Е., Мохорова А.Ю., Исаев А.В. Вопросы стандартизации в развитии морской логистики	163
Кузнецова Ю.Э. Северный морской путь арктической зоны Российской Федерации: международный и национальный правовой режим и регулирование морского судоходства в контексте текущей мирополитической ситуации	166
Говердовская Т.В., Бесчастнова О.В., Крайнюкова Л.М. Международные стандарты обеспечения кибербезопасности в морской отрасли	171
Королева Е.А., Сухарева А.М. Особенности государственного контроля за внутренним водным транспортом с позиции экономического анализа права	174
Мохоров Д.А., Доровская Ю.В., Гоголева В.В. Противодействие коррупции и государственный контроль при реализации Морской доктрины Российской Федерации на примере государственно-частного партнерства	177
Мохорова А.Ю., Демидов В.П., Долженкова Е., Мохоров Д.А. Обеспечение морской безопасности в Арктике	181
Баранова Т.А., Гоголева В.В., Семенова К.А. Медиация и правовое регулирование порядка досудебного разрешения споров при осуществлении морских перевозок	184
Мохоров Д.А., Исаев А.В., Меньшиков П.В., Леванюк Н.А. Правовые коллизии при производстве инженерно-транспортных экспертиз комбинированных перевозок	187
Максимова Е.В., Е. И. Якушенко Теоретические и практические аспекты формирования лидерских качеств у курсантов высших военно-морских учебных заведений МО РФ в процессе воспитания и обучения	190
Ведерникова К.В. Приемы обучения монологической речи иностранных военнослужащих на базе текстов военно-морской тематики на подготовительном курсе военно-морского вуза	193
Е.В. Максимова, А.А. Римашевский Духовно-нравственное воспитание курсантов высших военно-морских учебных заведений МО РФ в системе военно-политической работы вооруженных сил России: состояние вопроса, недостатки, пути их устранения	197

■ ПРИГЛАШЕННАЯ СЕКЦИЯ ■

С. Н. ВАСИЛЬЕВ, А. А. ГАЛЯЕВ
(ИПУ РАН, Москва)

Ю. В. ГУРЬЕВ
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ, Санкт-Петербург)

Е. И. ЯКУШЕНКО
(НПО Спецматериалов)

АБДУКТИВНЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ

Доклад посвящен формированию гипотез, объясняющих наблюдаемое. Описываются средства представления и обработки знаний в языке, обладающем свойством т.н. подстановочности. В отличие от известных логических методов абдукции, предложенные средства обеспечивают получение необходимых и достаточных условий для формального объяснения наблюдаемого, на основе которых формируются причины наблюдаемого или находятся релевантные обстоятельства, выводящие на эти причины. Рассматриваются примеры в проблематике управления и диагностики наблюдаемого.

Введение. Создание автономных и антропоцентрических бортовых оперативно-советующих систем (далее для краткости – агентов) нуждается в средствах решения задач автоматизации объяснения наблюдаемого, в том числе в терминах "причина-эффект" и особенно в условиях неполноты и недостоверности информации, а также конфликтности среды функционирования, характерной для многих военных и гражданских приложений.

К основным методам объяснения наблюдаемого в области искусственного интеллекта относят методы абдуктивных рассуждений (Explanation by abductive reasoning). Понятие абдукции чаще всего определяется следующим образом: на основе заданной базовой теории T предметной области и некоторого описания G наблюдаемого эффекта (явления), подлежащего объяснению, найти такую, не противоречащую теории T , гипотезу-объяснение Δ , что из T и Δ было бы выводимо G (см., например, в [1,2]).

В работах по абдуктивному гипотезированию на теорию T предметной области часто накладываются ограничения с целью максимального упрощения синтеза объяснения и его логического обоснования. Например, содержание утверждений теории должно иметь форму "if-and-only-if", т.е. форму семейства эквивалентностей $c_i \leftrightarrow E_{i1} \vee \dots \vee E_{in}$, где в пропозициональ-

ном случае c_i – переменные-причины, а E_{ij} , $j = \overline{1, n}$, – элементарные конъюнкции, составленные из переменных-эффектов и их отрицаний, возможно при дополнительных требованиях к множеству задействованных переменных, в том числе их частичного упорядочения импликацией, а в других случаях требуется свойство хорновости утверждений теории T или его некоторые обобщения [1,2].

В данной работе не предполагается подобных требований, но в качестве языка представления знаний используется подмножество пропозиционального языка, обладающее свойством подстановочности формул. Это свойство не сужает выразительной силы языка и в отличие от языков хорновских [2] и позитивно-образованных [3] допускается использование отрицательных литералов [4]. Описываются логические исчисления, обобщающие соответствующие исчисления из [5].

Рассматриваются примеры применения абдуктивной информационной поддержки в задачах диагностики и управления агентами, в том числе в конфликтной среде. В распоряжении агента может быть набор бортовых и внешних сенсоров, информация некоторых дополнительных средств разведки ситуации, а также бортовое программное обеспечение решения ряда задач моделирования и оптимизации движения с учетом характеристик движения, режимов работы некоторых подсистем агентов и другие факторы, влияющих на скрытность наших агентов и классификацию агентов противной стороны. Логический (качественный) анализ обстановки позволяет повысить адекватность управления, в частности, путем возможного пересмотра ранее принятых решений и смены в on-line режиме целей и критериев используемых количественных моделей оптимизации управления. Особенности формализации знаний и логических исчислений их обработки обеспечивают гибкое сочетание абдукции с дедукцией с получением необходимых и достаточных условий формального объяснения наблюдаемого и на их основе финальных гипотез.

О средствах абдуктивного логического вывода. В отличие от [3,5] для логического представления и обработки знаний используется обобщение L_S языка позитивно-образованных формул: в древовидной графовой структуре формул метки вершин могут быть конъюнкциями не только позитивных, но и отрицательных литералов [4]. Формулы этого языка сохраняют известное свойство подстановочности позитивно-образованных формул. Ниже в языке L_S рассматривается логическое исчисление $J'' = (False, \omega, \omega')$, обобщающее исчисление J' из [5] в пропозициональном случае.

Основное правило ω является логически эквивалентным преобразованием формул расширенного языка L_S , а ω' – правилом построения в этом языке в ходе выводов в J'' таких формул, которые имеют смысл дополнительных посылок и в дальнейшем используются как компоненты формируемых объяснений Δ наблюдаемого. Доказательства утверждений ведутся от противного, поэтому выводы в J'' суть опровержения (аксиомой выбрана тождественно ложная формула $False$).

Если в ходе вывода в исчислении J'' правило ω' применяется лишь тогда, когда правило ω не применимо, то такой вывод называется (ω, ω') -гипотезированием.

Теорема 1. *Формула языка L_S противоречива тогда и только тогда, когда она выводима в исчислении $(False, \omega)$.*

Теорема 2. *Пусть $(T \wedge \neg G)^{L_S}$ – образ отрицания утверждения $(T \rightarrow G)$ в языке L_S . Пусть также $P \in L_S$ и условие P сформировано как конъюнкция дополнительных посылок, построенных в процессе вывода формулы $(T \wedge \neg G)^{L_S}$ в исчислении J'' с применением (ω, ω') -гипотезирования. Тогда $P \leftrightarrow (T \rightarrow G)$ и для любой гипотезы Δ , объясняющей наблюдаемый эффект G , справедливо $\Delta \rightarrow P$.*

В силу минимальности гипотез P они именуются минорантами. Переход от них к тем или иным альтернативным гипотезам в форме достаточных условий для P выполняется путем применения упрощающих преобразований с привлечением некоторых элементов базовой теории и, возможно, имеющихся эмпирических знаний. При этом получают либо сами причины Δ эффекта G (достоверные или правдоподобные), либо релевантные обстоятельства Δ^* (факты, события, "улики"), из которых в рамках теории T средствами исчисления J'' оказываются выводимыми и сами причины Δ [4]. Правдоподобные версии объяснений возникают при наличии

эмпирических знаний. Это знания об априорном множестве потенциально возможных причин-кандидатов и/или о правдоподобных причинно-следственных связях.

Об информационной поддержке мобильных агентов. Применение разработанных средств абдуктивного вывода в диагностике и управлении иллюстрируется примерами технической и медицинской диагностики, а также управления мобильными агентами. Последнее интересно открывающейся возможностью изменять структуру и параметры задачи управления движением, например, при получении агентом-преследователем дополнительной информации Δ о преследуемых целях, тем самым выявляя их важность и задавая дальнейшую очередность преследования. Логическое распознавание и выделение наиболее важной подгруппы целей осуществляется посредством наблюдений за целями.

Ключевой информацией для выбора агентов-целей могут являться абсолютные и относительные значения параметров движения целей, их массо-габаритные характеристики и другие их признаки, в т.ч. качественные (например, индуцируемые ими физические поля, качество совершаемых целевыми объектами маневров и пр.). На этапе совместного преследования в те или иные моменты времени может происходить переоценка принятых ранее решений по выбору целей.

В общую постановку задачи абдуктивной информационной поддержки оптимизации управления мобильными агентами могут входить несколько преследователей и целей, не равнозначных по своему функционалу. Предложен достаточно общий метод построения оптимальных траекторий совместного преследования целей на основе агрегированного критерия локальных задач в виде взвешенной скорости сближения со всеми целями. Метод построения можно применять в случаях, когда неизвестен закон движения целей и при различных ограничениях на скорости целей и др., а оптимальный выбор направления движения преследователя зависит только от текущего углового положения целей. В этом случае не используются глобальные критерии качества многоцелевого преследования, а решаются локальные оптимизационные задачи. Более того возможно не завершение решения некоторых из этих задач по причине переоценки значимости целей. Преимущество локального подхода заключается в возможности определить момент времени начала поочередного преследования.

Заключение. В докладе излагается технология формирования гипотез, объясняющих наблюдаемое. Описываются средства представления исходных знаний базовой предметной области и вывода гипотез в языке, обладающем свойством подстановочности и не требующем позитивности.

В отличие от известных логических методов абдукции, предложенные средства обеспечивают получение гипотез-минорант как необходимых и достаточных условий для формального объяснения наблюдаемого. На основе этих условий и исходных знаний формируются причины наблюдаемого или находятся релевантные обстоятельства, выводящие на эти причины. Рассматриваются примеры применения абдуктивного вывода в диагностике и управлении мобильными агентами.

Полученные результаты могут быть применены для получения субоптимальных решений в последовательности задач оптимизации в реальных динамических системах для класса задач «атакующие–цели–защитники», когда вместо соответствующей дифференциальной игры решаются подзадачи исполнения ролей (перехватить атакующего, разойтись с ложной целью и др.) [6]. В проблематике интеллектуализации автономных и бортовых антропоцентрических систем понятие "эффект" может охватывать также целевое состояние агента [7]. Планируется продолжить исследования в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Poole D.** Representing Diagnosis Knowledge. *J. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. 1994. Vol. 11. P. 33-50.
2. **Kowalski R.** Logic Programming. In book: *Computational Logic, Edition: In the History of Logic series*, edited by D. Gabbay and J. Woods. Elsevier. 2014. P. 523-569.
3. **Васильев С.Н.** Формализация знаний и управление на основе позитивно-образованных языков. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2008. № 1. С. 3-19.

4. **Васильев С.Н.** Абдуктивные рассуждения в задачах объяснения наблюдаемого. *ДАН, сер. Математика, информатика, процессы управления*. 2020. Т. 493. С. 90-94.
 5. **Buzikov M.E., Galyaev A.A., Guryev Yu.V., Titov K.B., Yakushenko E.I., Vassilyev S.N.** Intelligent Control of Autonomous and Anthropocentric On-board Systems. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 150. P.10-18
 6. **Бузиков М.Э., Галяев А.А.** Оценка вероятности выживания цели в задаче «атакующие-цель-защитники». *Проблемы управления*. 2020. № 3. С. 70-77.
 7. **Kowalski R., Sadri F.** Reactive Computing as Model Generation. *New Generation Computing*. 2015. Vol. 33. P. 33–67.
-

S. N. Vassilyev, A. A. Galyaev (ISC RAS, Moscow), **Yu. V. Gur'ev, E. I. Yakushenko** (VMPI VUNTs VMF, Sankt-Petersburg). **Abductive Logical Derivation In Control And Diagnostics Tasks**

Abstract. The issue is devoted to the formation of hypotheses that explain the observed. The means of representing and processing knowledge in a language that has the property of so-called substitution is described. In contrast to the known logical methods of abduction, the proposed means provide the necessary and sufficient conditions for a formal explanation of the observed. On the basis of conditions the causes of the observed are formed or relevant circumstances are found that lead to these causes. Examples in the problems of control and diagnostics of the observed are considered.

Э.С. ГОРКУНОВ
УРО РАН, Екатеринбург

МАГНИТОУПРУГИЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УПРУГОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СТАЛЯХ

В докладе обсуждается природа магнитоупругих эффектов и существующие представления о формировании магнитных текстур под действием упругих напряжений в ферромагнитных материалах

В докладе обсуждается природа магнитоупругих эффектов и существующие представления о формировании магнитных текстур под действием упругих напряжений в ферромагнитных материалах. Показаны возможности использования магнитных параметров для оценки действующих напряжений в конструкционных сталях: оценка величины одноосных сжимающих напряжений практически не представляет сложности, однако существует проблема оценки растягивающих напряжений в низколегированных сталях ввиду неоднозначной зависимости магнитных характеристик от упругой деформации растяжения. Обсуждены возможные причины такой неоднозначности и показаны способы решения данной проблемы с использованием анизотропии коэрцитивной силы и параметров спектров магнитной жесткости. Рассмотрены возможности оценки действующих напряжений в многослойных ферромагнетиках на основании полевых зависимостей дифференциальной магнитной проницаемости. Обсуждены работы по исследованию влияния сложнонапряженных состояний на магнитные характеристики ферромагнитных материалов.

E.S. Gorkunov (Uro Ras, Yekaterinburg). **Magnetoelastic Phenomena And Their Use For Estimating The Elastic Stress-Deformed State In Steels**

Abstract. The report discusses the nature of magnetoelastic effects and existing ideas about the formation of magnetic textures under the action of elastic stresses in ferromagnetic materials.

Ю. В. ГУРЬЕВ
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия, Санкт-Петербург)

В.В. ЗАЛЕТИН
(НПК «Вакуумные разработки», Санкт-Петербург)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИСОЕДИНЕННЫХ МАСС ЖИДКОСТИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И СКРЫТНОСТЬЮ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Изложен численный метод расчета обобщенных присоединенных масс морских подводных объектов с оперением, совершающих одиночное и групповое плавание, а также при упругих колебаниях их корпусов. Течение моделируется непрерывным слоем источников и вихревых рамок, имитирующих корпус и его оперение. Метод обеспечивает строгий учет взаимного влияния тел и их элементов и не накладывает ограничений на их форму. Апробация метода показала его надежность и возможность практического использования в практике проектирования, а также в программном обеспечении тренажеров и бортовых комплексов.

Введение. При математическом моделировании движения морских подводных объектов (МПО) и в задачах управления их скрытностью по физическим полям требуется определение гидродинамических сил и моментов, действующих на объект. Эти реакции необходимы для расчета ходкости и управляемости МПО, включая нахождение параметров траектории его пространственного движения. Знание этих параметров важно и для скрытности МПО, поскольку они оказывают непосредственное влияние на его физические поля, в первую очередь, на акустические и гидрофизические. Отдельной задачей является определение параметров колебаний корпуса МПО, знание которых позволяет прогнозировать его акустическое излучение.

Расчет траектории проводится на основе численного решения системы дифференциальных уравнений движения объекта. При этом основной проблемой является определение указанных выше реакций. До настоящего времени в практике проектирования МПО эти реакции определяются путем их разделения по физической природе на инерционные, вязкие, волновые и ряд других. При криволинейном движении МПО инерционные силы вносят значительный вклад в общий баланс сил.

Расчет этих сил выполняется чаще всего с помощью обобщенных присоединенных масс (ОПМ) [1]. Для их определения используют различные методы, основными из которых остаются приближенные инженерные методы. Однако более современными и эффективными являются численные методы. Предлагаемый доклад посвящен описанию одного из них, основанного на компьютерном решении граничных интегральных уравнений. Его отличительной чертой являются универсальность, высокая точность и быстродействие. Указанная универсальность позволяет вычислять ОПМ корпуса МПО с учетом его реальной геометрии и вибрации, а также его оперения и ОПМ системы тел, совершающих совместное произвольное движение.

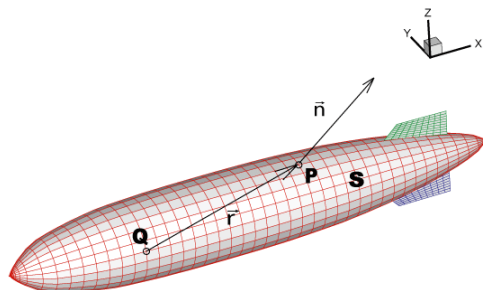


Рис. 1. К постановке задачи

Постановка физико-математической задачи определения ОПМ и методы ее решения. ОПМ являются фиктивными математическими величинами, характеризующими инерционные свойства жидкости и позволяющие рассчитать ее кинетическую энергию, вызываемую движением твердого тела. При их теоретическом определении используется допущение о том, что жидкость является невязкой, а указанное течение – потенциальным (безвихревым). В этом случае течение полностью

описывается одной функцией – потенциалом скорости $\Phi(X, Y, Z, t)$, аргументы которой – декартовы координаты абсолютной системы координат X, Y, Z и время t (рис. 1). Для нахождения этого потенциала необходимо решить дифференциальное уравнение Лапласа в частных производных, подчинив его граничным условиям для невязкой среды на твердых поверхностях [1]. Однако суще-

ствуется относительно более простой путь нахождения потенциала скорости. Он состоит в моделировании воздействия твердых тел на жидкость с помощью простого (источники) и двойного (диполи) слоев. Этот способ моделирования и будет использован в предлагаемом методе расчета ОПМ. Рассмотрим возможные варианты рассматриваемой задачи.

МПО без оперения в безграничной жидкости. Пусть корпус МПО реальной геометрии движется с 6-тью степенями свободы в невязкой безграничной жидкости с заданными и изменяющимися во времени поступательной скоростью полюса \vec{V}_0 и угловой скоростью вращения $\vec{\omega}$ вокруг мгновенной оси, проходящей через полюс. Расположим на корпусе объекта S непрерывный слой источников неизвестной интенсивности q . Для ее определения, используя известное выражение для потенциала такого слоя, из граничного условия непротекания на S можно получить граничное интегральное уравнение (ГИУ) вида

$$2\pi q(P) + \int_S q(Q) \frac{\vec{r} \cdot \vec{n}}{r^3} dS = F \quad (1)$$

где P и Q – соответственно контрольная точка поверхности S , в которой выполняется условие непротекания, и текущая точка этой же поверхности (см. рис. 1); \vec{r}_0 – радиус-вектор контрольной точки относительно полюса, $\vec{r} = \vec{QP}$ – радиус-вектор, соединяющий точку Q с точкой P , \vec{n}_S – орт внешней нормали к поверхности корпуса, $F = (\vec{V}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_0) \cdot \vec{n}_S(P)$ – правая часть уравнения, являющаяся математической записью граничного условия непротекания. Вид этой функции зависит от решаемой задачи.

Для определения обобщенных присоединенных масс корпуса МПО необходимо рассчитать единичные потенциалы φ_i ($i = 1, 2, \dots, 6$), соответствующие раздельному движению объекта с единичной поступательной или угловой скоростями для шести направлений движения. Это требует шестикратного решения ГИУ (1) с соответствующими правыми частями, после чего ОПМ корпуса можно найти, используя следующие зависимости, в которые входит плотность жидкости ρ

$$\lambda_{ij} = -\rho \int_S \varphi_i \frac{\partial \varphi_j}{\partial n_S} dS \quad (2)$$

В этом случае матрица ОПМ корпуса содержит 36 элементов, из которых независимыми являются 21. Все они зависят только от формы тела и выбранной системы координат и для данного тела могут быть определены один раз и навсегда.

МПО с оперением в безграничной жидкости. В этом случае на корпусе МТО установлены органы управления и стабилизации движения, называемые для краткости оперением. Эти элементы имеют форму крыльев конечного удлинения и относительно малой толщины, что позволяет заменить их пластинами, имеющими одинаковую с ними форму в плане. Моделируем их воздействие на жидкость воздействием двойного слоя, который в свою очередь будем моделировать системой вихревых рамок треугольной формы, расположенных на поверхности этих пластин [2]. Тогда потенциал каждой k -ой пластины Φ_k , входящей в состав оперения, можно рассчитать по формуле

$$\Phi_k = \sum_{m=1}^N \frac{\Gamma_m}{4\pi} \Omega_m \text{sign}(\mu_m) \quad (3)$$

где N – число вихревых рамок на панели, Γ_m – интенсивность (циркуляция) вихревой рамки, Ω_m – телесный угол, под которым из расчетной точки виден участок поверхности, ограниченный треугольной рамкой, μ_m – переменная, определяющая знак потенциала и зависящая от расположения расчетной точки относительно вихревой рамки.

Суммарный потенциал оперения находится суммированием (3) для каждого его конструктивного элемента. В это выражение входят неизвестные интенсивности Γ_m . Их можно получить из условия непротекания, выполняя его в контрольных точках, находящихся в центре тяжести каждой вихревой рамки. В результате можно получить систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных интенсивностей вихревых рамок. Эта система решается совместно с ГИУ (1), правая часть которого в этом случае имеет вид $F = (\vec{V}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_0 - \vec{W}_{on}) \cdot \vec{n}_S(P)$, в которую вошла скорость \vec{W}_{on} , индуцированная вихревыми рамками оперения. В свою очередь, в правые части уравнений системы для определения Γ_m входят скорости, вызванные корпусом, что позволяет вычислить потенциал течения при строгом учете взаимного влияния друг на друга корпуса и оперения МПО. Такое решение необходимо, как и в предыдущем случае, повторить шесть раз для шести единичных скоростей движения. После чего по формуле (2) можно рассчитать ОПМ корпуса с оперением.

Система МПО при совместном движении в жидкости. Предлагаемый метод позволяет определить ОПМ системы тел, участвующих в совместном движении. Такая задача возникает, например, при маневрировании судов на близких дистанциях, отделении полезного груза от корабля-носителя и некоторых других. Рассмотрим случай раздельного движения двух тел с поверхностями S_1 и S_2 произвольной формы. Расположив по этим поверхностям два непрерывных слоя источников, приходим к необходимости совместного решения двух ГИУ для определения интенсивностей этих слоев q_1 и q_2 . Для учета взаимного влияния тел друг на друга требуется использовать следующие правые части ГИУ $F_k = (\vec{V}_{0k} + \omega_k \times \vec{r}_{0k} - \vec{W}_{onm}) \cdot \vec{n}_{Sk}(P)$, где $k = 1, 2$, $m = 1$ при $k = 2$ и $m = 2$ при $k = 1$. В этом случае процедура определения единичных потенциалов и ОПМ в целом повторяет уже описанную. Однако, число этих масс достигает 144 (четыре матрицы по 36 элементов), из которых независимыми являются 78. Важно отметить, что все они становятся переменными функциями, зависящими от взаимного положения тел.

Колебания корпуса в жидкости. Необходимость определения ОПМ для таких колебаний возникает при решении ряда актуальных задач, например, гидроакустических. Для их вычисления воспользуемся потенциалом простого слоя, расположив его на колеблющейся поверхности корпуса. В этом случае необходимо решить ГИУ (1) при новой форме правой части, которая по-прежнему определяется из условия непротекания. Если колебания поверхности корпуса заданы, то функция F в (1) будет иметь вид $F = \partial Z / \partial t$, где $Z(t)$ – перемещение поверхности корпуса по нормали к ней. Для упругих колебаний эту функцию целесообразно задать в виде $Z(s, t) = \Psi(s) \cdot \tau(t)$, где $\Psi(s)$ – функция, характеризующая изменение перемещений по поверхности, $\tau(t)$ – функция описывающая зависимость перемещений от времени.

Численное решение ГИУ. Поверхность корпуса в общем случае имеет произвольную форму и не описывается аналитически. Для ее аппроксимации используется параметрическое представление, снимающее ограничения на ее форму, присущие другим методам. Для корректного вычисления несобственных интегралов в (1) используется замена переменных, обеспечивающая сгущение расчетных точек в окрестности особой точки [3]. Решение ГИУ осуществляется методом последовательных приближений. В докладе приводятся примеры использования разработанного метода, алгоритма и компьютерной программы для определения ОПМ в прикладных задачах.

Заключение. Изложенный метод численного определения ОПМ позволяет вычислять их для МПО реальной геометрии, оснащенных оперением, а также систем тел, совершающих совместное маневрирование, и при упругих колебаниях корпуса. Проведенные тестовые расчеты показали достаточную степень согласования получаемых значений ОПМ с данными других авторов. Экономичный алгоритм метода позволяет выполнять расчеты на персональных компьютерах за короткое время, что обеспечивает его практическое применение на различных этапах проектирования для оперативного сравнения различных проектно-конструкторских решений, а также в составе тренажеров и бортовых комплексов, связанных с моделированием динамики МПО и обеспечением их скрытности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Короткин А.И.** Присоединенные массы судовых конструкций. – СПб.: Мор Вест, 2007. 448 с.
2. **Бабкин В.И., Белоцерковский С.М.** Струи и несущие поверхности. Моделирование на ЭВМ. – М.: Наука, 1989. 357 с.
3. **Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В.** Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике. Монография. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2010. 326 с.

Y.V. Guryev (Naval Polytechnic Institute (Branch) MESC NF "Naval Academy", Saint-Petersburg), **V.V.Zaletin** ("SPC "Vacuum design" LLC, Sankt-Petersburg). **Determination Of The Added Fluid Masses In Problems Of Stealth Motion Control Of Submerged Objects**

The paper describes a numerical method for calculating generalized added masses of submerged objects with fins in both a single and group sailing, including the cases of elastic vibrations of the hull. The flow is simulated with a continuous layer of sources and vortex frames that imitate behavior of the hull and fins. The method ensures a rigorous account of the mutual impact of hulls and their elements and can be applied to an arbitrary shape. Approbation of the method proved its reliability and applicability in design, as well as in simulators and on-board facilities.

Ю. Н. КУЛЬЧИН, А. Ю. КИМ
(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток)

СВЁРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СЕГМЕНТАРНЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Работа посвящена проблеме распознавания в реальном времени критических ситуаций и локализации мест повышенной акустической вибрации объектов ответственного назначения по сигналам с сегментарных распределённых волоконно-оптических измерительных сетей (РВОИС). Для решения задачи предложена архитектура и разработана модель ситуационного подхода использования свёрточных нейронных сетей как эффективного метода классификации при обработке больших массивов данных РВОИС.

Введение. Вибрация является распространённым явлением в природе и технике, поэтому создание эффективных технологий мониторинга и анализа процессов вибрации имеет важное значение, как в научных измерениях, так и в инженерных приложениях. Сегодня уже существуют различные датчики вибрации, главным образом основанные на пьезоэлектрических, магнито-стрикционных, емкостных, индуктивных и др. технологиях. Однако эти традиционные датчики вибрации подвержены сильному влиянию со стороны электромагнитных помех, что ограничивает области их применения. Вследствие этого, необходимость использования проводных линий для связи с ними не позволяет обеспечивать контроль больших площадей. В связи с чем, по мере развития областей использования датчиков вибрации, возникает большой интерес к созданию новых датчиков вибрации, способных заменить традиционные датчики, чтобы повысить их экономическую эффективность и невосприимчивость к электромагнитным помехам. В последнее время оптические волокна из-за малого веса, эластичности, высокой защищенности передачи сигнала, простоте монтажа, коррозионной стойкости и невосприимчивости к электромагнитным помехам привлекли значительное внимание исследователей в качестве средств для создания разнообразных датчиков физических величин, протяженных измерительных линий и измерительных сетей, в том числе и для создания высокоточных средств измерения вибраций [1,2]. Благодаря своим уникальным особенностям, волоконно-оптические системы мониторинга становятся особенно привлекательными для использования в условиях, где применение традиционных сенсоров ограничено, например, в условиях морской среды или космоса.

Сегодня мониторинг протяженных конструкций ответственного назначения, таких как мосты, дамбы, спортивные сооружения, корпуса самолетов, судов и т.д., имеет решающее значение для их успешной работы. Для получения информации о состоянии таких конструкций требуются различные датчики и системы мониторинга. Одним из путей решения данной проблемы может являться контроль пространственного распределения и уровня их виброакустических характеристик. Как было показано в [3] решение проблемы может быть достигнуто посредством оперативного мониторинга динамической картины вибрации с использованием интегрирующих волоконно-оптических датчиков. При этом, в качестве средства мониторинга вибраций следует использовать распределенную волоконно-оптическую измерительную сеть (РВОИС). Ранее, в наших работах [4-6], проводились исследования возможности использования распределенных волоконно-оптических сетей для мониторинга динамических объектов. Было показано, что сегментарные РВОИС обладают рядом положительных отличительных качеств, обеспечивая восстановление пространственного распределения параметров физического поля и выявление его структурных неоднородностей в режиме реального времени за счет применения компьютерных нейронных сетей на стадии обработки сигналов. Таким образом, РВОИС сегментарного типа могут оказаться перспективным средством для решения задачи мониторинга состояния объектов ответственного назначения в реальном времени.

Целью настоящей работы является разработка и исследование методов распознавания в реальном времени критических ситуаций и локализации мест повышенной акустической вибрации объектов ответственного назначения, основанных на применении РВОИС сегментарного типа, в которых для обработки сигналов используются свёрточные нейронные сети (англ. Convolutional Neural Network - CNN) с ситуационным подходом [7,8].

Ситуационный подход использования свёрточной нейронной сети для обработки сигналов сегментарных РВОИС.

Постановка задачи. Для распознавания ситуации локализации мест с повышенным акустическим возмущением мы решаем задачу классификации динамической картины вибрации поверхности объекта ответственного назначения в следующей постановке. Задано конечное множество классов и имеется множество ситуационных динамических картин локализации мест недопустимых всплесков акустических возмущений, для конечного подмножества которых известно к какому ситуационному классу они относятся. Это подмножество называется обучающей выборкой. При этом классовая принадлежность остальных ситуационных динамических картин не известна. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольную динамическую картину, исходя из исходного множества. Классифицировать динамическую картину — значит, указать метку (или установить ситуационный класс), к которому относится данная картина.

Запишем формальную постановку задачи.

$D = \{d_1, \dots, d_n\}$ — множество описаний для динамических картин локализации мест недопустимых всплесков возмущений.

Каждое описание $d \in D$ представляет собой последовательность $W_d = (w_1, \dots, w_{nd})$, nd — длина описания d .

$Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ — конечное множество меток классов.

$y^*: D \rightarrow Y$ — неизвестная целевая зависимость, значения которой известны только на объектах конечной обучающей выборки $D^n = \{(d_1, y_1), \dots, (d_n, y_n)\}$. Требуется построить алгоритм $a: D \rightarrow Y$, способный классифицировать произвольный $d \in D$.

Предобработка данных. Для предобработки большого массива данных поступающих от РВОИС сегментарного типа будем исходить из следующей парадигмы.

Структура измерительной сети представляет собой набор схожих сегментов, в каждом из которых уложена в виде «змейки» одна распределенная измерительная волоконно-оптическая

линия. По мультиплексированным сигналам $\sum_{i=1}^m I_i(\omega_i, \tau_i)$ с сегмента можно восстановить де-

мультиплексированием информацию об амплитудах и частотах сигналов, исходящих от разных условных «пикселей» сегмента (область (зона регистрации) сегмента с повышенной чувствительностью к внешним воздействиям). Таким образом, мы собираем пакеты блочных матриц данных с сегментов, которые поступают одновременно на вход CNN. CNN выбраны для обработки, т.к. легче обучаются, чем другие регулярные, глубокие нейронные сети и имеют много меньше параметров для оценки. Данные амплитуд в пакетах блочных матриц должны быть нормированы, что положительно повлияет на обучение нейронной сети. Для обучения используется в CNN метод обратного распространения ошибки [9]. Применение пакетирования данных на входе позволит ускорить процесс вычислений при обучении в силу их векторно-матричного характера и позволит разделить всю процедуру классификации по картам принятия решений. Каждая карта принятия решений имеет метку ситуационного класса.

Модель использования свёрточной нейронной сети для классификации по сигналам сегментарной РВОИС. Рассмотрим ситуационный подход использования свёрточной нейронной сети для задачи классификации по динамическим картинам локализации мест недопустимых всплесков акустических возмущений, который напоминает посимвольный подход для классификации текстов, предложенный в статье [10], но имеет существенные отличия.

Опишем данный подход. Назовём упорядоченный набор частот сигналов, которые используются при классификации, необходимым регистрируемым спектром. Пусть выделено m частот. Каждая частота спектра закодирована с помощью 1 – m кодировки (т.е. каждой частоте будет сопоставлен вектор длины m , элемент которого равен амплитуде в позиции равной порядковому номеру частоты, а нулю во всех остальных позициях). Если встречается невыделенная для классификации частота, то она представляется кодом нулей. Из закодированных по частотам сигналов формируется блочная матрица данных. Размерность блоков в матрице входных данных соответствует числу l условных «пикселей» и количеству выделяемых частот m для N -размерной сегментарной РВОИС. В общий пакет для обработки собирают N блочных матриц. На рис.1 приведён пример ситуационного подхода для «двухпиксельного» сегмента и

$m = 3$ представленных в спектре $\omega_i \pm \delta\omega$ частот. В примере рис. 1 показан один свёрточный и один субдискретизирующий слой.

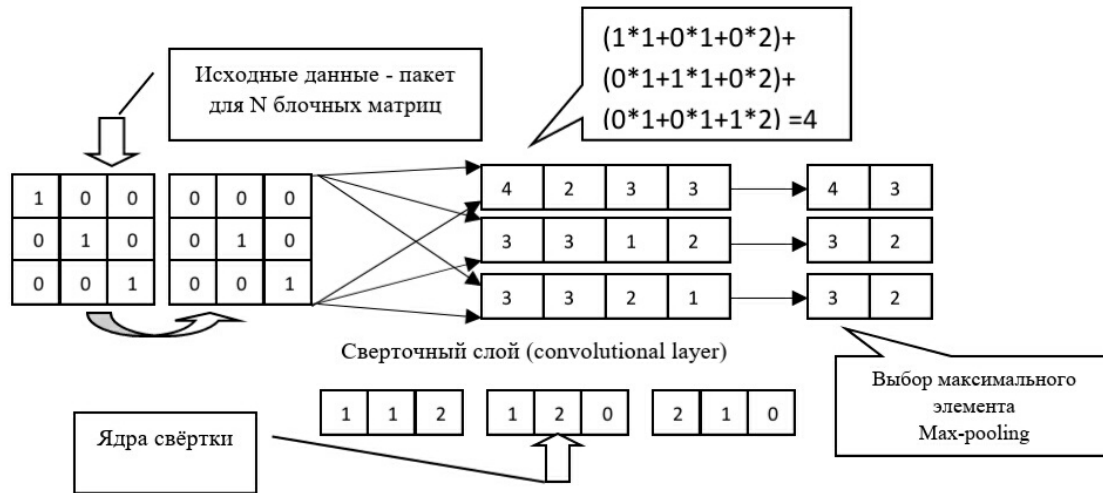


Рис.1. Ситуационный подход

Опишем формально подход для обработки данных одного сегмента.

Пусть x_{ij} вектор i -частоты и j -ого «условного» пикселя сегмента

$$x_{1m,j} = x_{1,j} \oplus x_{2,j} \oplus \dots \oplus x_{m,j}$$

\oplus - операция объединения векторов.

Свёрточный слой:

$$c_{i,j} = f(w \cdot x_{ii+h-1,j} + b)$$

$$c(:, j) = (c_{1,j}, c_{2,j}, \dots, c_{n-h+1,j})^T$$

f - функция активации нейронной сети; b - константа.

MAX-pooling слой (субдискретизирующий слой):

$$\hat{c} = \max\{c\}$$

Dropout слой [11] (слой для уменьшения переобучения сети):

$$y = w(z \circ r) + b$$

\circ - поэлементное умножение; r - вектор, состоящий из нулей и единиц.

Разделение обработки данных при определении карт принятия решений по локализации сигналов можно проводить в два этапа. На первом этапе выполняется обработка «попиксельно» для сегментов, когда формируются карты признаков ситуационных динамических картин локализации мест недопустимых всплесков акустических возмущений, а на втором происходит обобщение полученных ответов по пакету для всех задействованных в обработке N сегментов РВОИС.

Метод перевода ситуационной картины локализации мест акустических возмущений в вектор-метку фиксированной длины. Для получения устойчивого результата классификации после обучения мы прибегаем к кодированию ситуационных классов в виде n векторов-меток y из множества Y . Вектор-метка для каждого класса имеет размерность

$k_i = N * n_i, i = \overline{1, m}$. Введём оценку близости для принятия решения между полученным вектором z' из дополнительно сжатого и преобразованного вектора-метки класса y' и ожидаемым вектором $z, z \in Z$, где Z - множество карт принятия решений после корректировки с учётом потерянных данных размерностью p для N сегментов, можно выполнить с помощью косинусной меры близости (косинусного сходства) векторов по формуле:

$$similarity = \cos(\theta) = \frac{z \cdot z'}{\|z\| \|z'\|} = \frac{\sum_{j=1}^{k_i-p} z_j \times z'_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^{k_i-p} (z_j)^2} \times \sqrt{\sum_{j=1}^{k_i-p} (z'_j)^2}}.$$

Архитектура свёрточной нейронной сети для реализации ситуационного подхода. Опишем предлагаемую архитектуру CNN для ситуационного подхода (рис.2.). Между полносвязными слоями как функцию активации используем Softmax, а на всех остальных Relu:

- Положительно линейная (Relu): $f(s) = \max(0, s)$
- Софтмакс (Softmax): $f(s)_j = \frac{e^{s_j}}{\sum_{k=1}^K e^{s_k}}$, для $j=1, \dots, K$

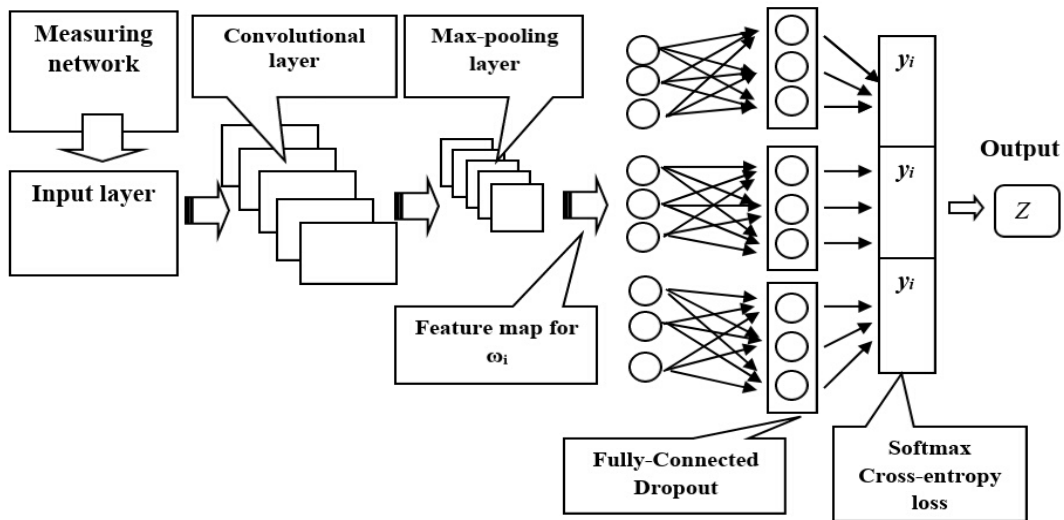


Рис. 2. Архитектура CNN для ситуационного подхода

Веса нейронной сети инициализируются из нормального распределения. Нейронная сеть настраивается минимизировать кросс-энтропийную функцию потерь (логарифмическую функцию потерь – Logloss).

Заключение. Предложенная в данной работе свёрточная нейронная сеть с ситуационным подходом может стать эффективным методом классификации для обработки больших массивов данных, полученных по сигналам РВОИС сегментарного типа, что показывает широкие возможности использования методов глубокого обучения нейронных сетей для решения актуальных прикладных задач принятия решений различного предназначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульчин Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. М.: Физматлит, 2001. 272 с.
2. Кульчин Ю.Н. Современная оптика и фотоника нано- и микросистем. М.: Физматлит. С. 2016-440 .
3. Якушенко Е.И., Залетин В.В., Савицкий О.А., Сороковиков В.Н. Экспериментальное подтверждение возможности использования интегрирующих волоконно-оптических датчиков для контроля динамических параметров протяженных конструкций. Морская радиоэлектроника. 2019. № 4 (70). С. 14-17.
4. Кульчин Ю.Н., Ким А.Ю. Распознавание динамических образов распределённой информационно-измерительной системой сегментарного типа. Проблемы управления, Москва, 2006. – № 5. – С. 52- 57.
5. Kulchin Yu.N., Notkin B.S., Kim A.Yu. Reconstruction of distributed physical fields in integrating measuring systems and systems of direct measuring in rare points of field. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2008. Vol. 17(2). P. 93-100.

6. **Кульчин Ю.Н., Ким А.Ю., Ноткин Б.С., Люхтер А.Б.** Построение алгоритма нечеткого дерева решений на основе экспериментальных данных при обработке сигналов РВОИС. Информатика и системы управления. 2014. № 3(41). С.103-114.
7. **Ле Мань Ха** Свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации. Информатика, вычислительная техника и управление. Труды МФТИ. 2016. Том 8. №3. С 91-97
8. Krizhevsky, A. Imagenet classification with deep convolutional neural networks / Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. NIPS. 2012. P. 1106 -1114.
9. **Созыкин А.В.** Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей. Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59. DOI: 10.14529/cmse170303.
10. Zhang, X. Character-level convolutional networks for text classification / Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun // In Advances in Neural Information Processing Systems. 2015. Feb. P. 649 - 657.
11. **Воронцов К.В.** Курс лекций по машинному обучению / http://www.ccas.ru/voron_voron@ccas.ru. – 2015.

Yu. N. Kulchin, A.Yu. Kim (Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok). **Convolutional Neural Networks for Solving Problems of Signal Processing from Segmental Distributed Fiber Optic Measuring Networks.**

Abstract. The work is devoted to the problem of real-time recognition of critical situations and localization of places of increased acoustic vibration of critical objects based on signals from segmental distributed fiber-optic measuring networks (DFOMN). To solve the problem, an architecture is proposed and a model of a situational approach to using Convolutional Neural Network as an effective classification method for processing large data arrays of the DFOMN is developed.

Н.А. МАХУТОВ
(ИМАШ РАН, Москва)

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПО КРИТЕРИЯМ РИСКОВ КРИТИЧЕСКИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Излагаются проблемы исследований и обоснования безопасности морских подвижных объектов с учетом основных стадий их жизненного цикла. В качестве критериев безопасности предлагается использовать риски, определяемые через вероятность возникновения и последствия опасных ситуаций. Глубина анализа безопасности связывается с категоризированием объектов по величине рисков. Принятие решений о достижении заданного уровня безопасности осуществляется на основе сравнения сформировавшихся в данный момент величин рисков с приемлемыми рисками. Управление безопасностью предлагается через реализацию ориентированных конструкторско-технологических и эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих приемлемые риски в штатных, проектных, запроектных и гипотетических аварийных и катастрофических ситуациях.

Введение. Проектирование, строительство и эксплуатация всех видов и типов морских подвижных объектов (МПО), имеющих характер критически и стратегически важных для национальной безопасности объектов требует использование современных достижений в фундаментальной науке, прикладных исследованиях, технологических разработках, а также в диагностике и мониторинге их состояний и в надзорной деятельности.

Под критически важными понимаются те объекты, аварии и катастрофы на которых сопряжены с ущербами отраслевого и регионального масштаба, а под стратегически важными те, когда речь идет об ущербах национального масштаба. К таким МПО относятся атомные и дизельные надводные и подводные суда гражданского и оборонного назначения, нефтяные танкеры и газовозы, уникальные морские платформы. Аварии и катастрофы на них сопровождались гибелью десятков и сотен людей, огромными материальными потерями, загрязнениями больших акваторий [1, 2].

Научные основы анализа безопасности и рисков. Научной основой обоснования безопасности МПО являются теория безопасности и рисков. Поэтапный перевод анализа и обоснования жизненного цикла МПО на риск-ориентированные подходы, разрабатываемые в Российской академии наук, МЧС России, Минпромторге России, Минобрнауки, Росатоме, Роскосмосе, Ростехнадзоре, Росреестре, предусмотрен в Стратегиях научно-технологического развития, Основах государственной политики в сфере безопасности.

Существо этих подходов сводится к категоризированию МПО по уровням рисков, к включению в проекты МПО анализа сценариев и возникновения и развития проектных, запроектных и гипотетических аварийных и катастрофических ситуаций на всех стадиях жизненного цикла, построению систем комбинированной защиты (физической, функциональной, естественной, охранной).

Количественными критериями безопасности принимаются риски – формирующиеся на данной стадии жизненного цикла, неприемлемые (критические) и приемлемые. Каждый из этих рисков определяется вероятностью возникновения опасной ситуации и сопутствующей ей величиной ущерба.

Управление безопасностью МПО по критериям рисков требует обязательной разработки комплексов мероприятий конструкторского, технологического и эксплуатационного характера с расчетными затратами на снижение формирующихся рисков до приемлемого уровня. Общие методы, критерии и системы управления безопасностью изложены в многотомной серии «Безопасность России» [3].

Определяющие выражения и их параметры. Анализ аварийных и катастрофических ситуаций на критически (КВО) и стратегически (СВО) важных объектах гражданского и оборонного характера показал [2, 3], что существуют устойчивые связи (функционалы) между основными параметрами рисков $R(\tau)$ на каждой из стадий жизненного цикла τ

$$R(\tau) = F_R \{P(\tau), U(\tau)\} \quad (1)$$

где: $P(\tau)$, $U(\tau)$ – вероятности и ущербы от возникающих отказов, аварий и катастроф различного масштаба (локального, объектового, местного, регионального, национального, глобального, планетарного).

Для КВО и СВО характерны региональные, национальные, глобальные и планетарные критические (неприемлемые) риски $R_k(\tau)$ с $P(\tau)$ в пределах от $3 \cdot 10^{-1}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ 1/год и $U(\tau)$ в пределах от 10^8 до 10^{11} долл. США.

Приемлемые риски $[R(\tau)]$ устанавливаются через критические $R_k(\tau)$ с введением запасов n_R по рискам.

$$[R(\tau)] = R_k(\tau) / n_R \quad (2)$$

При научно обоснованных конструкторско-технологических и эксплуатационных решениях [1, 2] величина n_R может быть достигнута на уровне $5 \div 10$.

Безопасность $S(t)$ морских подвижных объектов для заданного τ определяется по выражению

$$S(\tau) = 1 - R(\tau) / [R(\tau)] \quad (3)$$

Она считается обеспеченной, если

$$1 \geq S(\tau) \geq 0 \quad \text{и} \quad R(\tau) \leq [R(\tau)] \quad (4)$$

Для выполнения условия (4) необходима реализация комплексных мероприятий с обязательными научно обоснованными затратами $Z_R(\tau)$ на снижение рисков $R(\tau)$ до приемлемых $[R(\tau)]$

$$Z_R(\tau) = \frac{1}{m_Z} \{R(\tau) - [R(\tau)]\} \quad (5)$$

где m_Z – коэффициент эффективности затрат ($2 \leq m_Z \leq 5$).

Заключение. Анализ выражения (1) является задачей фундаментальной и прикладной науки, реализация выражения (2) относится к компетенции органов государственного управления безопасностью, а реализация выражений (4), (5) может быть достигнута совместно наукой, государством и промышленностью [2, 3].

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ 20-19-00769

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурсук В.И., Васильев С.Н., Галяев А.А., Горкунов Э.С., Гурьев Ю.В., Задворкин С.М., Морозов Н.Ю., Якушенко Е.И. Методические основы создания тактических оперативно-советующих систем поддержки принятия решений в задачах обеспечения безопасности сложных технических объектов. Труды 10-й международной конференции “Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций” Екатеринбург, ИМАШ УрО РАН, 2016 – с. 360
2. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск: Наука, 2008. – 528 с
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-механические аспекты. Москва: МГОФ «Знание» 1998-2019, т.т. 1-56.

N.A. Makhutov (Mechanical Engineering Research Institute of the RAS, Moscow). **Management of safety of critical and strategically important marine mobile facilities according to risk creation**

Abstract. The problems of assessment and validation of safety of mobile offshore (или marine) facilities are presented taking into account the main stages of their life cycle. Risk defined as a product of the probability of occurrence of hazardous situations and their consequences is used as a criterion of safety. The depth of safety analysis is determined in accordance with the categorization of the facility that is carried out with respect to the magnitude of risk. The comparison of the current risk level with the criteria value of acceptable risk forms the basis for making decision whether the required level of safety is ensured. Safety management is considered as the process of implementation of special design, technological and operational measures that allow achieving acceptable risks in normal situations as well as in design basis, beyond design basis and hypothetical emergency situations.

Секция 1

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

А. С. СОЛОНАР

(Военная академия Республики Беларусь, Минск)

П. А. ХМАРСКИЙ

(ООО «АвиаТехСистемы», Минск)

**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКИ
ПО ДАННЫМ ОДНОГО ИСТОЧНИКА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Рассматриваются общие принципы построения и особенности функционирования устройства траекторной обработки по данным одного источника радиолокационной информации. Обсуждаются выполняемые задачи и структура устройства траекторной обработки.

Введение. Ни один современный радиолокационный комплекс или станция не обходится без системы траекторной обработки радиолокационной информации. В настоящее время выделяют два основных подхода к построению системы траекторной обработки. Первый заключается в том, что каждую основную функцию системы траекторной обработки (обнаружение траектории, отождествление, фильтрацию, сброс и др.) реализуют в виде отдельного алгоритма [1, 2]. Такой подход удобен и работоспособен при построении устройств траекторной обработки в простых условиях – при отсутствии сложных помех, групповых, протяженных и отделяющихся объектов и пр. В более сложных сигнально-помеховых ситуациях некоторые из алгоритмов (например, фильтрации и отождествления) реализуются совместно и существенно влияют друг на друга. Это привело к тому, что в настоящее время наметилась тенденция создания объединенных алгоритмов, решающих сразу несколько задач [2]. В таких условиях существенно возрастает сложность синхронизации и учета влияния алгоритмов друг на друга. Вопросы построения объединенных алгоритмов в рамках единой системы траекторной обработки в известной литературе практически не рассматриваются. В докладе будут обсуждены общие принципы построения и особенности функционирования устройства траекторной обработки по данным одного источника радиолокационной информации.

Основная часть. *Траекторная обработка информации заключается в объединении во времени последовательности радиолокационных отметок принадлежащих одному объекту. Под радиолокационной отметкой (или просто отметкой) понимают вектор наблюдаемых параметров (их разовых оценок) обнаруженного сигнала и момент времени, соответствующий решению об обнаружении. Объединение во времени единичных решений о наличии или отсутствии объекта в том или ином элементе разрешения и его классе улучшает характеристики обнаружения и распознавания. Объединение во времени разовых оценок координат наблюдаемых объектов снижает ошибки измерения. Способы объединения отметок во времени и достигаемые при этом показатели качества обработки составляют содержание проблемы траекторной*

обработки радиолокационной информации. Под траекторией (трассой) наблюдаемого объекта понимают временную последовательность отфильтрованных координат наблюдаемых объектов и вектора скорости его движения.

Следует отметить, что в зоне действия РЛС может находиться одновременно несколько объектов с различными координатами. При этом измерение их координат должно производиться независимо, т.е. в отдельных траекториях. Прежде чем рассмотреть особенности построения устройства траекторной обработки необходимо определить решаемые задачи, входную и выходную информацию.

Основными задачами траекторной обработки радиолокационной информации являются [1 – 4]: автоматизация процесса обнаружения траекторий наблюдаемых объектов; повышение вероятности правильных решений при обнаружении или распознавании наблюдаемых объектов; повышение точности измерения координат наблюдаемых объектов за счет межобзорной (дискретной) фильтрации координат их отметок; определение полного вектора скорости наблюдаемых объектов; определение экстраполированных значений координат и параметров движения наблюдаемых объектов.

Входной информацией устройства траекторной обработки являются отметки, которые содержат вектор наблюдаемых параметров и время определения координат наблюдаемого объекта. **Выходной информацией** устройства траекторной обработки является вектор состояния траектории.

Траекторная обработка, как правило, реализуется в программном виде на специализированной ЭВМ, входящей в состав РЛС, пункта управления или комплекса средств автоматизации, куда РЛС способна выдавать первичную радиолокационную информацию. Траекторная обработка радиолокационной информации осуществляется последовательно во времени (от обзора к обзору РЛС) по мере поступления новых отметок от устройства первичной обработки принятого сигнала. Исходя из выполняемых задач, она включает в себя следующие этапы обработки [2, 3, 5]: отождествление принятых отметок с уже сопровождаемыми траекториями; обнаружение новых траекторий; фильтрация координат и параметров траекторий; сброс траекторий.

На этапе отождествления принятых отметок с уже сопровождаемыми траекториями решается задача привязки отметок к ним, т.е. определение какие отметки к каким сопровождаемым траекториям принадлежат. После определения пар отождествления (отметка – траектория) производятся соответствующие отождествления.

Этап создания новых траекторий отвечает за создание новых траекторий по отметкам, которые не отождествляются ни с одной из траекторий. Такая процедура позволяет с одной стороны снизить риск пропуска новых траекторий объектов, входящих в зону обзора РЛС, с другой стороны повышает вероятность обнаружения ложной траектории по ложному срабатыванию обнаружителя первичной обработки РЛС.

На этапе фильтрации координат и параметров траекторий в каждой сопровождаемой траектории осуществляется фильтрация (траекторное измерение) координат движения наблюдаемого объекта и определение дополнительных параметров, таких как полная скорость, ускорение, курс и т.д.

Этап сброса траекторий предназначен для удаления траекторий, по которым перестали поступать отметки (т.е. информация). Такая ситуация возможна при выходе объекта из зоны видимости РЛС по различным причинам.

Устройство траекторной обработки радиолокационной информации можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1. В состав устройства траекторной обработки входят: устройство отождествления отметок и траекторий; траектория, в которой непосредственно осуществляется фильтрация и экстраполяции координат; устройство создания новой траектории; устройство удаления траектории.

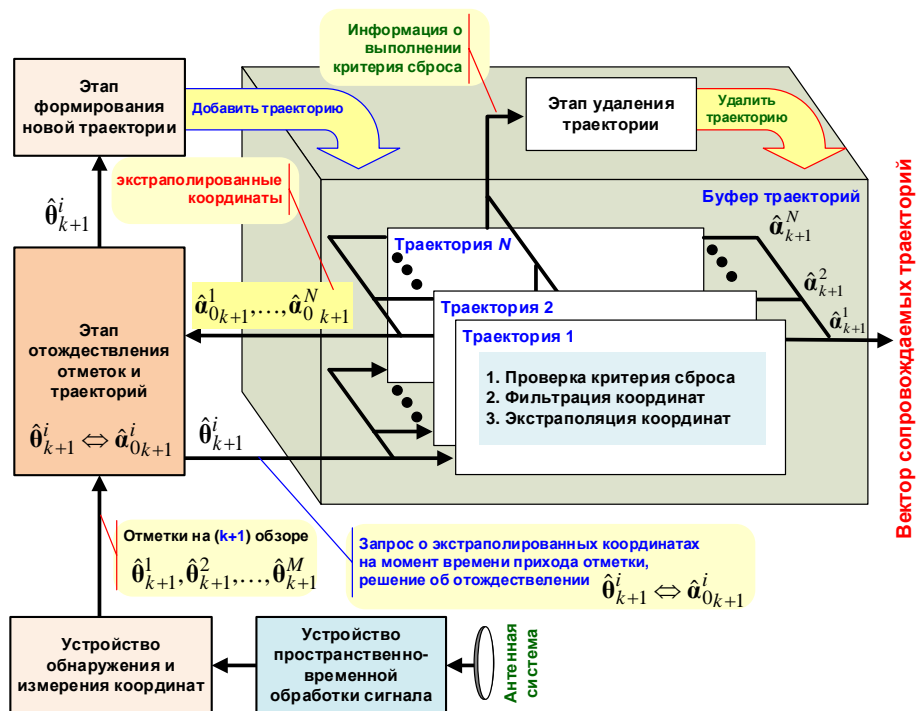


Рис. 1. Обобщенная структурная схема устройства траекторной обработки радиолокационной информации

Принцип работы траекторной обработки удобно рассмотреть на последовательности операций при решении задачи обработки одной отметки (см. рис. 2). **Устройство фильтрации и экстраполяции** осуществляет объединение разовых оценок, полученных в различных циклах обзора, с целью формирования измеряемого значения параметра и предсказания (экстраполяции) его на следующий цикл обзора с минимальными ошибками. Экстраполированное значение измеряемого параметра необходимо знать как для выдачи этой информации потребителям, так и для реализации сопровождения траектории объекта. Для этого в измеритель вводится **устройство отождествления (селекции) отметок и траекторий**, которое отождествляет отметку от наблюдаемого объекта с одной из сопровождаемых траекторий.

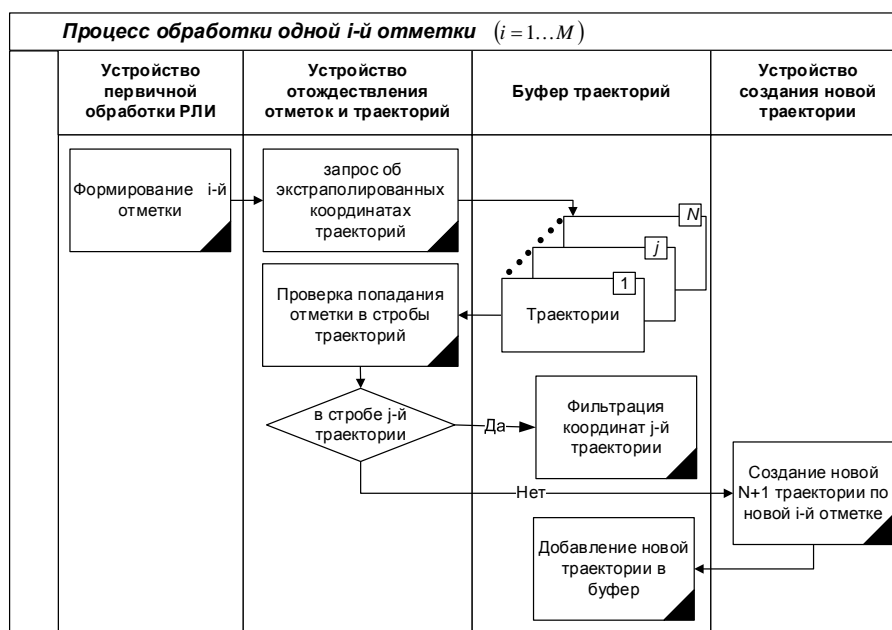


Рис. 2. Последовательности операции при решении задачи обработки одной отметки

При появлении новых объектов в зоне обзора РЛС обнаруживаются принадлежащие им новые отметки. Они фиксируются в **устройстве создания (обнаружения) новых траекторий**.

Здесь путем объединения отметок в течение нескольких циклов обзора решается задача обнаружения траектории с одновременной оценкой ее параметров (вектора состояния). В последующем периодически (один раз за обзор) происходит отождествление отметок с данной траекторией, фильтрация и экстраполяция ее вектора состояния.

Таким образом, основными операциями процесса траекторной обработки на этапах обнаружения и сопровождения траектории являются: обнаружение новой отметки в зоне обзора и завязка новой траектории; определение полного вектора скорости; фильтрация и экстраполяция координат и параметров движения наблюдаемого объекта; стробирование – выделение зоны вероятного нахождения объекта в следующем цикле обзора пространства; отождествление координат отметок и экстраполированных траекторий и выбор одной из отметок для продолжения каждой траектории.

Заключение. В докладе рассмотрены общие принципы построения и особенности функционирования устройства траекторной обработки по данным одного источника радиолокационной информации. Рассмотрены основные задачи траекторной обработки радиолокационной информации. Среди которых: автоматизация процесса обнаружения траекторий; повышение вероятности принятия правильных решений при обнаружении или распознавании; повышение точности измерения координат за счет межобзорной (дискретной) фильтрации координат отметок; определение полного вектора скорости; определение экстраполированных значений координат и параметров движения. Рассмотрены особенности устройств, входящих в состав траекторной обработки: устройство отождествления отметок и траекторий; траектория, в которой непосредственно осуществляется фильтрация и экстраполяция координат; устройство создания новой траектории; устройство удаления траектории.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. М.: Радио и связь. 1993. 320 с.
2. **Коновалов А. А.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. Ч. 1 СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 164 с.
3. **Blackman S, R.Popoli.** Design and analysis of modern tracking systems. Boston, London: Artech House, 1999. 1230 p.
4. **Бар-Шалом Я., Ли Х.-Р.** Траекторная обработка. Принципы, способы и алгоритмы: в 2 ч. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. 510 с.
5. **Кузьмин С.З.** Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев: КВиЦ, 2000. 428 с.

A.S.Solonar (Military academy of the Republic of Belarus, Minsk), **P.A.Khmarski** (Ltd AviaTekhSistemy, Minsk). **General construction principles and features functioning of the trajector processing on the data of one source of radar information**

Abstract. The general principles of construction and features of the operation of the trajectory processing device based on data from one source of radar information are considered. The tasks performed and the structure of the trajectory processing device are discussed.

П. А. ХМАРСКИЙ
(ООО «АвиаТехСистемы», Минск)

А. С. СОЛОНАР
(Военная академия Республики Беларусь, Минск)

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

Рассмотрены показатели качества устройств траекторной обработки радиолокационной информации и методы их испытаний. Предложены практические рекомендации, упрощающие оценку показателей качества устройств траекторной обработки.

Введение. Одним из важнейших этапов проектирования системы траекторной обработки радиолокационной информации является выбор показателей качества, их прогнозная оценка, а также определение методов их испытаний [1, 2]. Несмотря на значительное количество публикаций на русском языке, посвященных различным аспектам траекторной обработки, в них практически не уделяется внимания показателям качества траекторной обработки и методам их испытаний. Так, в работе С.З. Кузьмина [3] вводится только два системных показателя (коэффициент проводки и коэффициент ложных трасс), и несколько показателей качества обнаружителей траекторий и траекторных измерителей. При этом далеко не для всех показателей качества предлагается методики их оценки. Значительно глубже рассматриваются данные вопросы в работе П.А. Бакута [4]. Однако с момента данной работы (спустя 40 лет) скорость выполнения операций и объемы памяти экспоненциально возросли по закону Мура. Параллельно с этим существенно снизились стоимостные и массогабаритные характеристики вычислительных устройств. Все это позволило поставить новые задачи, предъявить невозможные ранее требования к устройствам траекторной обработки – например, в многоцелевой ситуации, а также в совместном решении задач обнаружения-измерения и обнаружения-измерения-распознавания.

В области оценки показателей качества траекторной обработки важной является диссертационная работа Киселева В.Ю. [1]. Однако в ней предпринят ряд упрощений относительно построения системы траекторной обработки и рассматриваются только показатели качества РЛС управления воздушного движения на основе стандарта Европейской организации по безопасности воздушной навигации «EUROCONTROL» [5]. Это несколько снижает область применимости полученных исследований.

В зарубежных публикациях вопросы выбора и оценки показателей качества траекторной обработки представлены шире [6, 7, 8]. Однако основной упор в них сделан на показатели качества обнаружителей траекторий.

В докладе рассмотрены показатели качества и методы испытаний с учетом новых достижений и тенденций в области построения систем траекторной обработки.

Основная часть. Показатели траекторной обработки целесообразно разбить на три направления [1, 2, 9]: показатели качества межобзорной селекции движущихся целей (МСДЦ) на фоне дискретных мешающих отражений (ДМО), показатели качества для одноцелевой ситуации и показатели качества для многоцелевой ситуации.

К показателям качества МСДЦ на фоне ДМО относят коэффициент подавления ДМО и среднее число ложных траекторий, сформированных по ДМО [9, 10].

К показателям качества устройств для одноцелевой ситуации относят [1, 2, 5]: вероятность правильного обнаружения траектории; среднее время обнаружения траектории; вероятность срыва траектории с сопровождения; вероятность правильного сброса траектории с сопровождения; среднее время сброса траектории с сопровождения; ошибки измерения местоположения, координат и параметров движения наблюдаемых объектов.

К показателям качества для многоцелевой ситуации относят [1, 2, 5]: среднее число ложных траекторий, средняя продолжительность ложной траектории, вероятность перепутывания траекторий, коэффициент проводки, коэффициент ложных трасс.

Оценка показателей качества устройств траекторной обработки проводится путем математического (компьютерного) моделирования, полунатурного и натурного экспериментов. При проведении математического моделирования как правило используется имитатор формирования входного воздействия на испытываемое устройство траекторной обработки. Для расширения возможностей испытаний в имитатор формирования входного воздействия предлагается включать устройство формирования стресс-тестов траекторной обработки. При этом рекомендуется проведение следующих стресс-тестов:

- проверка пропускной способности – поток с максимальным количеством равномерно распределенных траекторий по всей зоне обзора;
- проверка траекторных измерителей с вероятностным объединением данных – максимальная концентрация траекторий на конкретных азимутальных секторах;
- проверка траекторных измерителей на допустимое значение перегрузки сопровождаемого воздушного объекта – поток маневрирующих объектов в пределах заданного интервала перегрузок.

Для эффективной оценки показателей качества системы траекторной обработки в ее состав предлагается включить устройство контроля показателей качества первичной и вторичной (траекторной) обработки радиолокационной информации которое должно обеспечивать анализ:

- информации, подаваемой на вход испытываемого устройства траекторной обработки радиолокационной информации (выход устройства первичной обработки);
- показателей качества МСДЦ на фоне ДМО;
- показателей качества испытываемого устройства траекторной обработки радиолокационной информации для одноцелевой и многоцелевой ситуации.

При анализе первичной обработки радиолокационной информации необходимо оценивать: вероятность правильного обнаружения принятого сигнала, вероятность ложной тревоги в зоне обзора РЛС и ошибки разового оценивания полярных координат наблюдаемых объектов. Для этого предлагается использовать устройство мониторинга помеховой обстановки, предложенное в [11].

Для испытания устройств МСДЦ методом математического моделирования целесообразно использовать поток ДМО. Данный поток должен учитывать отличительные особенности ДМО: распределение траекторий по высотам и скоростям движения (высотно-скоростные характеристики); вид и параметры задающего воздействия; характеристики возмущающего воздействия. Эффективность МСДЦ рекомендуется оценивать в зависимости от плотности потока ДМО (количество отметок ДМО, формируемых в секунду). Аналогично производить подсчет количества траекторий сформированных по нескомпенсированным ДМО и производить их усреднение за все время наблюдения (суммарное количество обзоров).

При анализе показателей качества испытываемого устройства траекторной обработки радиолокационной информации для одноцелевой и многоцелевой ситуации предлагается использовать устройство мониторинга траекторной информации. Данное устройство должно на текущий момент времени производить подсчет: количества разовых оценок на входе; количество обнаруживаемых, подтверждаемых, сопровождаемых и сбрасываемых траекторий; суммарное количество траекторий; количество траекторий без пропусков. Использование такого устройства позволяет относительно просто производить оценку показателей качества в режиме реального времени без дополнительных трудоемких вычислений.

Заключение. В докладе рассмотрены показатели качества устройств траекторной обработки радиолокационной информации и методы их испытаний. Приведены показатели качества межобзорной селекции движущихся целей (МСДЦ) на фоне дискретных мешающих отражений (ДМО), показатели качества для одноцелевой ситуации и показатели качества для многоцелевой ситуации. Предложены меры упрощающие оценку указанных показателей качества: использование имитатора с устройством формирования стресс-тестов и интегрированным в своем составе траекторными измерителями; использование устройства мониторинга помеховой обстановки; использование устройства мониторинга траекторной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Киселев В.Ю.** Оценка качества траекторной обработки в радиолокационных системах управления воздушным движением: дис. к-та техн. наук.: 05.12.14. Санкт-Петербург. 2017. 200 с.
2. **Коновалов А. А.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. Ч. 1 СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 164 с.
3. **Кузьмин С.З.** Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев: КВиЦ, 2000. 428 с.
4. **Бакут П.А., Жулина Ю.В. Иванчук Н. А.** Обнаружение движущихся объектов. М.: Советское радио. 1980. 288 с.
5. **Sunnen A.** Eurocontrol Standard Document for Radar Surveillance in En -Route Airspace and Major Terminal Areas / A. Sunnen, P. Escritt, W. Philipp. – Brussels: Eurocontrol Agency, 1997. – 103 p.
6. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. М.: Радио и связь. 1993. 320 с.
7. **Blackman S, R.Popoli.** Design and analysis of modern tracking systems. Boston, London: Artech House, 1999. 1230 p.
8. **Бар-Шалом Я., Ли Х.-Р.** Траекторная обработка. Принципы, способы и алгоритмы: в 2 ч. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. 510 с.
9. **Солонар А.С., Горшков С.А., Хмарский П.А., Вашкевич А.М.** Межобзорная компенсация дискретных мешающих отражений с формированием карты местных помех и накоплением решений. Докл. БГУИР. 2015. № 4 (90). С. 75–80.
10. **Солонар А.С., Хмарский П.А.** Анализ показателей качества устройства межобзорной селекции движущихся целей, учитывающего распределение принятого сигнала по пространству радиолокационного наблюдения. Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2015. № 4. С. 110–130.
11. **Солонар А. С., Михалковский А. А., Хмарский П. А.** Методика расчета вероятности обнаружения ложной отметки в ограниченной области пространства радиолокационного наблюдения. Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. 2019. №2 (63). С.40–45.

A.S.Solonar (Military academy of the Republic of Belarus, Minsk), **P.A.Khmarski** (Ltd AviaTekhSistemy, Minsk). **Quality indicators for trajector processing devices of radar information and methods of their testing**

Abstract. The indicators of the quality of devices for trajectory processing of radar information and methods of their testing are considered. Practical recommendations are proposed that simplify the assessment of quality indicators of trajectory processing devices.

Н.Г. ВОРОНИНА, А.В. ШАФРАНИЮК
(АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", Санкт-Петербург)

КУСОЧНО-СТАЦИОНАРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ТРАЕКТОРНОГО АНАЛИЗА

В работе рассмотрены два метода кусочно-стационарной фильтрации: метод восстановления сигналов Basis Pursuit и блочный алгоритм, построенный на основе метода максимума правдоподобия. Проведен анализ возможности использования этих методов для фильтрации в алгоритме траекторного слежения в пеленгационных системах освещения обстановки. Приведены результаты имитационного моделирования.

Введение. В системах управления автономными подводными аппаратами (АНПА) немалую роль играет оценка параметров окружающей обстановки, в частности определение координат присутствующих локальных объектов. При этом, основными средствами обзора окружающего пространства в АНПА являются пеленгационные и локационные гидроакустические системы. Не останавливаясь подробно на их достоинствах и недостатках отметим, что в ближайшем будущем использование и тех и других в АНПА неизбежно. Одной из актуальных задач вторичной обработки информации в пеленгационных системах освещения обстановки является траекторный анализ, позволяющий на основе обнаруженных отметок оценить координаты локальных объектов. В случае пеленгационной системы – угловые.

Задача определения углового положения объекта относительно наблюдателя по пеленгационной информации широко представлена в литературе [1-4]. Актуальность этой задачи обуславливается необходимостью использования пеленгационных систем наблюдения и отсутствием априорной информации в системах освещения окружающей обстановки. К основной проблеме, возникающей при синтезе алгоритмов сопровождения (как впрочем и в других сходных задачах) является неточное знание модели движения пеленгуемого объекта и его координат и параметров движения. Недостаток информации об объекте приводит к необходимости накладывать жесткие ограничения на математические модели, описывающие его движение. Это приводит к потере устойчивости и дополнительным ошибкам при оценке угловых координат наблюдаемого объекта, особенно в случае алгоритмов построенных на основе калмановской фильтрации. В связи с этим возникает необходимость построения робастных алгоритмов, обеспечивающих устойчивое слежение за объектами при их маневрировании.

Ключевой задачей, отвечающей за выработку сглаженных координат и их экстраполяцию, является фильтрация (см. рисунок 1).

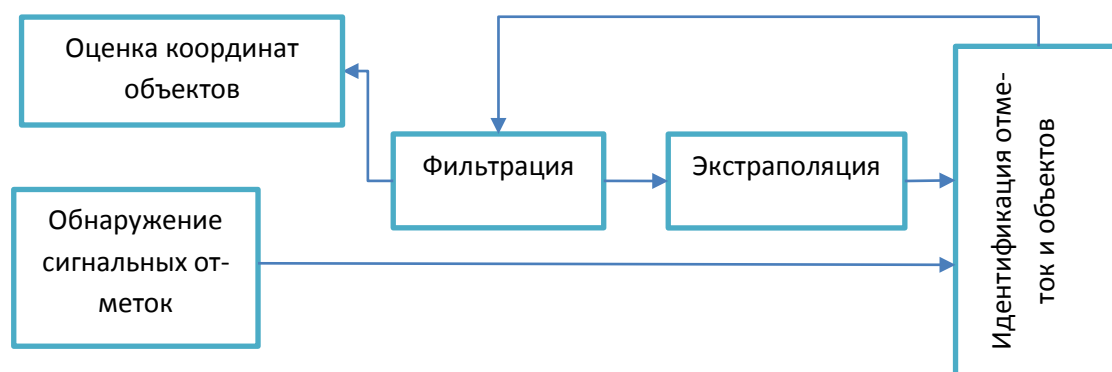


Рис. 1. Схема траекторного анализа

В литературе принято разделять фильтры, обеспечивающие процесс сопровождения объекта наблюдения на кусочно-стационарные и рекуррентные. Между тем, решение задачи обеспечения требуемой точности слежения и устойчивости к срыву сопровождения высокоманевренных объектов с помощью алгоритмов рекуррентной фильтрации не приносит желаемого результата. Кусочно-стационарные фильтры предпочтительнее рекуррентных при сопровождении маневрирующей цели с использованием нелинейных фильтров, так как обеспечивают большую точность.

В докладе рассматривается алгоритм построения траектории наблюдаемого объекта по измерениям некоторого пеленгатора в горизонтальной плоскости, по результатам которых нужно оценить угловую координату объекта: курсовой угол. Целью работы являлся анализ возможности применения для решения задач фильтрации и экстраполяции в задаче траекторного слежения алгоритма Basis Pursuit при наличии только пеленгационной информации и сравнение с известным блочным алгоритмом, построенном на основе метода максимума правдоподобия.

Применение метода Basis Pursuit в задаче сопровождения траекторий. Basis Pursuit относится к классу спектральных методов [5, 6] и является одним из методов разреженной аппроксимации, когда последовательность измерений, представляется в виде конечной линейной комбинации элементарных функций, выбранных из некоторого большого, в общем случае линейно зависимого, набора. Отличие от простой аппроксимации состоит в том, что в разложении участвуют не все функции из набора, а лишь некоторые. Результатом разреженной аппроксимации является представление процесса как суперпозиции составляющих «оптимального» разложения по базису [7]. Критерием оптимальности базиса является минимизация нормы его коэффициентов разложения в l_1 . В качестве базиса разложения в данной задаче рассматривается Фурье преобразование. В нашем случае в качестве рассматриваемого процесса выступает временная зависимость курсового угла наблюдаемого объекта $\tilde{\alpha}$ (вектор, содержащий некоторое число отсчётов – выборку по окну), которую можно разложить в ряд Фурье:

$$\tilde{\alpha} = \Phi a + n \quad (1)$$

где: Φ – матрица, колонки которой содержат ортогональный набор гармонических функций базиса Фурье для выборочного окна, a – вектор весовых коэффициентов разложения истинного значения α по базису, n – вектор шумов измерения.

Итерационный алгоритм фильтрации и экстраполяции траектории объекта методом Basis Pursuit можно представить как последовательность следующих шагов:

1. Задаются исходные условия нахождения сглаживающей функции:
 - максимальное число временных циклов приема входных данных задачи $K \geq 5$, по которым будет производиться нахождение сглаживающей функции (сглаживающей, т.к. определение координат траектории будет производиться сразу для всех K моментов времени);
 - число шумовых коэффициентов ряда Фурье N_f , которые определяют величину шума n в выражении (1), и как следствие, степень сглаживания траектории;
 - число итераций N_j в цикле вычислений по методу Basis Pursuit;
 - максимально возможное значение скорости изменения КУ, которое может иметь объект наблюдения при маневре V_{\max} .
2. Для траектории методом Basis Pursuit определяются коэффициенты Фурье преобразования, обеспечивающие фильтрацию траектории или экстраполяцию по выражениям:
 - инициализируются значения $\mu > 0$, $d=0$, $\lambda = 0,5$;
 - циклично проводятся следующие вычисления:

$$\begin{aligned} v &\leftarrow \text{soft}(a + d, \lambda/\mu) - d \\ d &\leftarrow \frac{1}{\mu + p} \Phi^H (\tilde{\alpha} - \Phi v) \\ a &\leftarrow d + v, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\text{soft}(x, T) = \max(1 - T/|x|, 0) \cdot x$, p – множитель в выражении $\Phi \Phi^H = pI$;

- вычисления останавливаются, когда число итераций достигает заданного значения N_j .
3. Полученное значение координат объекта наблюдения проверяется на физическую реализуемость: скорость изменения курсового угла не должна превышать максимального значения V_{\max} .

4. В случае невыполнения условия в п.3 число отбрасываемых верхних коэффициентов ряда Фурье уменьшаются N_f и п.п.2-3 повторяются.

Результаты моделирования. По предложенному алгоритму было проведено моделирование для случая линейной антенны. Наблюдение производилось за двумя объектами, движущимися прямолинейно с постоянной скоростью. В процессе эпизода носитель антенны совершал маневр.

На рисунке 2 (а и б) представлены результаты расчетов курсовых углов объектов наблюдения в зависимости от времени для алгоритмов траекторного слежения с использованием фильтров Basis Pursuit и фильтрации на основе метода максимума функции правдоподобия. На рисунке 3 (а и б) представлены результаты расчетов этих же параметров для алгоритмов траекторного слежения с использованием фильтров Калмана и ВР.

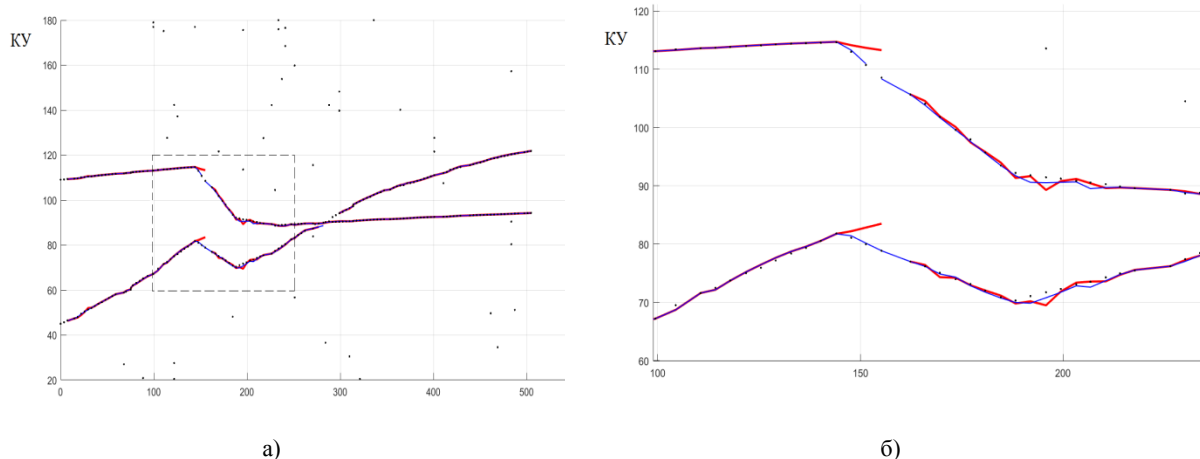


Рис. 2. Результаты фильтрации КУ траекторий. Красный – нереккуррентный вариант фильтрации на основе метода максимума функции правдоподобия, Синий – ВР

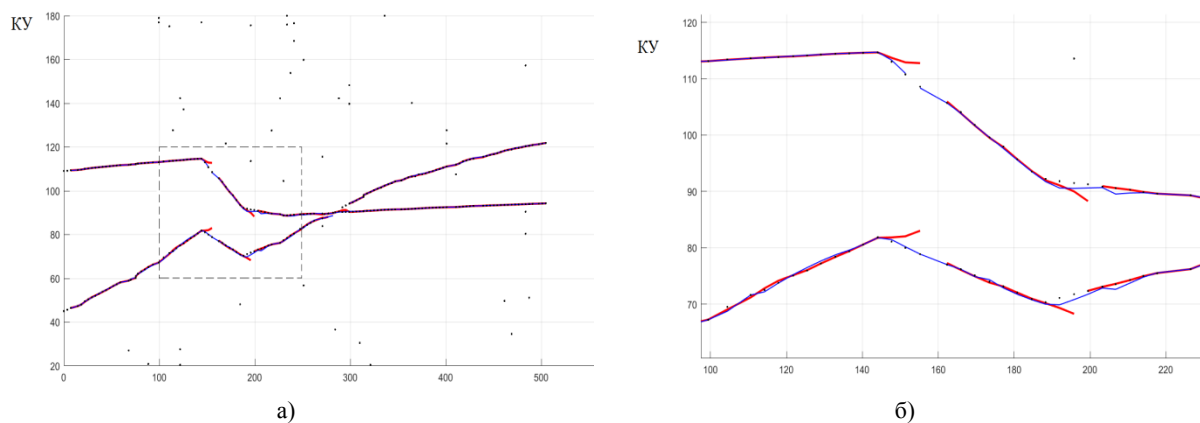


Рис. 3. Результаты фильтрации КУ траекторий. Красный – фильтр Калмана, Синий – ВР

Закключение. Результаты математического моделирования показали устойчивое сопровождение объектов при использовании всех рассматриваемых алгоритмов на прямолинейных участках. При маневрировании носителя, вследствие сопровождения объекта наблюдения только по КУ и невозможности учета влияния движения наблюдателя на получаемые измерения, происходило значительное искривление траекторий. Такой же характер имеют траектории маневрирующих объектов наблюдения при наблюдении с неманеврирующего наблюдателя. В данном случае и фильтр Калмана, и алгоритм, основанный на использовании нереккуррентного варианта фильтрации на основе метода максимума функции правдоподобия, не позволяли устойчиво сопровождать объекты и траектории прерывались. Алгоритм, использующий фильтр ВР, в данной ситуации показал лучшие результаты и позволил сопровождение объектов без срыва контакта. Ложные траектории не наблюдались. Это объясняется тем, что заложенная в фильтр Калмана и в алгоритм, основанный на использовании нереккуррентного варианта фильтрации, модель прямолинейного движения не соот-

ветствует модели истинного перемещения. Для таких маневрирующих объектов необходимо использование методов многомодельной фильтрации, что требует более громоздких расчетов и вычислительных затрат. К тому же в фильтре Калмана на предсказание текущего значения большое влияние оказывает вес суммы предыдущих значений. Наличие маневра объекта приводит к динамическим ошибкам фильтрации, которые существенно влияют на прогноз траектории.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ, проект №19-08-00253.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ristic B., Arulampalam S.** Bernoulli Particle Filter with Observer Control for Bearings-Only Tracking in Clutter. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems v. 48 №3, 2012 pp.2405-2415.
2. **Liu B., Hao Ch.** Sequential Bearings-Only-Tracking Initiation with Particle Filtering Method. Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal, v. **2013**, article ID 489121.
3. **Luginbuhl T., Hempel Ch.** Converting Bearings-Only Measurements to Cartesian Coordinates. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, v.45, 2009, №1, pp. 393-404.
4. **Wang Y., Jia Y., Du J., Yu F.** Bearings-Only Multi-Sensor Multi-Target Tracking Based on Rao-Blackwellized Monte Carlo Data Association. Proceedings of the 29th Chinese Control Conference July 29-31, 2010, Beijing China.
5. **Afonso M.V., Bioucas-Dias J.M., Figueiredo A.T.** Fast Image Recovery Using Variable Splitting and Constrained Optimization, IEEE Transactions on image processing, 2010, pp.1-11.
6. **Dokuchaev N.** Mathematical finance core theory, problems and statistical algorithms. Taylor&Francis e-Library, 2007, 187p.
7. **Луковенкова О.О.** Моделирование и обработка импульсных сигналов геоакустической эмиссии на базе разреженной аппроксимации. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., с. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, 2016

N.G. Voronina, A.V. Shafranyuk (SRC Electropibor, JSC , Saint-Petersburg). **Piece-stationary filtration in trajectory analysis problems**

Abstract. The paper considers two methods of piecewise-stationary filtering: the Basis Pursuit signal recovery method and the block algorithm based on the maximum likelihood method. The analysis of the possibility of using these methods for filtering in the trajectory tracking algorithm in direction finding lighting systems is carried out. The results of simulation are presented.

В.С. МЕЛЬКАНОВИЧ
(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург)

ПОСТРОЕНИЕ ТРАКТА ПЕЛЕНГОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПО ВЫХОДУ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрен вопрос синтеза алгоритма пеленгования по выборке, составленной из выходных сигналов ограниченного числа каналов кругового обзора шумопеленгатора. Задача сформулирована как поиск максимума функции правдоподобия по её решетчатому представлению. Рассмотрены варианты применения оптимальной и полиномиальной интерполяции. Оценены ошибки смещения и потери потенциальной точности в зависимости от размерности выборки, углового шага обзора, а также от величины перемещения цели на интервале измерения. Показано преимущество в потенциальной точности предлагаемого подхода перед традиционным подходом к построению трактов пеленгования, основанном на схеме Гванеллы.

Введение. Традиционно задача пеленгования источников гидроакустических сигналов наряду с задачами обнаружения и классификации сигналов является одной из базовых задач, решаемых гидроакустическими средствами. Исторически, в доцифровую эру, для решения этой задачи создавали для каждой цели специальный тракт автоматического сопровождения (АС), в то время как система обзора (СО) решала задачу обнаружения путем формирования веера каналов, обладавших кардинально меньшей эффективностью, но охватывающих весь сектор обзора. Архитектура тракта АС строилась по схеме Гванеллы [1], использующей сигналы половин антенны, компенсированных на объект пеленгования. Такое решение на современном этапе представляется анахронизмом. Во-первых, по причине потерь точности, изначально свойственных неоптимальной схеме Гванеллы, и во-вторых, из-за ненужного в современных условиях дублирования обработки сигналов. Рост эффективности алгоритмов СО привел к тому, что задачу обнаружения стало принято рассматривать как совмещенную задачу обнаружения – пеленгования [2]. Действительно, в предположении, что СО осуществляет вычисление значений функции правдоподобия в направлениях предполагаемого прихода сигнала, задача пеленгования сводится к поиску максимума функции правдоподобия по её решетчатому представлению.

При этом в критической для гидроакустики задаче обнаружения – пеленгования предельно слабого, порогового сигнала на фоне помех с флуктуирующими волновыми фронтами адаптивная обработка может быть сведена к компенсации, либо ограничению мощности помех с последующими обнаружением и пеленгованием слабого сигнала с использованием традиционного неадаптивного формирования приемных каналов [3, 4].

В изложенном контексте кардинальным различием систем АС и СО остается лишь то, что тракт АС является стабилизированным по направлению на цель с учетом производных угла прихода сигнала, в то время, как СО привязана к носителю и, как правило, не стабилизирована даже в географических координатах. **Задача настоящей работы** состоит в формулировке принципов построения и конкретизации параметров реализации близкого к оптимальному пеленгатора, использующего для формирования измерительных приемных каналов, ориентированных в произвольном направлении, выходы приемных каналов СО, ориентированные в направлениях, фиксированных относительно антенной решетки.

Основная часть. Структура оптимального дискриминатора [5] в качестве основной операции включает вычисление комплексных спектров по выходу суммарного и разностного каналов $z(\omega_n)$ и $z_\Delta(\omega_n)$, сформированных на фиксированной частоте спектрального анализа ω_n (обозначение ω_n в приводимых ниже выражениях опущено) в соответствии с выражениями

$$z(\vartheta) = \vec{V}(\vartheta)^+ \vec{X} \quad \text{и} \quad z_\Delta(\vartheta) = \vec{V}_\Delta(\vartheta)^+ \vec{X}, \quad (1)$$

где $\vec{V}(\vartheta) = \exp(j \cdot \omega_n \cdot \vec{\tau}(\vartheta))$ – вектор весов формирования суммарного канала; $\vec{\tau}$ – вектор величин задержек, определяемый разностью хода сигнала с заданного угла прихода ϑ для каждого из гидрофонов; $+$ – знак эрмитового сопряжения; $\vec{V}_\Delta(\vartheta) = \partial \vec{V}(\vartheta) / \partial \vartheta$.

Учитывая, что при достаточно малом приращении Δ , $\bar{V}_\Delta(\vartheta) \cong \frac{(\bar{V}(\vartheta + \frac{\Delta}{2}) - \bar{V}(\vartheta - \frac{\Delta}{2}))}{\Delta}$, задача сводится к формированию только суммарных каналов в произвольных направлениях ϑ и $\vartheta \pm \frac{\Delta}{2}$ с использованием выходов таких же суммарных каналов СО, сформированных в фиксированных направлениях. Ограничимся случаем использования не более четырех смежных каналов обзора, расположенных с постоянным шагом $\Delta_\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_0$ начиная с индекса -1. Значения ϑ будем рассматривать в пределах от ϑ_0 до $\vartheta_0 + \Delta_\vartheta / 2$. Задача интерполяции состоит в получении оценки $z(\vartheta)$ в виде

$$z(\vartheta) = \bar{A}(\vartheta)^+ W^+ \bar{X}, \quad (2)$$

где $\bar{A}(\vartheta)$ – вектор коэффициентов интерполяции, $W = [\bar{V}(\vartheta_0 - \Delta_\vartheta), \bar{V}(\vartheta_0), \bar{V}(\vartheta_0 + \Delta_\vartheta), \bar{V}(\vartheta_0 + 2\Delta_\vartheta)]$ – матрица весов формирования каналов СО.

Значение $\bar{A}(\vartheta)$, оптимальное по критерию минимума среднеквадратической ошибки весовых коэффициентов формирования каналов:

$$P = (\bar{V}(\vartheta) - W\bar{A}(\vartheta))^+ (\bar{V}(\vartheta) - W\bar{A}(\vartheta)) \xrightarrow{A} \min. \quad (3)$$

имеет вид:

$$\bar{A}(\vartheta) = (W^+ W)^{-1} W^+ \bar{V}(\vartheta). \quad (4)$$

Точность интерполяции весовых коэффициентов зависит, от ширины характеристики направленности $\Delta_{0.7}$, шага формирования предварительных каналов $\Delta_\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_0$, где ϑ_0 и ϑ_1 – направления формирования предварительных каналов, ближайших слева справа к направлению наблюдения ϑ соответственно, а также разности $\vartheta - \vartheta_0$.

На рис.1 и 2 приведены значения ошибок смещения оценки пеленга в зависимости от направления прихода сигнала относительно канала СО с направлением ϑ_0 для случая линейной эквидистантной антенной решетки.

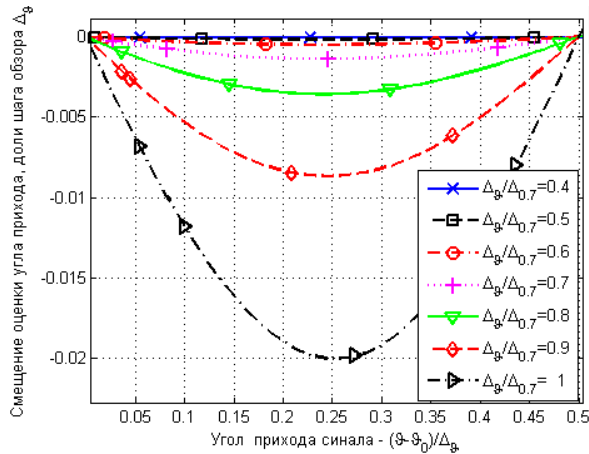


Рис.1 Смещение оценки пеленга при оптимальной интерполяции.

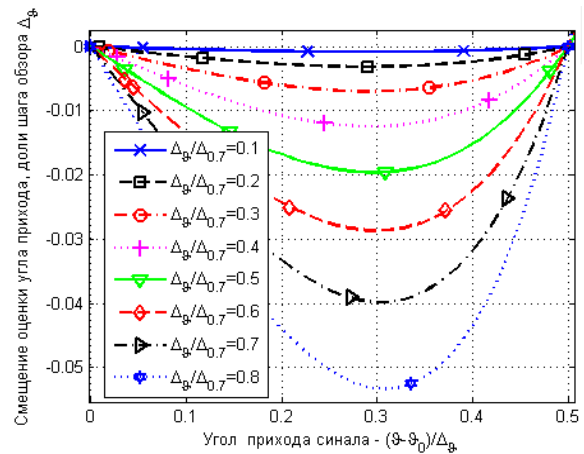


Рис.2 Смещение оценки пеленга при квадратичной интерполяции.

На рис. 3 и 4 приведены графики зависимости потерь в потенциальной точности пеленгования при использовании оптимальной интерполяции в стационарном случае (рис.3) и в случае перемещения цели на интервале измерения на половину ширины характеристики направленности (ХН) на верхней частоте диапазона (рис.4).

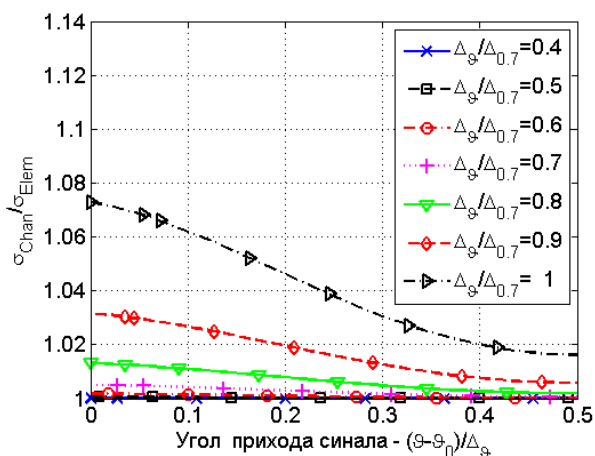


Рис.3 Потери в потенциальной точности пеленгования в стационарной ситуации

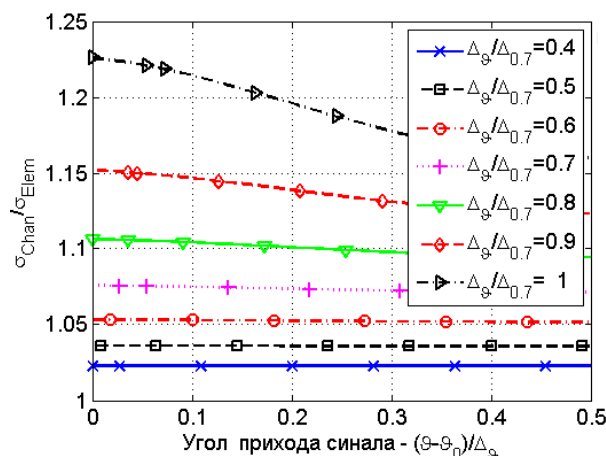


Рис.4 Потери в потенциальной точности пеленгования при перемещении цели на интервале измерения на половину ширины ХН.

Выводы.

1. Построение по выходу СО пеленгатора, практически не отличающегося по эффективности от оптимального, возможно при использовании оптимальной интерполяции и шаге обзора, не превышающем 0.8 – 0.9 ширины ХН по уровню 3 дБ на верхней частоте рабочего диапазона.
2. Применение квадратичной интерполяции, кардинально более простой в реализации, обеспечивает получение аналогичного результата при шаге обзора, не превышающем 0.3 – 0.4 ширины ХН на верхней частоте рабочего диапазона при условии локализации фазового центра формирования ХН в районе центра тяжести рабочего пятна антенны.
3. Предпочтительной в инженерном плане является двухэтапная процедура, на первом этапе которой с использованием оптимальной интерполяции производится увеличение числа каналов СО при соответствующем уменьшении шага их формирования, а также приведение фазовых центров ХН каналов к центрам тяжести рабочих пятен. На втором этапе применяется квадратичная интерполяция для формирования приемных каналов в необходимых направлениях измерения.
4. В условиях применения адаптивной обработки сигналов в СО интервал измерения угла прихода может вынужденно совпадать с интервалом адаптации. В этом случае величина изменения направления прихода измеряемого сигнала относительно каналов СО на интервале адаптации, не должна превышать половины ширины ХН по уровню 3 дБ на верхней частоте диапазона.
5. В случае применения антенн сложной формы может оказаться необходимым изменение приведенных значений параметров алгоритмов в сторону уменьшения.
6. Направления развития рассмотренного подхода к построению систем АС состоят в поиске путей реализации аналога суммарно – разностного метода, применяемого для оценки спектра сигнала при использовании схемы Гванеллы, а так же в поиске путей решения задачи оптимизации пеленгования по выходу СО в условиях флуктуации волновых фронтов измеряемых сигналов.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-08-00253.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Mc. Donald V.H., Shultheiss P.M.** Optimum Passive Bearing Estimation in Spatially incoherent Noise Environment. JASA. 1969. vol. 46. №1(1).
2. **М. Е. Шевченко, В. Н. Малышев, Д. Н. Файзуллина** Совместное обнаружение и пеленгование с использованием коммутируемой антенной решетки// Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2015. Вып. 5. С. 33–39.
3. **Малышкин Г.С.** Экспериментальная проверка эффективности быстрых проекционных алгоритмов //«Акустический журнал». т. 65. №6. 2019.

4. **Мельканович В.С.** Адаптивный алгоритм ограничения мощности локальных помех по выходу каналов обзора шумопеленгатора // Труды российской научно-практической конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах» УМАС-2018. С. 191-201.
5. **Г.С. Малышкин.** Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 1 Оптимальные методы, СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2011, 400 стр.

V.S.Melkanjvich (JSC «Concern «CNRI «Electropribor», St. Petersburg, Russia). **A direction finder construction at the exit of the space survey system.**

Abstract. The problem of synthesis of a direction finding algorithm based on a sample composed of the output signals of a limited number of channels of a circular view of a noise direction finder is considered. The problem is formulated as a search for the maximum of the likelihood function by its lattice representation. Variants of using optimal and polynomial interpolation are considered. The errors of displacement and loss of potential accuracy are estimated depending on the dimension of the sample, the angular step of the survey, as well as on the magnitude of the target movement over the measurement interval. The advantage in potential accuracy of the proposed approach over the traditional approach to constructing direction finding paths based on the Guanella scheme is shown.

В.С. МЕЛЬКАНОВИЧ
(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПО ВЫХОДУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ

Рассмотрены пути преодоления проблем, вызываемых специфической асимметрией боковых лепестков каналов, формируемых по выходу актуальных для подводных роботов цилиндрических антенных решеток с горизонтальной образующей. Предложено алгоритмическое решение, основанное на использовании адаптивного ограничения мощности сигналов для решения задач обнаружения – пеленгования в сочетании с неадаптивным приемом или алгоритмом Кейпона для оценки спектральных и корреляционных характеристик сильных сигналов.

Введение. Текущий момент развития гидроакустических средств можно охарактеризовать как момент взрывного развития гидроакустики подводных роботов. При многочисленных вариантах предназначения подводных роботов наиболее распространенной их формой является цилиндр большого удлинения, что делает естественным применение антенн цилиндрической формы с горизонтальной образующей из соображений максимизации апертуры. Специфика таких антенн, затрудняющая интерпретацию результатов обзора, в особенности для необитаемых аппаратов, состоит в том, что при использовании сетки направлений обзора, с постоянными значениями шага по углу места (УМ) и азимуту, линии расположения боковых лепестков оказываются кривыми с переменным наклоном, зависящим от направления прихода сигнала по УМ. Азимутальное смещение боковых лепестков лучей при наблюдении на разных УМ приводит к расширению засветки слабых сигналов локальными помехами и возникновению ложных обнаружений, для лучей, приходящих под большими УМ, в особенности при приходе вне сектора обзора по УМ. Дополнительной причиной ложных обнаружений выступает расхождение по азимуту боковых лепестков лучей сигнала, приходящих по одинаковому азимуту при разных УМ, а также боковых лепестков разных сигналов и помех.

Задача настоящей работы состоит в поиске адаптивных алгоритмов обработки сигналов для антенн цилиндрической формы с горизонтальной образующей, обеспечивающих минимизацию ложных обнаружений и повышение устойчивости обнаружения и пеленгования слабых сигналов к действию помех.

Основная часть. Для исследования была выбрана эквидистантная антенная решетка, составленная из 16 линеек по 96 гидрофонов с соотношением длины образующей к диаметру равному четырем и наклоне по углу места -20 градусов при раскрыве 53 градуса.

На рис. 1 представлен пример моделирования в октавной полосе ситуации, параметры моделируемых сигналов которой соответствуют таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Параметры моделируемых сигналов								
Параметр\Номер сигнала	1	2	3	4	5	6		7
						Луч 1	Луч 2	
Азимут, град	-40	-30	0	10	30	40	40	65
Угол места, град	-30	0	0	-7	4	0	15	5
С/Ш по выходу канала, дБ	43	-6.3	34	-0.35	-0.35	34	54	14

Рассмотрены представляющиеся перспективными следующие адаптивные алгоритмы:

1. Ограничения мощности помех (ОМП) по выходу элементарных каналов антенны [1].
2. ОМП по выходу сформированных каналов обзора [2].
3. Кейпона [3] в варианте реализации по короткой выборке по выходу элементарных каналов:

$$P_{\text{Cap}} = \frac{\mu^2 V^+ X (X^+ X + \mu I)^{-2} X^+ V}{(L - V^+ X (X^+ X + \mu I)^{-1} X^+ V)^2}, \quad (1)$$

где P_{cap} – выходная мощность; μ – регуляризационная поправка; V – вектор весов формирования канала; X – матрица входной выборки размерности K на L , $K=20$ – размер выборки (число временных реализаций); L – число гидрофонов в антенне.

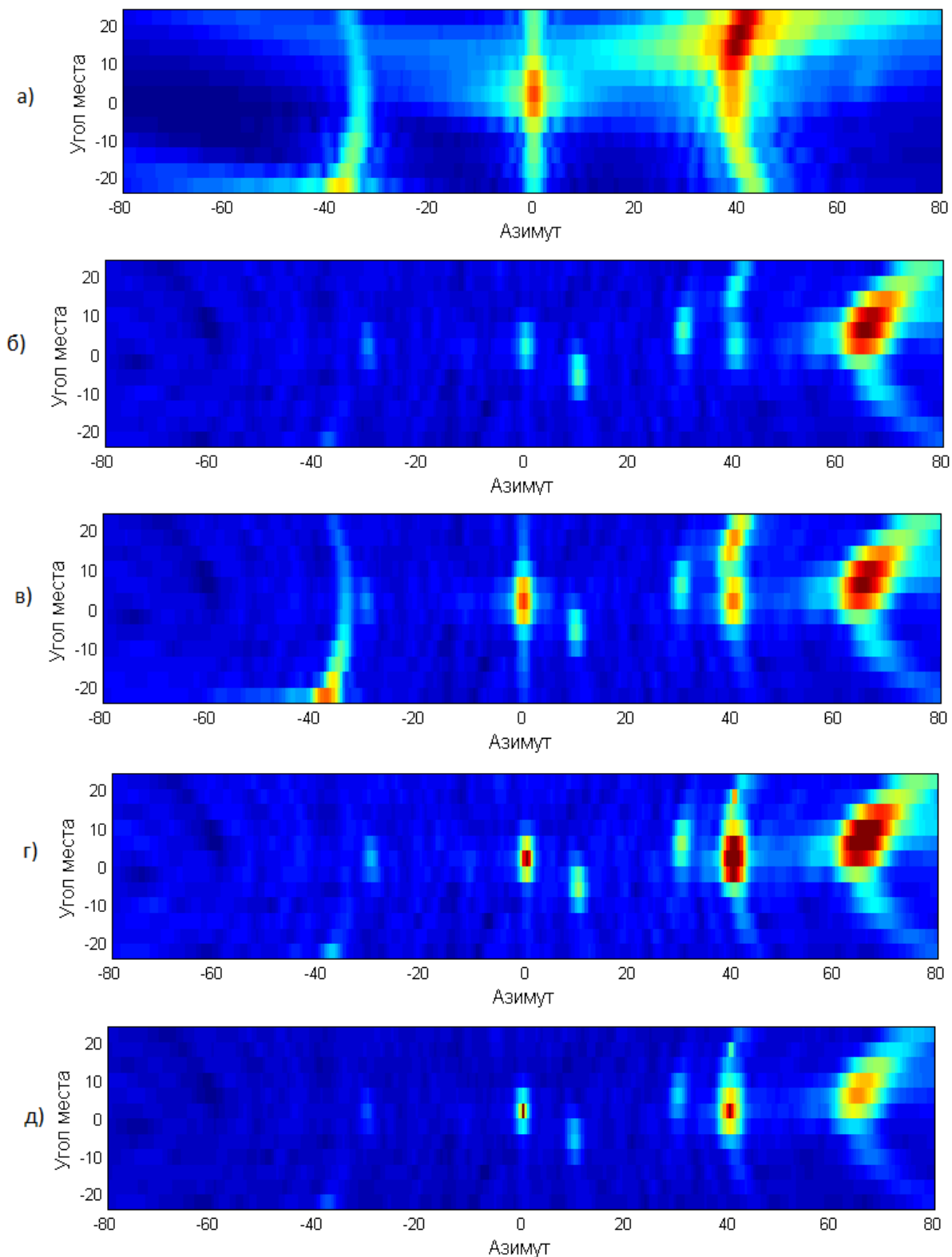


Рис.1 Результат обзора пространства с использованием неадаптивного приема (а), ОМП по выходу элементов антенны (б), ОМП по выходу сформированных каналов (в), алгоритма Кейпона (г), алгоритма Борджотти-Лагунаса (д).

4. Борджотти – Лагунаса [4] в варианте реализации по короткой выборке, также по выходу элементарных каналов антенны:

$$P_{BL} = \frac{\mu^2 V^+ X (X^+ X + \mu I)^{-2} X^+ V}{(L - V^+ X (X^+ X + \mu I)^{-1} X^+ V) - \mu V^+ X (X^+ X + \mu I)^{-2} X^+ V}. \quad (2)$$

Анализ результатов моделирования показывает, что специфическим мешающим фактором является характерное для рассматриваемой антенны азимутальное смещение сигнальных откликов при несовпадении по УМ направления прихода сигнала и направления наблюдения. Результатом в условиях, когда ширина откликов по УМ в разы больше, чем по азимуту, является увеличение числа ложных обнаружений. Для уменьшения этого эффекта предлагается уменьшить ширину по УМ зон превышения порога откликами всех принимаемых сигналов. Рассмотренные адаптивные алгоритмы в целом обеспечивают решение этой задачи, имея при этом свои достоинства и недостатки.

В частности, алгоритм ОМП по элементарным каналам (рис.1б) обеспечивает выравнивание мощности всех сигналов по уровню, несколько превышающему уровень распределенной помехи, обеспечивая в том числе и эффективное подавление сигнала, приходящего на антенну вне сектора обзора по УМ (рис.1 б), но требует при этом тонкой параметрической настройки, а также имеет ограниченные возможности при подавлении относительно маломощных помех.

Алгоритм ОМП по выходу обзора (рис.1 в) лишен этих недостатков, но имеет ограниченную эффективность при подавлении сигналов, приходящих вне сектора обзора.

Алгоритм Кейпона имеет пониженную, по отношению к упомянутым алгоритмам, эффективность разрешения слабых сигналов на фоне помех, а также может вызывать искажения отклика особо сильных сигналов. Алгоритм Борджотти-Лагунаса обладает наилучшей из рассмотренных разрешающей способностью, но при этом может иметь потери в помехоустойчивости по отношению к экстремально слабым и экстремально сильным сигналам.

Выводы.

1. Адаптивная обработка сигналов, осуществляющая подавление боковых лепестков помех является необходимым элементом при использовании цилиндрических антенн с горизонтальной образующей. Без нее происходит кардинальное понижение эффективности в многосигнальных ситуациях вследствие возникновения устойчивых ложных обнаружений.
2. Необходимость подавления сигналов, поступающих с направлений вне сектора обзора требует реализации алгоритмов в базисе элементарных каналов. В то же время наилучшие результаты по разрешению обеспечиваются алгоритмами, реализуемыми в базисе сформированных каналов обзора.
3. В качестве направления развития целесообразно найти пути объединения алгоритмов ОМП по входу и выходу системы обзора, совмещающие их достоинства и свободные от недостатков.
4. Наиболее эффективным представляется одновременное применение нескольких алгоритмов, например, одного из рассмотренных в настоящей работе алгоритмов для обнаружения и пеленгования в сочетании с неадаптивным обзором, либо алгоритмом Кейпона, традиционно реализуемым по выходу ограниченного числа каналов обзора [5,6], в целях разрешения сильных сигналов и оценки их спектральных и корреляционных характеристик.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-08-00253.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Малышкин Г.С.** Экспериментальная проверка эффективности быстрых проекционных алгоритмов // «Акустический журнал». т.65. №6. 2019.
2. **Мельканович В.С.** Адаптивный алгоритм ограничения мощности локальных помех по выходу каналов обзора шумопеленгатора // Труды российской научно-практической конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах» УМАС-2018. С.191-201.

3. **Ратынский М.В.** Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2004. 199 с.
 4. **Г.С. Малышкин.** Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 2 Адаптивные методы, СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2011, 374 стр.
 5. **Ильин И. М.** Оптимизация обработки сигналов на выходе сформированного веера характеристик направленности. – Вопросы судостроения, сер. «Общетехническая», вып. 75, 1984, с. 49–54.
 6. **S. Okumura, H. Taki, and T. Sato,** Stabilization techniques for high resolution ultrasound imaging using beamspace capon method Proc. IEEE ICASSP, 2015, p. 892-896.
-

V.S.Melkanjvich (JSC «Concern «CNRI «Electropribor», St. Petersburg, Russia). **Features of implementation of adaptive signals processing for a cylindrical antenna array with a horizontal generatrix**

Abstract. The ways of overcoming the problems caused by the specific asymmetry of the side lobes of the channels formed at the output of cylindrical antenna arrays with a horizontal generatrix, which are relevant for underwater robots, are considered. An algorithmic solution is proposed based on the use of adaptive signal power limitation for solving detection-direction finding problems in combination with non-adaptive reception or the beamspace Capon algorithm for assessing the spectral and correlation characteristics of strong signals.

В. С. БЫКОВА, Л. А. МАРТЫНОВА, А. И. МАШОШИН, И. В. ПАШКЕВИЧ
(АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", Санкт-Петербург)

СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Описана алгоритмическая структура разработанного авторами стенда отработки системы управления автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Стенд позволяет отрабатывать алгоритмы управления, реализуемые в системе управления АНПА, а также взаимодействие систем АНПА в процессе выполнения миссии. Приведены результаты функционирования системы управления АНПА в процессе выполнения типовых миссий АНПА.

Введение. Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) являются перспективным средством исследования и освоения Мирового океана [1–4].

Наиболее актуально применение АНПА в районах, покрытых льдом, а также на больших глубинах, недоступных для подводных лодок.

Вместе с тем, поскольку АНПА являются автономно действующими подводными роботами, их создание сопряжено с решением значительного количества научно-технических проблем. При этом одной из ключевых проблем является создание эффективной системы управления, назначением которой является максимально точное выполнение маршрутного задания путём управления в реальном времени большим количеством разнородных технических средств и при этом функционировать в полностью автоматическом режиме в непрерывно изменяющейся внешней зачастую агрессивной среде при ограниченных возможностях автономной подводной навигации и связи с пунктом управления [5–10].

Поскольку отработка алгоритмов, реализуемых системой управления АНПА, в реальных условиях затруднена, они должны отрабатываться на берегу с использованием специального стенда, воспроизводящего условия выполнения реальной миссии.

Целью работы является краткое изложение разработанного авторами стенда для отработки системы управления АНПА.

Аппаратная и алгоритмическая структура стенда. Стенд построен на базе высокопроизводительной вычислительной системы с распределённой структурой и оснащён развитой системой отображения.

Алгоритмическая структура стенда приведена на рис.1. Блоки на рис.1, закрашенные жёлтым цветом, являются программными моделями систем АНПА. Блоки, закрашенные голубым цветом, отвечают за моделирование входных сигналов антенн и датчиков АНПА с учётом гидроакустических условий распространения сигналов и помех, а также ошибок их измерения. Каждый блок, независимо от того, какие алгоритмы он реализует, имеет выход на отображение результатов моделирования.

Все программные модели систем АНПА реализованы в виде независимых вычислительных процессов, запускаемых диспетчером по таймеру.

Перед моделированием миссии в память системы управления загружается разработанное оператором маршрутное задание, включающее ряд формализованных документов, в том числе, описание маршрута АНПА в виде последовательности галсов на протяжении всей миссии. Каждый галс описывается: координатами и временем его начала и конца; параметрами движения АНПА, а также перечнем заданий, которые АНПА должен выполнить на галсе.

Система управления последовательно считывает из маршрутного задания описание галсов и организует предписанные описанием движение АНПА и выполнение заданий.

Блоки, отвечающие за моделирование входных сигналов антенн и датчиков АНПА, имитируют:

- географические и гидроакустические условия в районе миссии АНПА;
- навигационно-гидрографические средства, установленные в районе (сигналы спутниковой и радио- навигационной систем, сигналы донных маяков-ответчиков, пассивные подводные ориентиры);
- подвижные подводные и надводные объекты;

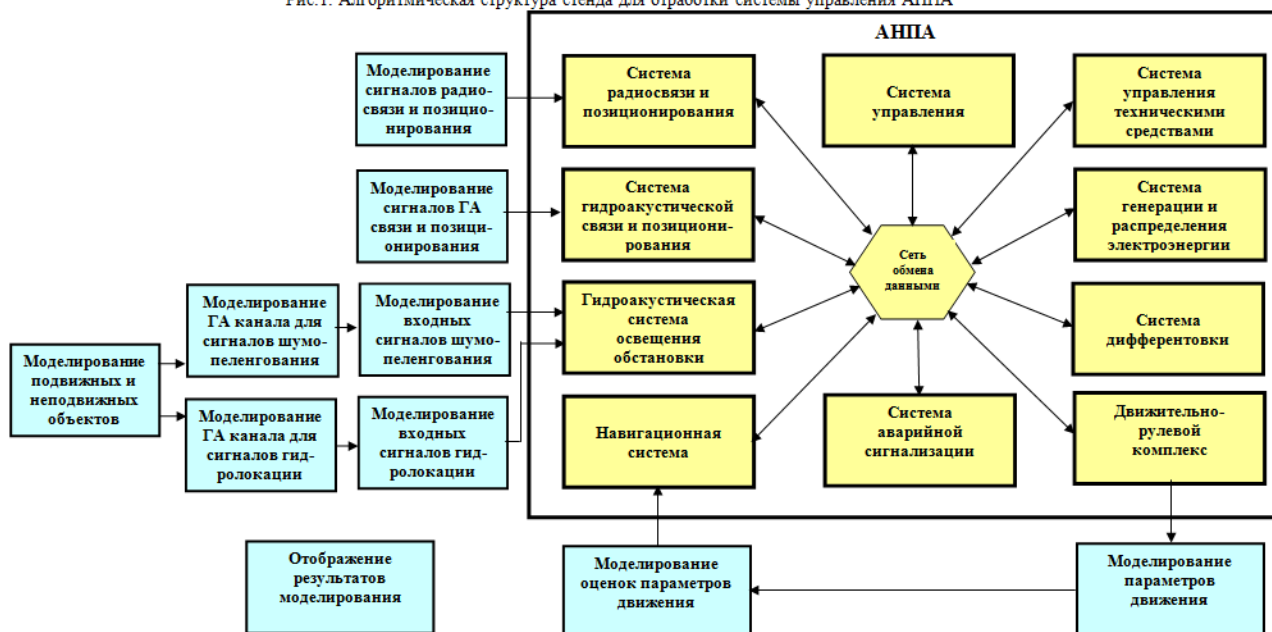
- неподвижные препятствия (береговая черта, подводные горы);
- входные сигналы режимов гидролокации и шумопеленгования гидроакустической системы освещения обстановки;
- входные сигналы навигационных датчиков измерения курса, скорости, глубины АНПА и глубины под килём;
- входные сигналы систем радио- и гидроакустической связи;
- динамику расхода запаса электроэнергии;
- динамику выхода из строя технических средств АНПА.

Имитируемые сигналы поступают на входы моделей соответствующих систем АНПА, где преобразуются в выходные данные, передаваемые в систему управления. С использованием этих данных система управления принимает решения, которые в форме команд поступают на входы соответствующих систем АНПА.

Результаты работы каждого блока на рис.1 передаются в систему технологического отображения, где они отображаются преимущественно в графическом виде, что позволяет разработчику системы управления следить за корректностью её работы.

В полном тексте доклада приводится иллюстрация работы стенда на примере конкретной миссии.

Рис.1. Алгоритмическая структура стенда для отработки системы управления АНПА



Заключение. Создание эффективной системы управления АНПА является главной проблемой в развитии подводной робототехники. Поскольку отработка алгоритмов, реализуемых системой управления АНПА, в реальных условиях затруднена, они должны отрабатываться на берегу с использованием специального стенда, воспроизводящего условия выполнения реальной миссии.

В работе приводится краткое изложение разработанного авторами стенда для отработки системы управления АНПА, позволяющего отрабатывать систему управления, а также её взаимодействие с другими системами АНПА.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00253).

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. – М.: Наука, 2005, 400 с.
2. Инзарцев А.В. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. №2 (4). С.5-14.

3. Боженков Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011. Т. 4, №1. С.4-68.
4. Millar G., Mackay L. Maneuvering Under the Ice // Sea Technology. 2015. V.56. No. 4. P.35-38.
5. Инзарцев А.В., Павин А.М. Язык планирования миссии на основе стандарта GeoJSON // Подводные исследования и робототехника, 2019, №2(28), с.32-40.
6. Спорышев М.С., Щербатюк А.Ф. Об использовании групп морских роботов для охраны водных акваторий: краткий обзор // Подводные исследования и робототехника, 2018, №2(26), с.21-27.
7. Кирьянов А.В. Организация централизованного управления движением строя разведывательно-поисковой группы АНПА. – МРЭ, 2018, №2 (64), с.2-6.
8. Опарин А.И., Печников А.Н. О некоторых проблемах формирования и применения группировок разнородных мобильных робототехнических комплексов и подходах к их решению. – Подводные исследования и робототехника, 2017, №1 (23), с.14-22.
9. Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода // Подводные исследования и робототехника. 2019. №2 (28). С.23-31.
10. Innocenti B. A multi-agent architecture with distributed coordination for an autonomous robot. Ph.D. dissertation – Universitat de Girona, 2009.

V.S. Bykova, L.A. Martynova, A. I. Mashoshin, I.V. Pashkevich (SRC Electropibor, JSC , Saint-Petersburg). **Stend for testing the control system of an autonomous unmanned underwater vehicle**

Abstract. The algorithmic structure of the stand developed by the authors for testing the control system of an autonomous unmanned underwater vehicle (AUV) is described. The stand allows you to work out control algorithms implemented in the AUV control system, as well as the interaction of AUV systems during the mission. The results of the functioning of the AUV control system in the process of performing typical AUV missions are given.

В. С. БЫКОВА, А. И. МАШОШИН, И. В. ПАШКЕВИЧ
(АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", г. Санкт-Петербург)

ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ

В работе рассматриваются задачи, которые целесообразно возложить на необитаемые подводные аппараты, базирующиеся на подводных лодках, а также их техническое оснащение для решения этих задач.

Введение. Одним из основных направлений развития подводной робототехники как в России, так и за рубежом является оснащение подводных лодок (ПЛ) необитаемыми подводными аппаратами (НПА). На эту тему в отечественной и зарубежной печати имеется большое количество публикаций (например, [1-18]).

Целью доклада является изложение взглядов авторов на задачи, которые целесообразно возложить на НПА, базирующиеся на ПЛ, а также описать модели их применения и их техническое оснащение для решения этих задач.

Задачи, которые целесообразно возложить на НПА, базирующиеся на ПЛ. Поскольку боевая эффективность ПЛ определяется, главным образом, применяемым оружием, на сегодняшний день трудно сформулировать задачи НПА, которые бы обеспечили повышение боевой эффективности ПЛ. Вместе с тем НПА может существенно повлиять на второе тактическое свойство ПЛ – её боевую устойчивость, т.е. сохранение своего боевого потенциала до завершения выполнения боевой задачи. Повышение боевой устойчивости ПЛ за счёт использования НПА может быть достигнуто путём:

- повышения скрытности ПЛ;
- обнаружения мин впереди по курсу ПЛ;
- повышения дальности обнаружения малошумных противолодочных сил противника;
- обеспечения дезинформации противника.

Кроме повышения боевой устойчивости ПЛ, НПА могут способствовать решению ряда дополнительных задач, в частности:

- поиска, осмотра и установления связи с подводными аварийными объектами ВМФ;
- отработки новых методов поиска, обнаружения, классификации и определения координат подводных объектов;
- проведения научных исследований в интересах ВМФ.

Следует заметить, что в приведенный перечень задач, которые целесообразно возложить на НПА, базирующиеся на ПЛ, включены только те задачи, которые могут быть эффективно решены с учётом достигнутого уровня развития НПА. В дальнейшем при повышении уровня развития НПА приведённый перечень задач может расширяться.

Рассмотрим модели применения НПА при решении перечисленных задач.

Применение НПА для повышения скрытности ПЛ. Учитывая создание развитыми зарубежными странами глобальной системы надводного наблюдения и её постоянное совершенствование, главной причиной потери скрытности отечественных ПЛ является их всплытие в надводное/перископное положение. Для устранения этой причины необходимо исключить необходимость всплытия ПЛ на протяжении всего похода [18].

Необходимость всплытия ПЛ возникает в следующих случаях:

- при нахождении ПЛ в районе боевого патрулирования для получения сигнала боевого управления для применения ракетного оружия по береговым либо по морским целям;
- для проведения плановых и внеплановых сеансов радиосвязи с командным пунктом и взаимодействующими силами;
- для коррекции навигационных данных по сигналам спутниковых навигационных систем (СНС).

Заметим, что во всех перечисленных случаях речь идет о приеме/передаче данных по радиолобо спутниковому каналу, что на сегодняшний день, несмотря на наличие на ПЛ специальных

средств приема сообщений под водой, осуществить в необходимом объеме и с необходимой скоростью без всплытия в перископное положение не представляется возможным.

Задачу приема/передачи данных без всплытия ПЛ можно решить с помощью ретранслятора, роль которого будет играть НПА [18].

Применение НПА для поиска мин впереди по курсу ПЛ. Поиск мин впереди по курсу ПЛ является одной из наиболее эффективно решаемых задач, возлагаемых на НПА [18]. Обусловлено это тем, что ПЛ имеет ограниченные возможности по поиску мин. В частности, оборудование ПЛ не позволяет на безопасном расстоянии эффективно обнаруживать даже якорные мины, не говоря уже о наиболее распространенных в наше время донных и особенно заиленных минах. Эффективность применения НПА для решения этой задачи обусловлена следующими факторами:

- движением НПА на расстоянии от ПЛ, безопасном при взрыве мины, спровоцированным НПА;
- оснащением НПА маломанитным корпусом и специальными разночастотными гидроакустическими и телевизионными средствами поиска мин;
- возможностью движения НПА в непосредственной близости от дна, что повышает эффективность работы гидроакустических и телевизионных средств.

Применение НПА для повышения дальности обнаружения малозумных противолодочных сил. Основным фактором обеспечения боевой устойчивости ПЛ при патрулировании в назначенном районе в ожидании сигнала боевого управления является своевременное обнаружение противолодочных сил противника, что позволяет заблаговременно принять эффективные меры противодействия (например, уклонение от обнаружения либо упреждающая атака). В первую очередь это относится к обнаружению малозумных противолодочных сил – ПЛ и в перспективе НПА.

Радикально повысить дальность обнаружения малозумных целей и при этом обеспечить преимущество в дальности их обнаружения можно, применяя НПА в качестве выносных гидроакустических излучателей подсветки [16].

Применение НПА для обеспечения дезинформации противника. Как известно, дезинформация противника играет большую роль в подводной войне. Дезинформация важна для отрыва от преследования, для отведения торпед, атакующих ПЛ, для введения противника в заблуждение относительно плана проводимой операции и наряда сил. В настоящее время средствами дезинформации противника являются имитаторы подводных лодок (ИПЛ), имитирующие первичное и/или вторичное поле ПЛ. Несмотря на их ограниченные возможности, обусловленные небольшими габаритами, современные имитаторы достаточно эффективно справляются с решением первых двух задач – отрыва ПЛ от преследования и отведения торпед. Однако их использование для решения третьей задачи не является эффективным.

НПА, имеющие, как правило, большие габариты, чем имитаторы ПЛ, при их специальном оснащении могут эффективно решать все 3 задачи [17]. Путем использования группы из нескольких НПА можно эффективно имитировать широкомасштабную подводную операцию и отвлечь противолодочные силы противника на ложное направление.

Кроме дезинформации противника, НПА, имитирующие ПЛ противника, могут использоваться для отработки экипажа ПЛ по решению противолодочных задач [17], а также для проверки эффективности и отработки новых методов подводной войны, например, методов поиска, обнаружения, классификации и определения координат подводных объектов.

Применение НПА для поиска, осмотра и установления связи с подводными аварийными объектами ВМФ. Поиск аварийных объектов ВМФ не терпит отлагательств. Поэтому к решению этой задачи привлекаются все силы ВМФ, находящиеся в акватории.

Современные ПЛ способны эффективно обнаруживать акустические сигналы, подаваемые различными способами с борта аварийной ПЛ: излучением гидролокационных и связных сигналов, периодическими ударами по корпусу. Вместе с тем специализированными средствами

поиска объектов на дне современные ПЛ не оборудованы. Поэтому решение этой задачи целесообразно поручить специально оборудованным НПА [18].

НПА способны обнаружить объект, лежащий на дне, произвести его осмотр и попытаться связаться с ним в одном из режимов гидроакустической связи.

Облик НПА, размещаемых на ПЛ. При обосновании облика НПА, размещаемых на ПЛ, необходимо учесть следующие факторы:

- разнообразие задач, которые должны решать эти НПА, требующее оснащение НПА различным оборудованием;
- ограниченную эффективность применения НПА в автономном режиме;
- ограниченное место на ПЛ для размещения НПА;
- высокую стоимость разработки каждого образца НПА.
- Учет этих факторов приводит к следующим выводам:
- для экономии средств на разработку и изготовление НПА ПЛ целесообразно оснащать однотипными многофункциональными НПА, предназначенными для решения широкого круга задач, в том числе не связанных с обеспечением деятельности ПЛ. Размеры НПА должны быть согласованы с имеющимися на ПЛ средствами выпуска ракет, торпед, а также специальных люков;
- оборудование НПА должно делиться на базовое и опционное. Базовое (постоянное) оборудование должно обеспечивать безопасное движение НПА по заданному маршруту, всплытие/погружение НПА, причаливание НПА к ПЛ, а опционное – решение описанных выше задач. Замена одного опционного оборудования на другое должно осуществляться преимущественно в условиях береговой базы. Вместе с тем желательно предусмотреть возможность замены оборудования непосредственно на ПЛ;
- всё радиоэлектронное вооружение НПА (как базовое, так и опционное) должно быть объединено в интегрированную систему управления (ИСУ), что позволяет обеспечить высокую эффективность её функционирования за счет сквозной оптимизации алгоритмов, а также ограниченные габариты и стоимость вследствие глубокой аппаратно-программной унификации [10];
- все НПА должны быть способны функционировать в двух режимах – автономном и телеуправления. Если позволяют условия, режим телеуправления должен быть основным, поскольку даёт возможность решать задачи с более высокой эффективностью. С использованием современных технологий телеуправление НПА по волоконно-оптическому кабелю может осуществляться на дистанциях до 20 км [2], что вполне достаточно для решения большинства из описанных выше задач. Автономный режим должен задействоваться в случае обрыва кабеля, а также в случаях, когда необходимо решать задачи при удалении НПА от ПЛ, превышающем длину кабеля. Автономный режим также необходим при использовании НПА для решения других задач, не связанных с обеспечением деятельности ПЛ.

Заключение. Применение НПА, базирующихся на ПЛ, позволит обеспечить повышение боевой устойчивости ПЛ за счёт:

- повышения скрытности ПЛ;
- обнаружения мин впереди по курсу ПЛ;
- повышения дальности обнаружения малозумных противолодочных сил противника;
- дезинформации противника.

Также НПА могут способствовать решению ряда дополнительных задач.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 19-08-00253).

ЛИТЕРАТУРА

1. Илларионов Г.Ю. Базирование обитаемых подводных аппаратов на подводных носителях // Подводные исследования и робототехника. 2007, № 1 (3). С. 27-39.

2. Сиденко К.С., Илларионов Г.Ю. Подводная лодка и автономный необитаемый подводный аппарат // Морская радиоэлектроника. 2008, № 2 (24). С.2-11.
3. Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р. Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ: Современные технологии и перспективы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011, Т. 4, №3. С.37-48.
4. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 2013. №5. С.79-88.
5. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС ведущих европейских стран // Зарубежное военное обозрение. 2016. №3. С.79-85.
6. Кириянов А.В. Организация централизованного управления движением строя разведывательно-поисковой группы АНПА // Морская радиоэлектроника. 2018. №2 (64). С.2-6.
7. Аквилянов Ю. О взглядах командования ВМС ФРГ на использование АНПА // Зарубежное военное обозрение. 2015. №3. С.56-63.
8. Садовский А.Ф. Модель взаимодействия носителя с погруженным АНПА по гидроакустическому каналу // Труды Крыловского ГНЦ. 2018. № 1 (383). С.13-118.
9. Курносоев А.А., Армашев К.И., Дорофеев В.Ю. Система обеспечения безопасности РФ в Арктическом регионе на основе мобильных подводных робототехнических платформ: обоснование необходимости // Морской вестник. 2016. № 4 (60). С.87-88.
10. Жилиев А. Применение боевых роботов как асимметричный ответ при нападении с моря // Морской сборник, 2015. №12. С.56-59.
11. Потапов В.И. Применение сил флота в современных условиях // Вестник Академии военных наук. 2011. № 2. С.24-27.
12. Потапов В.И., Благодарный Н.Н. Современное состояние развития подводных аппаратов военного назначения в интересах противоминных действий // Вестник Академии военных наук. 2013. № 3. С.109-112.
13. Быстров Б.В., Пироженов В.А. Методологические основы обоснования концепций самоходных подводных аппаратов // Судостроение. 2013. № 3. С.17-20.
14. Сагайдаков Ф.Р., Чернецова Н.А., Никитина Е.К. Особенности разработки атомных подводных лодок типа "Virginia" ВМС США // Судостроение. 2016. № 6. С.33-38.
15. Underwater robots could soon revolutionize coastal surveillance. <http://www.joebuff.com/essay91.htm> 2006.
16. Fletcher B. Autonomous Vehicles and the Net-Centric Battlespace // International UUV Symposium. 2000.
17. Musk, Wozniak and Hawking urge ban on warfare AI and autonomous weapons // The Guardian. 2015. July. 27.
18. Машошин А.И. Использование внешнего источника подсветки для повышения дальности обнаружения малошумных целей // Морская радиоэлектроника. 2014. №2 (48). С.12-15.
19. Каверинский А.Ю. Имитаторы подводных лодок // Судостроение. 2017. №1. С.18-19.
20. Машошин А.И., Пашкевич И.В. Модели применения необитаемых подводных аппаратов, размещаемых на перспективных ПЛ ВМФ // Морская радиоэлектроника. 2018. № 1 (63). С.20-25.

V.S. Bykova, A. I. Mashoshin, I.V. Pashkevich (SRC Electropibor, JSC , Saint-Petersburg). **Applications for submarine-based unmanned underwater vehicle**

Abstract. The paper discusses the tasks that it is advisable to assign to unmanned underwater vehicles based on submarines, as well as their technical equipment for solving these problems

А.В. ШАФРАНИЮК, В.В. ПРОКОПОВИЧ
(АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", Санкт-Петербург)

СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ПОМЕХИ В ИНТЕРЕСАХ ОТРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В работе рассмотрен подход к построению модели распределённой помехи, которая используется в программном обеспечении технологической части стенда для обеспечения отработки гидроакустических комплексов. Имитация распределённой помехи на антенных решётках является достаточно сложной самостоятельной задачей и важна с точки зрения обеспечения корректного значения ОСП для имитируемых источников шума на входе антенны. Приведены существующие способы имитации распределённой помехи и предложен новый подход, позволяющий устранить существующие недостатки при сохранении высокого уровня производительности алгоритма.

Введение. Основой систем освещения обстановки, используемых в автономных подводных аппаратах (АНПА) для создания модели окружающей среды, являются гидроакустические системы. Такие системы достаточно дорогостоящи в разработке и требуют значительных затрат на отработку алгоритмов и программного обеспечения. Такая отработка обычно производится в морских условиях, однако, в виду тесной связки систем освещения обстановки с системой управления АНПА организовать это достаточно проблематично. Вследствие этого, при использовании развитых имитационных комплексов можно существенно сократить время на разработку гидроакустических систем и соответствующие затраты.

Существуют различные подходы к организации имитационного моделирования на стендовом оборудовании [1-4]. Рассмотрим наиболее адекватный и императивный из них: имитацию выходов приёмных каналов антенных решёток гидроакустических комплексов. В таком имитаторе можно выделить две ключевые задачи: задача формирования отклика антенной решётки на локальный источник звука и на распределённую (как правило, ветровую) помеху. Задаче моделирования последней и посвящён доклад.

Когерентная модель распределённой помехи. Ветровая, как, впрочем, и любая другая распределённая помеха представляется в виде бесконечного количества источников на сфере вокруг антенной решётки, находящихся в зоне Фраунгофера. Причём при равномерном распределении плотности мощности источников по сфере такая помеха будет изотропной, а при неравномерном – анизотропной.

Спектральный отсчёт i_{SS} (индекс опускается для удобства) для i_{SR} -го датчика антенной решётки запишется в виде (после несложных преобразований формулы (1.2.23) из [5, стр. 38]):

$$S(i_{SR}) = \sqrt{P_{whole}} \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} N_{clutter}(\alpha, \beta) e^{w(\alpha, \beta)} e^{\varphi(\alpha, \beta, i_{SR})} \cos(\beta) d\beta d\alpha, \quad (1)$$

где α – курсовой угол, β – угол места, P_{whole} – общая мощность помехи для спектрального отсчёта i_{SS} в диапазоне частот Δf , $N_{clutter}(\alpha, \beta)$ – нормированная мощность помехи, $w(\alpha, \beta)$ – реализация равномерного случайного числа в диапазоне $[0, 2\pi]$, $\varphi(i_{SR})$ – фазовый набег для зоны Фраунгофера для i_{SR} датчика относительно фазового центра антенны, $\varphi(i_{SR}) = -2\pi \frac{f}{c} [(\mathbf{e}(\alpha, \beta), \mathbf{r}_{SR}(i_{SR})) + (\mathbf{e}(\alpha, \beta), \mathbf{r}_{phase})]$, где $f = \Delta f \cdot i_{SS}$, Δf – спектральное разрешение, c – скорость звука в области антенной решётки, $\mathbf{e}(\alpha, \beta)$ – орт в направлении $\{\alpha, \beta\}$, \mathbf{r}_{SR} – координаты датчика антенной решётки, \mathbf{r}_{phase} – координаты фазового центра антенны. Положив $\mathbf{r}_{phase} = 0$, можно упростить $\varphi(i_{SR}) = -2\pi \frac{f}{c} (\mathbf{e}(\alpha, \beta), \mathbf{r}_{SR}(i_{SR}))$.

В большинстве случаев можно положить $N_{clutter}(\alpha) = \text{const}$, а для изотропной помехи и $N_{clutter}(\alpha, \beta) = \text{const}$, однако к существенному упрощению вычисления (1) это не приведёт. Интегрирование (1) представляет достаточно тяжёлый вычислительный процесс. Обычно он реализуется в виде процедуры Монте-Карло [6] в виде:

$$S(i_{SR}) = 2\pi^2 \frac{\sqrt{P_{whole}}}{N_{sample} i_{sample}} \sum N_{clutter}(\alpha, \beta) e^{w(\alpha, \beta)} e^{q(\alpha, \beta, i_{SR})} \cos(\beta), \quad (2)$$

где $N_{sample} > N_{SR}$, N_{SR} – число датчиков в антенне. Для качественного интегрирования обычно выбирают $N_{sample} \geq 3 \dots 5 N_{SR}$. При этом в (2) α и β – реализации случайных равномерно распределённых чисел для каждого i_{sample} (в формуле не приводится зависимость), распределённых соответственно в диапазонах $(0, 2\pi]$ и $(-\pi/2, \pi/2]$. Если в (2) заменить равномерное распределение для β на распределение имеющее плотность $\cos(\beta)$, то (2) можно будет упростить и сократить объём выборки N_{sample} :

$$S(i_{SR}) = 2\pi^2 \frac{\sqrt{P_{whole}}}{N_{sample} i_{sample}} \sum N_{clutter}(\alpha, \beta) e^{w(\alpha, \beta)} e^{q(\alpha, \beta, i_{SR})}. \quad (3)$$

Тем не менее, не смотря на все упрощения, даже в варианте (3), вычислительная сложность приведённой процедуры оказывается высокой. Вследствие этого, в качестве альтернативы используется модель некогерентной распределённой помехи.

Некогерентная модель распределённой помехи. Некогерентная модель описывается выражением:

$$S(i_{SR}, i_{SS}) = \text{invred} \left(P_{red.dB} + k_{clutter.slope.dB} \log_2 \left(\frac{i_{SS} \Delta f}{f_{red}} \right) \right) e^{w(i_{SR}, i_{SS})}, \quad (4)$$

где $P_{red.dB}$ – приведённый уровень помехи в дБ, $k_{clutter.slope.dB}$ – наклон спектра помехи в дБ, f_{red} – частота приведения (1 кГц), $\text{invred}(\square)$ – преобразование уровня в дБ (в полосе 1 Гц) в уровень в Па.

Модель (4) характерна тем, что для ряда антенных решёток она совпадает с моделью (2) на определённой частоте. Так для эквидистантной линейной антенной решётки эта частота составляет $f = 2 \frac{d}{c}$, где d – расстояние между соседними датчиками. Корреляционными свойствами помехи на более низких частотах обычно пренебрегают, т.к. в алгоритмах современных гидроакустических систем используются мощностные соотношения.

Модель (4) обладает очень высокой по сравнению с (2) вычислительной производительностью. Однако такая модель не лишена существенного недостатка.

Для варианта зависимости $S^2(i_{SS}) = \text{const}$ существенных проблем с моделью (4) не возникает, однако подавляющее большинство типов распределённых помех характеризуются

$$S^2(i_{SS}) \neq \text{const}. \text{ Так для ветровой помехи } \frac{S^2(i_{SS})}{S^2(2i_{SS})} = k_{clutter.slope} = -6 \text{ / }.$$

В свою очередь для реальной распределённой помехи и модели (2) в сформированных пространственных каналах [5], наклон изменяется на величину порядка -6 дБ/окт (пропорционально падению коэффициента концентрации). В тоже время для модели (4) в виду некоррелированности данных по датчикам на любых частотах, наклон помехи в каналах будет соответствовать таковому на датчиках антенны. Это свойство модели приведёт к искажению ОСП, как

одного из основных параметров трактов обнаружения в гидроакустических комплексах и приведёт к некорректной обработке алгоритмов и ПО.

Для компенсации этого можно применить подход, описываемый ниже.

Некогерентная корректированная модель распределённой помехи. Задавшись одним ограничением на применимость модели (4) возможно избежать некорректного ОСП в пространственных каналах, а также некорректной величины мощности распределённой помехи в них же. В модели (4) мощность помехи в ПК на нижних частотах занижена, т.к. для модели (2) и реальных условий, благодаря наличию когерентности она будет расти пропорционально падению коэффициента концентрации антенны.

Рассмотрим мощность спектра помехи в ПК:

$$P_{sc}(f) \propto \frac{k_{conc}\left(f_{\frac{\lambda}{2}}\right)}{f^2 k_{conc}(f)}, \quad (5)$$

где $P_{sc}(f)$ – мощность помехи в ПК на частоте f , k_{conc} – коэффициент концентрации антенны в направлении рассматриваемого ПК, $f_{\frac{\lambda}{2}}$ – частота на которой модели (2) и (4) наиболее близки.

В случае модели (4) выражение (5) будет представлено в виде:

$$P_{sc}(f) \propto \frac{1}{f^2}. \quad (6)$$

Таким образом, для его компенсации необходимо ввести поправочный коэффициент вида:

$$k_{clutter.slope.corr.dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{k_{conc}\left(f_{\frac{\lambda}{2}}\right)}{k_{conc}\left(0.5 f_{\frac{\lambda}{2}}\right)} \right) = \text{const}, \quad (7)$$

где $f_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{c}{2 \langle d_{SR.near} \rangle}$, $\langle d_{SR.near} \rangle$ – среднее расстояние между ближайшими датчиками в антенной решётке.

Тогда модель (4) с учётом баланса мощности на частоте $f_{\frac{\lambda}{2}}$ (равенства моделей (2) и (4) в ПК) перепишется в виде:

$$S(i_{SR}, i_{SS}) = \dots \\ \dots = \text{invred} \left(P_{red.dB} + (k_{clutter.slope.dB} + k_{clutter.slope.corr.dB}) \log_2 \left(\frac{i_{SS} \Delta f}{f_{red}} \right) + P_{corr.dB} \right) e^{w(i_{SR}, i_{SS})}, \quad (8)$$

где $P_{corr.dB} = P_{red.dB} - k_{clutter.slope.corr.dB} \log_2 \left(\frac{f_{\frac{\lambda}{2}}}{f_{red}} \right)$, $k_{clutter.slope.corr.dB}$ – поправочный коэффициент в дБ/окт. При этом для плоских антенн $k_{clutter.slope.corr} = -6$ / , а для линейных $k_{clutter.slope.corr} = -3$ / .

На рисунке 1 приведены водопадные развёртки индикаторного ОСП для модели (4) а) и для модели (8) б), где явно видно влияние коррекции на нижних частотах.

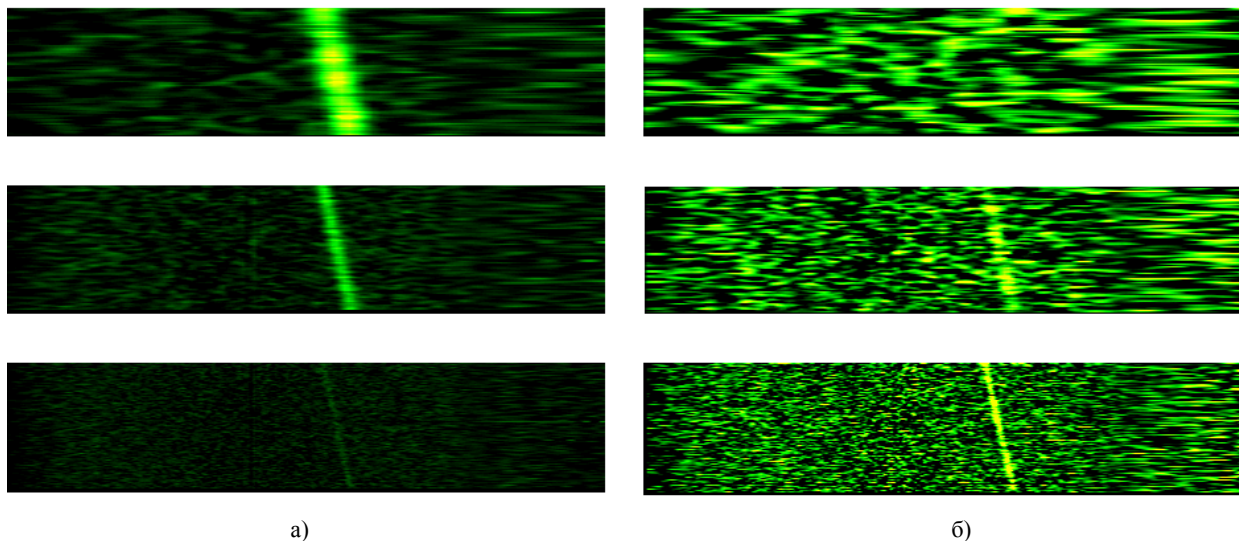


Рис. 1. Водопадные развёртки индикаторного ОСП (сверху вниз – повышение частоты)

Заключение. Резюмируя вышеизложенное можно выделить области применимости для каждой из представленных моделей. Для удобства, эти ограничения приведены ниже в таблице 1. При этом через ОКП обозначена задача оценки и контроля помех в датчиках антенной решётки и в ПК соответственно. Помимо указанных недостатков моделям с некогерентной помехой нарушается горизонтальная анизотропия сигнала, однако этот момент имеет малую значимость при обработке гидроакустических систем.

Таблица 1

	Когерентная помеха	Некогерентная помеха	Корректированная некогерентная помеха
ОКП датчика антенны	+	+	-
ОКП в ПК	+	-	+
ОСП	+	-	+
Горизонтальная анизотропия	+	-	-
Быстродействие	-	+	+

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-08-00253.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнман Е.Л., Моделирование интегрированной системы мониторинга судоходства в морской акватории // Шейнман Е.Л., Емилова Р.Р. // Труды международной конференции по мягким вычислениям, 2017, с. 420-423.
2. Шафранюк А.В., Подход к построению универсального имитационного программного обеспечения в интересах обработки технических и алгоритмических решений в гидроакустике // Шафранюк А.В., Прокопович В.В. // Сборник трудов конференции УМАС-2016, с. 257-266.
3. Шейнман Е.Л., Имитатор входных гидроакустических сигналов интегрированной системы подводного наблюдения // Шейнман Е.Л., Афанасьев А.Н., Куприянов М.С., Клионский Д.М.,... // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, №8, 2017, с. 11-16.
4. Paul C. Etter, Underwater Acoustic Modeling and Simulation. CRC press, 554 pp. (2013).
5. Малышкин Г.С., Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов, СПб: ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электронприбор", 2007, 400 стр.

A.V. Shafranyuk, V.V. Prokopovich (SRC Electropibor, JSC, Saint-Petersburg). **Methods of construction of distributed interference models in interest of development of hydroacoustic complexes**

The paper considers an approach to the construction of a distributed noise model, which is used in the software of the technological part of the stand to ensure the development of hydroacoustic systems. Simulation of distributed interference on antenna arrays is a rather complex independent task and is important from the point of view of ensuring the correct value of the SIR for the simulated noise sources at the antenna input. The existing methods of simulating the distributed noise are presented and a new approach is proposed that makes it possible to eliminate the existing drawbacks while maintaining a high level of algorithm performance.

Н.К. КИСЕЛЕВ
(АО «ЦКБ «Лазурит, Нижний Новгород)

Л.А. МАРТЫНОВА
(АО «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург)

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Рассмотрена задача координированной работы гибридной системы генерирования и распределения электроэнергии с движением подводного аппарата. Осуществлен выбор архитектуры мультиагентной системы аппарата, определено оптимальное распределение потребителей по токопроводам, разработано оперативное управления переключениями потребителей между токопроводами - с учетом функциональных и нефункциональных требований к системе.

Введение. В настоящее время развитие технологий в области морской робототехники привело к возможности создания многоскоростного автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) [1]. В силу особенностей морской среды движение аппарата на разных скоростях возможно только при использовании гибридной системы распределения и генерации электроэнергии (СГРЭ), включающей в свой состав разнородные источники электроэнергии, работа которых определяется скоростными режимами движения АНПА. При движении АНПА на различных скоростях в ходе выполнения маршрутного задания состав потребителей и потребляемые ими токи меняются с течением времени.

Все потребители подключены к токопроводящим шинам (далее – шинам) с различными номинальными токами. Из-за переменного состава потребителей и переменного потребления тока каждым из них возникает необходимость постоянного перераспределения потребителей между шинами. Это вызвано тем, что при превышении токами потребления номинальных токов шины происходит нагревание шины и, как следствие, повышение температуры внутриотсечного помещения АНПА, что негативно сказывается на работе навигационной системы и системы управления АНПА. В связи с этим возникает задача координированного с движением АНПА управления переключениями потребителей между шинами. Необходимость отдельного рассмотрения синхронной работы систем АНПА вызвана тем, что для рассматриваемого АНПА каждая его система является сложной, разрабатываемой одним или несколькими самостоятельными подразделениями и организациями: маршевого движительно-рулевого комплекса, СГРЭ, навигационной системы, системы освещения обстановки, системы гидроакустической и радиосвязи, системы управления, технических средств, аварийного и сигнального оборудования. В результате работа каждой из систем обеспечивается самостоятельной программой, обменивающейся данными с программами смежных систем АНПА, а сама система АНПА становится мультиагентной.

Кроме того, для повышения эффективности работы СГРЭ необходимо заранее, еще на этапе проектирования АНПА, определить необходимое и достаточное количество шин и достаточное количество коммутаторов, соединяющих потребителей с шинами и замыкающих ключами электрическую цепь в момент подачи питания потребителю. Кроме того, на этапе эксплуатации необходимо оперативное, в считанные доли секунды, принятие решения о переключении потребителей между шинами.

Обеспечение комплексного решения перечисленных задач способна только эффективная СГРЭ. Под эффективной СГРЭ в данной работе понимается выполнение следующих требований:

- координированная работа всех систем АНПА в реальном масштабе времени;
- рациональное распределение подключений потребителей к шинам, при котором, с одной стороны, все потребители обеспечены током, а с другой стороны, объем потребляемого тока каждой шины не превышает номинального ее значения;
- рациональное переключение потребителей между шинами, выраженное минимизацией количества переключений при изменении состава потребителей и потребляемого ими тока;
- оперативное принятие решения о переключении потребителей между токопроводами.

Ввиду новизны разработки многоскоростного АНПА и применения гибридной СГРЭ ранее в такой постановке задача не рассматривалась, поскольку у АНПА не возникало необходимости изменения скоростных режимов: практически все разрабатываемые АНПА предусматривали движение в экономичном режиме – до 4 уз. Высокоскоростные аппараты одноразового применения также, несмотря на движение на поисковой скорости и на маршевой скорости, использовали одни и те же исполнительные устройства и источник электроэнергии – аккумуляторную батарею. В связи с этим при разработке многоскоростного АНПА указанные подходы не могли быть применены. В отечественной и зарубежной литературе публикации по данной тематике практически отсутствуют из-за новизны задачи по преодолению АНПА сверхдальних расстояний и новизны технического решения, связанного с применением гибридной СГРЭ на борту АНПА.

Целью явилась разработка эффективной гибридной системы распределения и генерации электроэнергии.

Постановка задачи. Пусть АНПА в момент времени t движется с установившимися параметрами – курсом, скоростью и глубиной. Для обеспечения движения и жизнедеятельности АНПА задействованы источники питания, которые подключены к шинам. Пусть питание АНПА обеспечивает гибридная система генерации и распределения электроэнергии, состоящая из источников тока различного типа. Пусть источники тока запитывают шины, к которым через коммутаторы подключены все потребители. Пусть в некоторый момент времени t ключи коммутаторов замкнуты так, что СГРЭ обеспечивает необходимым питанием всех нуждающихся в нем потребителей. И пусть в следующий момент времени $t+1$ из-за смены параметров движения АНПА возникла необходимость повышения (или понижения) потребляемого тока отдельными потребителями, дополнительного подключения новых потребителей и отключения подключенных ранее потребителей.

В результате при переходе от момента t к моменту $t+1$ необходимо так замкнуть ключи коммутаторов для переключения потребителей к электросети, чтобы распределение подключения потребителей между шинами было оптимальным, количество переключаемых ключей было минимальным, а время на принятие решения исчислялось долями секунд.

Координация работы систем АНПА. В связи с практически независимым функционированием систем-агентов АНПА остро стоит задача координации их функционирования. Это так называемое нефункциональное требование [2] к слаженной работе систем АНПА определяется архитектурой мультиагентной системы. Под архитектурой традиционно понимают принципиальную организацию системы, воплощенную в её элементах, их взаимоотношениях друг с другом и со средой. От того, насколько удачно организована система, зависит эффективность ее функционирования. Для определения архитектуры мультиагентной системы рассматриваемого АНПА сформированы три варианта, отличающиеся назначением координатора систем-агентов АНПА. В первом варианте координатором выступал специально созданный агент «Диспетчер», во втором варианте – агент «Навигация», в третьем варианте – агент «Энергетика».

Анализ процессов в мультиагентной системе АНПА показал, что скорость принятия решения о переключениях потребителей между шинами определяется: высокой скоростью обработки информации и высокой скоростью информационного обмена между агентами. Высокая скорость обработки информации, в свою очередь, определяется объемом обрабатываемых данных и использованием «быстрых алгоритмов», существенно сокращающих время на обработку информации и принятие решения. Высокая скорость обмена между системами-агентами определяется: прямым общением агентов между собой и объемом передаваемой информации с результатами обработки.

По результатам анализа сформирован целевой граф, в котором целью явилась координация работы агентов, а подцелями, расположенными в узлах графа, явились атрибуты, оказывающие влияние на координацию. Для выявления степени влияния атрибутов на координацию разработанная математическая модель функционирования гибридной СЭО и ее программная реализация. Это позволило получить оценки влияния каждого атрибута на конечную цель – координацию.

По результатам проведения численных экспериментов для различных условий функционирования мультиагентной системы и условий эксплуатации АНПА получены количественные

оценки. Полученные оценки позволили с использованием «алгоритма распространения меток» [3] получить итоговые оценки каждой из трех рассмотренных архитектур мультиагентной системы АНПА. По результатам сравнения итоговых оценок каждой архитектуры выявлено, что наилучший результат показала архитектура мультиагентной системы, в которой координатором является СГРЭ.

Оптимальное распределение подключений потребителей к шинам. По своей сути рассматриваемая задача эффективного подключения потребителей к шинам близка к «задаче об упаковке элементов в контейнеры» [4], которая заключается в необходимости размещения элементов по контейнерам так, чтобы совокупный объем элементов в каждом контейнере не превышал его объем, а число заполненных контейнеров оказалось минимальным. В данном случае контейнерами служат шины, а элементами – потребители. Известно достаточно большое количество разнообразных решений задачи упаковки в контейнеры – от метода простого перебора до эвристических алгоритмов разной степени точности и расчетного времени. Для выбора наиболее подходящего алгоритма, необходимо, наряду с требованиями оптимального подключения и минимизации количества переключений, для координированной работы всех систем АНПА учитывать также и оперативность принятия решения о переключениях потребителей между шинами (так называемое «нефункциональное» требование) и использовать для этого «быстрые алгоритмы» [5, с.207]. В связи с этим при заранее неизвестных параметрах потребителей предложено использовать эвристический алгоритм «лучший подходящий Best Fit (BF)». В этом случае множество используемых исполнительных устройств заранее неизвестно, и необходимость подключения исполнительных устройств поступает последовательно. При распределении потребителей по шинам в случае полного пересмотра параметров гибридной СГРЭ предложено использовать алгоритм, ориентированный на использование полной информации о подключаемых потребителях – «лучший подходящий по убыванию» Best Fit Decreasing (BFD). Оба алгоритма BF и BFD основаны на жадном алгоритме, в котором на каждом шаге делается локально наилучший выбор в предположении, что итоговое решение будет оптимальным.

Рациональное управление гибридной СГРЭ. Управление гибридной СГРЭ заключается в изменении ее состояния, определяемого количеством задействованных источников питания, и, соответственно, шин, и распределением потребителей по шинам. Для определения варианта переключения потребителей между шинами проанализированы возможные варианты: увеличение потребления в пределах номинального тока той шины, к которой подключен данный потребитель; увеличение потребления, приведшее к выходу за пределы номинального тока, в связи с чем требуется переключение; полное переключение потребителей. По результатам анализа выявлено, что в первом варианте никаких переключений производить не требуется. Во втором варианте отключаем потребителя с увеличивающимся уровнем потребления, из-за которого произошло превышение номинального тока и в соответствии с предложенным решением BF пытаемся найти ему место на других шинах. Если такой шины не находится, то дополнительно запускаем новую шину и подключаем его к ней. В третьем варианте происходит полный пересмотр подключений, и для выбора нового эффективного подключения применяем алгоритм BFD. При полном переключении целесообразно сохранить преемственность подключений, поэтому при выборе варианта подключения к конкретным шинам необходимо сначала проанализировать и выбрать вариант с наибольшим числом совпадений подключений потребителей к шинам на моменты времени t и $t+1$. Для этого в цикле по каждому используемому ранее потребителю перебираем шины, используемые в момент t : если потребитель был подключен к рассматриваемой шине, то подключаем его к этой же шине, где он был. И далее на эту шину подключаем тех потребителей, которые определены на момент времени $t+1$, принадлежащих на момент t этой же шине. Соответственно, из дальнейшего рассмотрения изымаем вновь подключенных на момент $t+1$ потребителей. Далее переходим к рассмотрению следующего еще неподключенного используемого в момент t потребителя и в цикле по оставшимся шинам определяем его подключение. Так происходит до тех пор, пока все используемые ранее потребители не будут подключены к шинам. Оставшихся новых потребителей на момент $t+1$ подключаем на оставшиеся шины.

Заключение. Рассмотрена задача разработки эффективной гибридной системой генерирования и распределения электроэнергии, работающей синхронно с управлением движения многоскоростного автономного необитаемого подводного аппарата. Определены показатели эффективности, проанализированы различные виды архитектур мультиагентной системы АНПА, определяющие координацию работы системой генерирования и распределения электроэнергии с остальными системами АНПА, выявлены возможные причины необходимости переключения потребителей между шинами, запрашиваемыми разнородными источникам тока. Предложено эффективное управление системой генерации и распределения электроэнергии на основе эвристических алгоритмов Best Fit и Best Fit Decreasing, применение которых определяется текущей ситуацией. Решение перечисленных задач позволило разработать эффективную гибридную систему генерирования и распределения электроэнергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-08-00130).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Апполонов Е. М., Бачурин А. А., Горохов А. И., Пономарев Л. О.** О возможности и необходимости создания сверхбольшого необитаемого подводного аппарата // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону – Таганрог, ЮФУ. 2018. С.34–42.
2. **Chung L.K., Nixon B., Yu E., Mylopoulos J.** Non-Functional Requirements in Software Engineering. Kluwer Publishing, 2000. 441 p.
3. The Label Propagation algorithm // Электронный ресурс <https://neo4j.com/docs/graph-algorithms/current/algorithms/label-propagation/index.html> (Дата обращения 21.04.2019).
4. **Левин М.Ш.** Упаковка в контейнеры (перспективные модели, примеры) // Информационные процессы. – 2017. – Т. 17. – № 1. – С. 43–60.
5. **Моисеев Н.Н.** Алгоритмы развития. М. Наука. 1987. с.304.

N.K. Kiselev (JSC "Central Design Bureau" Lazurit, Nizhny Novgorod), **L.A. Martynova** (JSC "Central Research Institute" Elektropribor ", St. Petersburg). **Development of effective hybrid system of generation and distribution of electric power of autonomous underwater vehicle**

Abstract. The problem of coordinated operation of a hybrid system for generating and distributing electricity with the movement of an underwater vehicle is considered. The choice of the architecture of the multi-agent system vehicle was carried out, the optimal distribution of consumers along the busbars was determined, the operational control of switching consumers between the busbars was developed - taking into account the functional and non-functional requirements for the system.

А.В. НИКОЛАЕВ

(Институт машиноведения им. А.А. Благонравова российской академии наук, Москва)

Д.В. ФЕДОСОВ

(Научно-производственное ООО "КВ-связь", Омск)

А.В. СТАРЧЕНКОВ

(ОАО «Омское производственное объединение «Радиозавод имени А.С. Попова»)

ВОПРОСЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ

Освоение на практике простых в реализации технических решений для приема и передачи из подводного положения поверхностной электромагнитной волны (ПЭВ), преодолевающей скин слой и распространяющейся в границах морской поверхности по нижней тропосфере и урезу воды, создает предпосылки к использованию радиоканала управления в морских системах. В докладе раскрываются основные идеи по применению ПЭВ для радиоуправления беспилотными подводными аппаратами и результаты работ по конструированию подводных малогабаритных антенн сверхнизких радиочастот.

Введение. Развитие беспилотных подводных аппаратов различного назначения вызывает необходимость создания аппаратуры для беспроводной связи, имеющей малые габариты и массу. Гидроакустические каналы связи, удовлетворяющие данному требованию, подвержены влиянию помех как естественного, так и искусственного происхождения, особенно в поверхностном слое воды, а каналы связи на сверхдлинных электромагнитных волнах (СДВ) используются для работы антенны, которые во много раз превосходят размеры самого подводного аппарата. Вместе с тем, разработка технических решений для возбуждения ПЭВ в поверхностном слое морской воды малогабаритными антенными устройствами сверхнизких радиочастот создаст предпосылки для практического осуществления беспроводной радиосвязи [1, 2]. При этом следует выделить главную научную проблему в электродинамике, которую следует решить, и она состоит в сложности теоретического описания процесса генерации ПЭВ малогабаритными антенными устройствами в поверхностном слое воды, а также создании условий для распространения радиоволны в границах морской поверхности по нижней тропосфере и урезу воды. Доклад посвящен особенностям конструирования малогабаритных антенных устройств сверхнизких радиочастот и раскрывает некоторые вопросы радиоуправления беспилотными подводными аппаратами и оперативной передачи данных о параметрах морской среды и нижней тропосферы с их помощью.

Физические предпосылки. Известно, что при определенных углах падения электромагнитной волны на границе раздела двух сред (в нашем конкретном случае, морская вода и воздух) возникает ПЭВ. На эффективность возбуждения ПЭВ на поверхности полупроводящей среды (например, грунт, морская и пресная вода) влияют многие факторы: неоднородность электрофизических параметров грунта, наличие скин слоя, рельеф поверхности грунта, волнение морей и океанов [3, 4]. Группой ученых из института прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова теоретически и экспериментально исследовано наличие ПЭВ в СВЧ диапазоне электромагнитных волн, творческой группой Крыловского государственного научного центра под руководством Андреева А.Ю. на акватории соленого озера Сульфат экспериментально подтверждено наличие ПЭВ на радиочастотах 10 и 15 МГц, радиосигнал уверенно регистрировался на трассе до 1,2 км. Сотрудниками ОАО «Радиозавод им. А.С. Попова» и НПО «КВ-связь» созданы малогабаритные антенные устройства подводного типа для сверхнизких радиочастот, которые испытаны в соленых озерах Омской области с погружением антенны до 30 см при этом радиосигнал регистрировался на расстояниях более 600 м и дальность связи ограничивалась фактически урезом воды. Последнее подтверждает, что за счет токов смещения и проводимости, возбуждаемых малогабаритной антенной и обусловленных ионной проводимостью водной среды, преодолевается скин слой (для морской воды $\epsilon_{от} \approx 80$ $\sigma \approx 4,3$ См/м) и формируется на границе раздела двух сред ПЭВ. Таким образом, экспериментально подтверждается то, что зона радиоуправления беспилотными подводными аппаратами с использованием ПЭВ ограни-

чена урезом водного бассейна рек, озер, морей и океанов, а также мощностью передатчика и чувствительностью приемника, а глубина эффективного радиоуправления будет ограничена радиочастотой несущего электромагнитного колебания и удельной проводимостью воды.

Результаты работ. Удалось получить резонансную антенну, которая согласуется как с воздухом, так и с водой, в том числе соленой, т. е. водная среда очень слабо влияет на антенну. КПД вариантов данной антенны, замеренный калориметрическим способом, составил от 10 до 22% при размере антенн 0,1-0,7% от длины волны. В настоящее время созданы действующие макеты антенн на частоту от 300 кГц до нескольких МГц с размерами менее 0,05% от длины волны, обладающие высокой электрической стойкостью и выдерживающие подводимые мощности более 100 Вт. Кроме того, удалось разработать высокодобротную малогабаритную антенну добротность (потери) которой слабо изменяется при погружении ее в воду, что говорит об отсутствии эффекта экранирования и шунтирования ближнего поля антенны водой, так как потери бы уменьшили добротность антенны. Ключевым элементом подводной системы радиоуправления является малогабаритное антенное устройство ДВ-СВ-КВ диапазона [5], имеющее высокое значение КПД и согласованное с водной средой, наличие которого позволяет приступить к экспериментальным проверкам количественных показателей аппаратуры для определения тактико-технических характеристик системы для осуществления беспроводной радиосвязи на ПЭВ.

Ближнее поле ПЭВ. Часть поля ближней зоны радиоволны для малогабаритных антенн будет находиться над поверхностью моря. При исследовании процессов генерации радиоволн малогабаритными антеннами в ближней зоне выяснилось существенное различие в интенсивности полей магнитной и электрической компоненты при использовании различных малогабаритных антенн. Отличие в амплитуде составляло до 15-20 дБ. Далее, после выхода из ближней зоны магнитные и электрические поля излучения «выравнивались» и их соотношение соответствовало данным из классической электродинамики. Например, на частоте 50 кГц длина волны в воде 670 метров (в воздухе 6000 м), т. е. при расположении антенны в приповерхностном слое воды на глубине несколько десятков метров большая часть ближней зоны (места где идет «рождение» и формирование радиоволны будет находиться на поверхности) поэтому необходимо проводить оценки распространения с учетом ближней зоны радиоволн, а не плоской сформировавшейся волны.

О других возможностях ПЭВ. Технология передачи данных из-под воды через ледяной покров на глубинах до 20 м может быть эффективно применена в Арктике в морском порту Сабетта (Обская губа с глубиной в среднем около 16 м) для передачи данных о скорости дрейфа льда, толщине льда, скорости течения, солености воды для гидрометеорологического обеспечения судоходства в узком канале шириной 400 м, длиной 60 км, глубиной 30 м, прорытом для транспортировки сжиженного газа специальным танкерным флотом с водоизмещением около 300 тыс. тонн, круглогодично. Внедрение подобной технологии в систему гидрометеорологического обеспечения немедленно даст большой экономический эффект за счет предотвращения весьма вероятных аварийных ситуаций при посадке супертанкера на мель внутри искусственного канала. В настоящее время прорабатываются альтернативные варианты подводной связи (оптоволоконный кабель), но они непомерно дороги и малонадежны. Не вызывает сомнений и осуществимость радиосвязи из приповерхностного слоя воды океана даже с учетом льда. За счет использования более низких частот 100-1000 кГц будет обеспечена передача данных из-под льда до берегового пункта приема данных для гидрологического мониторинга (рис. 1.).

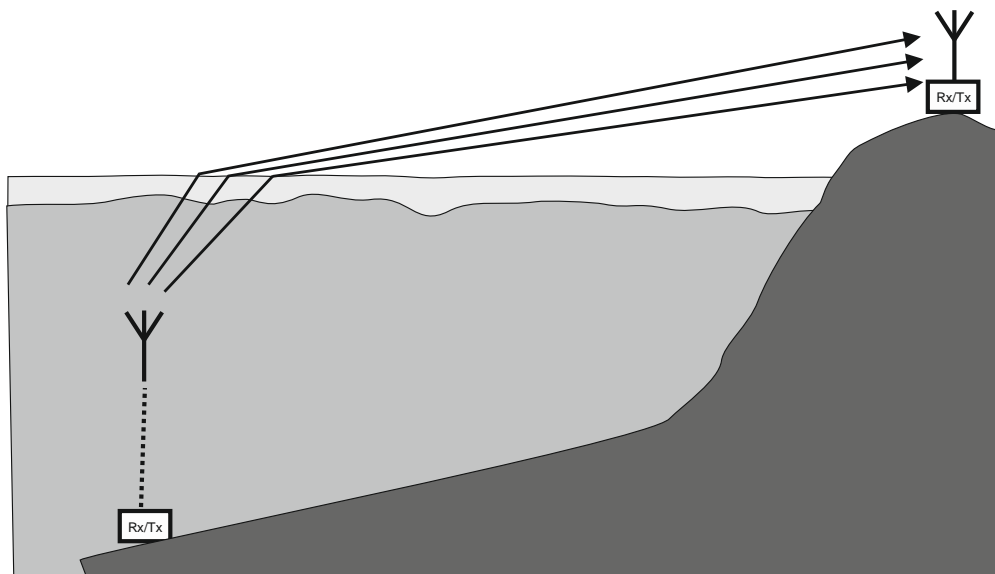


Рис. 1. Иллюстрация возможностей низкочастотной (длинноволновой) радиосвязи

Заключение. Для обеспечения передачи из-под воды (из-под льда) радиосигнала имеет смысл использовать ПЭВ, энергия которых сконцентрирована в приповерхностном слое возле границы раздела двух сред. Расположенная на небольшой глубине радиоантенна, возбуждая ПЭВ в приповерхностном слое, сможет передавать данные для дистанционного управления рулевыми механизмами беспилотного подводного аппарата. Исследования подтверждают, что зона радиуправления ПЭВ в морских системах будет ограничена, в основном, урезом водного бассейна рек, озер, морей и океанов, а эффективность дистанционного радиуправления будет зависеть от мощности передатчика, чувствительности приемника, частоты несущего электромагнитного колебания и удельной проводимостью морской воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **В.Н.Дацко** «Поверхностные электромагнитные волны на металле» // «Радиотехника и электроника», 2014, т.59, №5, с. 452-457.
2. **Ю.В.Кистович** «Поверхностные электромагнитные волны Ценника СВЧ диапазона на соленой воде» Дисс. кандидата физ.-мат. наук, Москва, ВНИИФТРИ, 1988.
3. **В.Н.Дацко** «Новые типы поверхностных электромагнитных волн в проводящих средах» Дисс. доктора физ.-мат. наук, Москва, ИОФ РАН, 2000.
4. **В.Н.Дацко** «Антенна ПЭВ» Инженерная физика 2013, №8, стр.75-78.
5. **Д.В. Федосов, А.В. Николаев и др.** Резонансная спиральная антенна // Патент РФ RU2680674C 1.

Nikolaev A.V. (Federal state budgetary institution of science " Institute of machine science of the Russian Academy of Sciences. academician A. A. Blagonravov», Federal state budgetary institution of higher education " Moscow technical University of communications and Informatics», Moscow), **Fedosov D.V.** (Research-and-production society with limited liability "HF COMMUNICATIONS", Omsk), **Starchenkov A.V.** (Radio plant named after A. S. Popov, Omsk). **Questions of radio control of unmanned underwater vehicles**

Abstract. The practical development of simple-to-implement technical solutions for receiving and transmitting a surface electromagnetic wave from an underwater position that overcomes the skin layer and propagates within the boundaries of the sea surface along the lower troposphere and the water edge will create prerequisites for the use of a radio control channel in marine systems. The report reveals the main ideas on the use of surface electromagnetic waves for radio control of unmanned underwater vehicles and the results of work on the design of small-sized underwater antennas of ultra-low radio frequencies

К.З. ЛАПТЕВ, А.В. БАГНИЦКИЙ
(Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток)

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТА И АЛГОРИТМЫ МАНЕВРИРОВАНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДАЛЬНЕГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОИСКЕ ПОЛЫНЕЙ И РАЗВОДИЙ В АРКТИКЕ

Целью исследований является повышение безопасности подлёдного плавания автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) за счёт использования алгоритмов управления, учитывающих факторы влияния ледовой обстановки на организацию применения бортового оборудования и характер маневрирования аппаратов. Рассматриваемой задачей является учет факторов, влияющих на планирование маршрута, и разработка алгоритмов определения координат и размеров полыньи с использованием технических средств АНПА. Для решения задачи предложены схемы маневрирования АНПА, в различных условиях.

Введение. Впервые в Российской Федерации опыт применения АНПА подо льдами Арктики был получен Институтом проблем морских технологий ДВО РАН (ИПМТ ДВО РАН) в 2007 году, в ходе арктической экспедиции в составе атомного ледокола «Россия», НИС «Академик Федоров» и НИС «Академик Мстислав Келдыш». Именно с этой экспедиции началось решение научно-практической задачи безаварийного плавания АНПА подо льдами. Знания, полученные в экспедиции 2007 г. [1, 2, 3], а также мировой опыт подлёдной эксплуатации необитаемых подводных аппаратов [4], [5] доказывает принципиальную возможность успешной реализации миссий АНПА для решения задач подо льдами. Доклад посвящен рассмотрению факторов, которые должны учитываться при планировании подледной миссии и разработке алгоритмов управления, обеспечивающих специальное маневрирование АНПА, позволяющее с помощью технических средств аппарата определять параметры и координаты полыньи пригодной для безопасного всплытия.

Планирование подлёдного маршрута АНПА. Особенностью Центрального арктического бассейна является то, что он круглый год покрыт шапкой полярных льдов. Основную часть его площади занимает паковый лёд, остальное приходится на более слабые льды и чистую воду [6]. Под влиянием ветров и течений арктические льды находятся в постоянном движении, при этом поверхность льда изобилует каналами, полыньями и разводьями, часть из которых может быть пригодна для безопасного всплытия АНПА. При планировании подледного маршрута, крайне важной информацией является наличие у операторов – планировщиков миссии, максимально «свежих» данных о ледовой обстановке в районе плавания АНПА. Источниками таких данных могут быть:

- спутниковые метеорологические системы;
- арктическая авиация и корабли, находящиеся в Арктической зоне;
- дрейфующая научная полярная станция «Северный Полюс»;
- гидрометеорологический центр Арктического Трилистника – военной базы РФ.

Вся информация по ледовой обстановке в Арктическом бассейне поступает в гидрометеорологический центр РФ, откуда она может быть транслирована в береговой центр управления (БЦУ) походом АНПА. Прежде всего, операторов интересуют следующие данные, учитываемые при планировании маршрута АНПА:

- положение кромки льда;
- координаты обнаруженных полыней и полей тонкого льда; пригодных для всплытия;
- направления дрейфа полыней и суммарный вектор дрейфа льда;
- толщина, сплочённость, сжатие льда;
- векторы течений на глубинах движения АНПА: направление и скорость;
- данные о системах подводного навигационного ориентирования, установленных в районах выполнения АНПА поставленных задач.

Постановка задачи и определение требований. Маршрут АНПА планируется оператором как кусочно-линейная траектория [7], соединяющая начальные и конечные точки отрезков —

элементов маршрутного задания (ЭМЗ). При этом изменение режимов движения и работы аппаратуры АНПА производится в узлах ломаной, а движение вдоль очередного отрезка выполняется с постоянными параметрами. Каждый ЭМЗ специфицирует действия АНПА по достижению целевой точки. Предполагается, что в этом месте аппарат может перейти либо к выполнению следующего ЭМЗ, либо выполнить обсервацию с использованием указанных средств навигации, либо выполнить сеанс связи с синхронизацией времени. По завершении действий АНПА должен вернуться в последнюю посещённую точку ЭМЗ и оттуда продолжить заданный маршрут.

Задача поиска полыней является многокритериальной и выдвигает следующие требования к планируемой миссии, а также к системе управления АНПА:

- время, затрачиваемое АНПА на поиск полыньи не должно приводить к пропуску режима сеансов связи или превышению допустимой навигационной ошибки;
- маневрирование АНПА при поиске полыньи должно исключать повторные проходы по уже обследованному месту;
- время, затрачиваемое АНПА на возврат к исходной точке после всплытия в полынье, должно быть минимальным [8];
- маршрут аппарата должен быть проложен так, чтобы максимизировать вероятность встречи с существующими полыньями и минимизировать вероятность встречи с препятствиями [9];
- удаление АНПА от точки начала поиска не должно превышать заданную оператором максимальную дистанцию; при этом, если полынью обнаружить не удаётся, данная часть маршрута должна быть пропущена.

Поиск областей возможного всплытия. Ключевой задачей является определение координат и размеров полыньи [11]. Минимальные размеры полыньи, которые можно считать безопасными для всплытия АНПА, составляют порядка 50-100 м. Работа АНПА по обследованию полыньи начинается с определения координат полыньи, для чего следует пройти под ней и «присвоить» полынье координаты АНПА [12], которые определяются методом счисления данных от навигационно-пилотажных датчиков и доплеровского лага, направленного вверх. Основным достоинством такого способа является универсальность, простота и точность определения места АНПА в системе координат, связанной с поверхностью льда (воды). Такие требования задачи поиска полыней могут быть реализованы при помощи манёвра АНПА в виде расходящейся спирали – распространённой поисковой фигуры движения [13] (см. схему маневрирования на рис. 1).

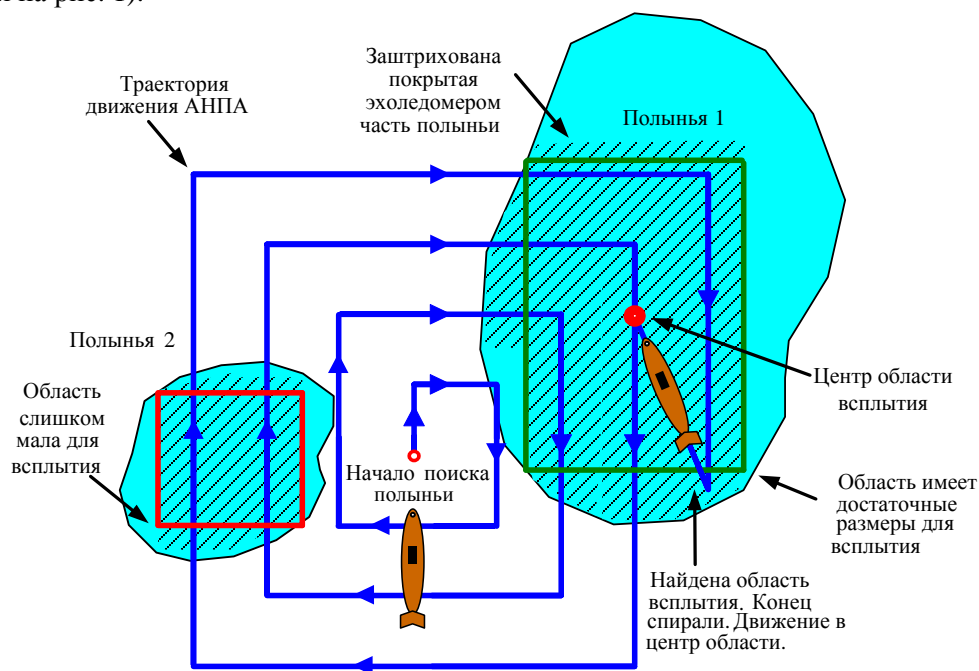


Рис. 1. Поиск областей возможного всплытия АНПА расходящейся спиралью.

Уточнение конфигурации полыньи. Если имеющаяся информация об областях возможного всплытия требует уточнения, используется маневрирование в виде «цветка» с целью уточнения размеров полыньи по имеющимся координатам. Данная фигура применяется для дообследования объектов [14], при наведении [4], причём количество и длина лепестков варьируется в широком диапазоне и подбирается под конкретную задачу (рис. 2).

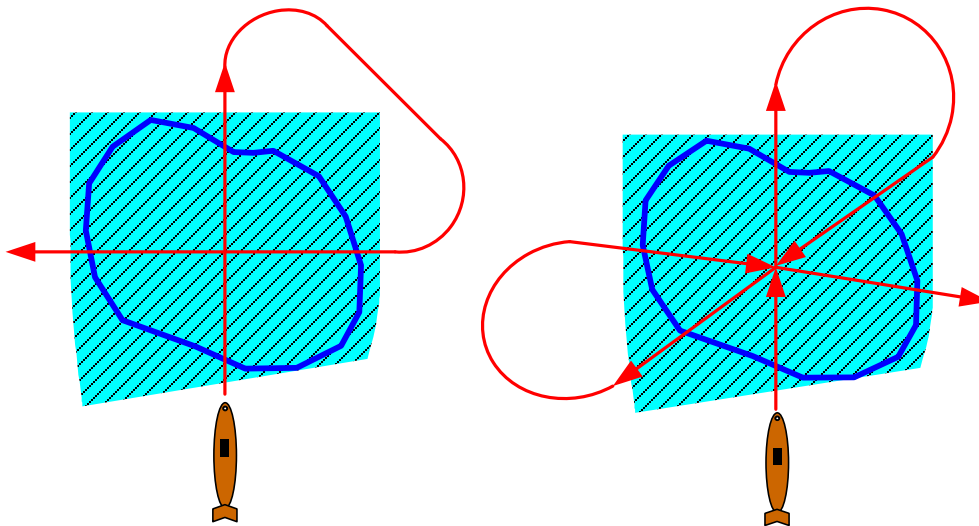


Рис. 2. Манёвр «цветок»: двухлепестковый (слева) и трёхлепестковый (справа).

Для обследования полыней удобно использовать двухлепестковый «цветок», в котором курс первого галса прокладывается вдоль направления дрейфа льда, а курс второго – поперёк.

Заключение. Решение задачи поиска полыней при плавании АНПА в Арктических районах охватывает круг задач, решение которых, потребует революционного подхода к созданию системы обеспечения подлёдного плавания АНПА и конструкции самого аппарата. В статье предложена методика уточнения миссии АНПА по результатам оценки ледовой обстановки за счёт информации, получаемой от внешних источников и собственных технических средств аппарата. Рассмотрены факторы, с учётом которых формируется алгоритм принятия решения на поиск полыньи, пригодной для всплытия, либо её обследование. Предложены алгоритмы определения координат и размеров полыньи с использованием технических средств АНПА, показаны схемы маневрирования АНПА, отвечающие поставленным требованиям, в условиях, как наличия, так и отсутствия информации о координатах полыньи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инзарцев А. В., Киселёв Л.В., Костенко В.В. и др. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / Монография. 2018. С. 27 — 43.
2. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника, №2(4), 2007, С. 5 — 14.
3. Научно-технический отчет // Работы по исследованию геологического строения континентального шельфа в Северном Ледовитом океане с применением автономного необитаемого подводного аппарата «Клавесин-1Р». Владивосток. Изд. ИПМТ ДВО РАН. 2007 г. Прил. 3.1.
4. Kukulya Amy, Plueddemann Albert, Austin T, Stokey Roger, Purcell Michael, Allen B, Littlefield R, Freitag Lee, Koski P, Gallimore E, Kemp J, Newhall K, Pietro J. Under-ice operations with a REMUS-100 AUV in the Arctic. // Autonomous Underwater Vehicles (AUV). 2010. 8 pp. 10.1109/AUV.2010.5779661.
5. Forrest Alexander, Laval Bernard, Doble Martin, Yeo Richard, Magnusson E. AUV measurements of under-ice thermal structure. // Proceedings of the OCEANS.2008.5152046.
6. Тарасюк Ю.Ф., Реданский В.Г. Плавание подводных лодок в арктических льдах // <https://tech.wikireading.ru/7792> (дата обращения: 09.08.2020).

7. **Илларионов Г.Ю., Лаптев К.З., Матвиенко А.В.** Подготовка и планирование глобального маршрута автономного необитаемого подводного аппарата дальнего радиуса действия // «Двойные технологии». 2018. №2 (83). С. 41 — 49.
8. **Ваулин Ю.В., Лаптев К.З.** Оценка точности плавания автономного необитаемого подводного аппарата в заданном районе. // Известия ЮФУ. Научно-технический и прикладной журнал. Технические науки. № 1-2 (186 — 187). 2017 г. С. 74 — 87.
9. **Инзарцев А.В., Багницкий А.В.** Планирование и реализация траекторий движения автономного подводного робота при выполнении мониторинга в акваториях различных типов // Подводные исследования и робототехника, № 2(22), 2016, С. 25 — 35.
10. **Andrei Bagnitskii, Alexander Inzartsev, Alexander Pavin.** Planning and correction of the AUV coverage path in real time // Proceedings of the Underwater Technology (UT), 2017 IEEE: Busan, South Korea, 2017, 6 pp.
11. Главное управление навигации и океанографии. / Кораблевождение. Практическое пособие для штурманов. МО СССР. 1972 г.
12. **Простаков А.Л.** Электронный ключ к океану. / Л.: Судостроение. 1986. С. 29 — 30.
13. **Багницкий А.В., Инзарцев А.В.** Автоматизация подготовки миссии для автономного необитаемого подводного аппарата в задачах обследования акваторий // Подводные исследования и робототехника. 2010. №2(10). С. 17 — 24.
14. **Andrei Bagnitskii, Alexander Inzartsev, Oleg Lebedko, Mikhail Panin, Alexander Pavin.** A survey of underwater areas using a group of AUVs // Proceedings of the Underwater Technology (UT), 2017 IEEE: Busan, South Korea, 2017, 6 pp.

K.Z.Laptev, A.V. Bagnitskiy (Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok). **Planning of the route and algorithms for maneuvering long distance autonomous unmanned underwater vehicles during finding of the ice hole**

Abstract. The aim of the research is to improve the safety of ice navigation of (AUVs) through the use of control algorithms that take into account the factors of the influence of ice conditions on the organization of the use of onboard equipment and the nature of maneuvering of vehicles. The problem under consideration is to take into account the factors influencing the planning of the route, and the development of algorithms for determining the coordinates and dimensions of the ice hole using the technical means of the AUV. To solve the problem, AUV maneuvering schemes are proposed in various conditions.

В. В. КОСТЕНКО, А. Ю. ТОЛСТОНОГОВ
(Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток)

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К РАСПРЕДЕЛЕНИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

В докладе представлен анализ различных подходов к распределению управляющих воздействий при избыточном движительно-рулевом комплексе подводного аппарата с учётом фиксированных ограничений его элементов. Проведено количественное сравнение подходов по области достижимости управляющих воздействий, времени работы, потребляемой мощности и невязки целевого и результирующего вектора управления. Показано что выбор подхода к распределению управляющих воздействий существенно влияет на эффективность использования ресурсов движительно-рулевого комплекса и потребляемую мощность при маневрировании подводного аппарата.

Введение. Одной из задач управления движением подводного аппарата (ПА) является распределение управляющих воздействий между элементами движительно-рулевого комплекса (ДРК). Эта задача существенно усложняется с учётом физических ограничений каждого из движителей. Кроме того, свойственная подводным аппаратам избыточность ДРК приводит к формально бесконечному варианту комбинаций распределения управляющих воздействий, удовлетворяющих сформированному закону движения ПА. При работе с автономными подводными аппаратами последний пункт особенно важен, так как в данном случае эффективность распределения напрямую влияет на дальность хода и время автономности. Исследованию этой тематики посвящено большое количество статей, как в отечественных, так и в зарубежных изданиях [1-4].

Предлагаемый доклад посвящен анализу и количественному сравнению различных подходов к распределению управляющих воздействий при избыточном движительно-рулевом комплексе по нескольким параметрам: область достижимости управляющих воздействий, время работы алгоритма распределения, потребляемая мощность и невязка целевого и результирующего вектора управления.

Формализация задачи. Общим подходом к построению системы управления движением ПА является разделение алгоритма управления движением на два этапа [5]. На первом этапе системой управления формируется шестимерный вектор сил и моментов $\mathbf{F}^c \in \mathbb{R}^m$ в связанной с аппаратом системе координат по целевому и текущему положению ПА, где m – количество независимых каналов управления. На втором этапе происходит преобразование целевого вектора сил и моментов \mathbf{F}^c в вектор упоров отдельных движителей $\mathbf{t} = [t_1, \dots, t_p]^T$ (где p – количество задействованных движителей) ДРК ПА с учётом их расположения и ориентации относительно центра массы подводного аппарата.

Задача распределения управляющих воздействий в общем случае сводится к решению уравнения вида:

$$\mathbf{F}^c = B\mathbf{t} \quad (1)$$

для переменной $\mathbf{t} \in \mathbb{U}^p$, где \mathbb{U}^p определяет область возможных значений упоров $\mathbf{t}^{\min} = [t_1^{\min}, \dots, t_p^{\min}]^T$ и $\mathbf{t}^{\max} = [t_1^{\max}, \dots, t_p^{\max}]^T$, а матрица B определяет геометрические характеристики движительно-рулевого комплекса.

Метод резервирования упоров. Особенностью данного метода является то, что в каждом движителе формируется резерв под каждый канал управления, в формировании управляющего воздействия которого каким-либо образом задействован данный движитель [6,7]. В рамках данного резерва реализуется распределение управляющего воздействия по данной оси управления. Этот метод позволяет обойти ограничения движителей за счёт существенного уменьшения достижимого диапазона управления. С точки зрения формального описания метод записывается следующим образом:

$$t_i^j = \begin{cases} B_{i,j}^{+c} \text{ если } B_{i,j}^{+c} \in \mathbb{U}^j / q \\ F_{i,j}^{+c} \text{ если } B_{i,j}^{+c} \notin \mathbb{U}^j / q \end{cases} \quad (2)$$

где t_i^j – вклад в j -ый движитель i -го канала управления, q – количество каналов управления в которых задействован данный движитель, B^{+} – псевдообратная матрица к матрице B , полученная по методу Мура-Пенроуза. После данной операции, вектор упоров отдельных движителей \mathbf{t} получается следующим образом:

$$t_j \text{ для } j = 1, \dots, p \text{ находится в диапазоне } [0, 1], \quad (3)$$

Метод линейных ограничений. Данный подход подразумевает поиск такого набора линейных сжимающих коэффициентов $\mathbf{a} = [a_1, \dots, a_m]$, при котором решение задачи распределения управляющего воздействия не выходит за рамки допустимого множества \mathbb{U}^p [8], т.е.:

$$F_i^{lim} = \begin{cases} F_i^c, \text{ если } \mathbf{t} \in \mathbb{U}^p \text{ при } \mathbf{t} = B^{+}\mathbf{F}^c \\ a_i F_i^c, \text{ если } \mathbf{t} \notin \mathbb{U}^p \text{ при } \mathbf{t} = B^{+}\mathbf{F}^c \end{cases} \quad (4)$$

где i – канал управления движением, а $\mathbf{a} = [a_1, \dots, a_m]$ – набор линейных коэффициентов находящихся в диапазоне $[0, 1]$.

Метод линейной оптимизации. Метод основан на минимизации линейного функционала при заданных условиях и ограничениях [9]. Для того чтобы решение задачи всегда существовало, формируется дополнительный вектор невязки \mathbf{s} имеющий ту же самую размерность что и вектор \mathbf{F}^c .

Функционал определяется следующим образом:

$$\min_{\mathbf{t}, \mathbf{s}} \left(\sum_{i=1}^m q_i s_i + \sum_{j=1}^p w_j t_j \right), \quad (5)$$

при условиях: $B\mathbf{t} = \mathbf{F}^c + \mathbf{s}$ и $\mathbf{t}_{min} < \mathbf{t} < \mathbf{t}_{max}$

где q_1, \dots, q_m – положительно определённые весовые коэффициенты вектора невязки \mathbf{s} , w_1, \dots, w_p – положительно определённые весовые коэффициенты элементов ДРК. Данная постановка задачи позволяет решать задачу распределения известными методами линейного программирования.

Метод квадратичной оптимизации. Данный подход подразумевает решение задачи минимизации квадратичного функционала при заданных условиях и ограничениях [10].

Функционал формируется следующим образом:

$$\min_{\mathbf{t}, \mathbf{s}} \left(\frac{1}{2} (\mathbf{t}^T, \mathbf{s}^T) H \begin{pmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{s} \end{pmatrix} \right) \quad (6)$$

при условиях: $B\mathbf{t} = \mathbf{F}^c + \mathbf{s}$ и $\mathbf{t}_{min} < \mathbf{t} < \mathbf{t}_{max}$

где $H = \begin{pmatrix} W & W \\ W^T & Q \end{pmatrix}$ ($W = [w_1, \dots, w_p]$, $Q = [q_1, \dots, q_m]$) – диагональная матрица положительно определённых весовых коэффициентов элементов ДРК и матрицы невязки. Данная постановка задачи позволяет решать задачу декомпозиции известными методами квадратичного программирования.

Модель движительно-рулевого комплекса. В качестве модели для сравнительного анализа представленных методов был рассмотрен избыточный движительно-рулевой комплекс автономного необитаемого аппарата ММТ-3000. Он состоит из четырех движителей, расположенных под углом $\alpha = 22,5$ градусов к продольной оси аппарата. За счет данной конфигурации возможно управление упором вдоль продольной оси T_x , моментом по курсу M_z и моментом по

дифференту M_y , таким образом уравнение распределения управляющих воздействий может быть записано следующим образом:

$$\begin{pmatrix} T_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \cos \alpha \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & P_d^x - P_d^z & P_u^x - P_u^z \\ P_l^x - P_l^y & P_r^x - P_r^y & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_l \\ t_r \\ t_d \\ t_u \end{pmatrix} \quad (7)$$

где P_i^j – проекция на i -ую ось положения точки приложения упора -го двигателя в связанной с аппаратом системе координат, t_l, t_r, t_d, t_u – упоры создаваемые левым, правым, нижним и верхним движителем соответственно.

Результаты численного моделирования. Для удобства восприятия при численном моделировании была рассмотрена пара управляющих воздействий T_x и M_z . На рисунке 1 представлена визуализация множеств всех возможных значений упора вперёд T_x и момента по курсу M_z , которые могут быть реализованы при помощи различных подходов к распределению управляющих воздействий между элементами движительно-рулевого комплекса.

В таблице 1 приведены относительные оценки работы алгоритмов в среде MATLAB по четырём основным параметрам: среднее время работы алгоритма, размер области возможных значений, средняя потребляемая мощность, а также средняя норма расхождения целевого и фактически сформированного управляющего воздействия.

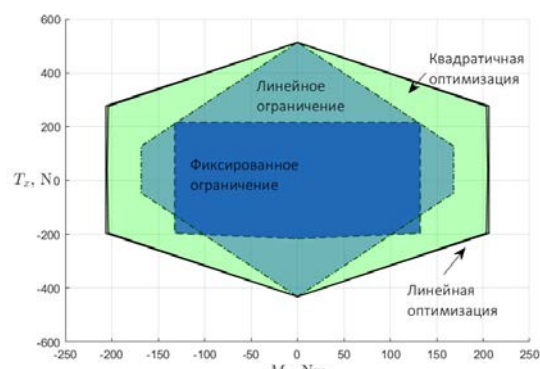


Рис 1. Области возможных значений управляющих воздействий при различных методах формирования управляющих воздействий.

Т а б л и ц а 1

Результаты модельных вычислений

Тип алгоритма	Фиксированное ограничение	Линейное ограничение	Линейная оптимизация	Квадратичная оптимизация
Время работы алгоритма, %	-	+4,6%	+282,4%	+51,7%
Размер области возможных значений, %	-	+68,8%	+162,1%	+158,4%
Средняя потребляемая мощность, %	-	+1,3%	+18,4%	+0,6%
Норма вектора невязки управления, %	+0,1%	+0,1%	+4,6%	-

Закключение. В ходе исследования была произведена качественная оценка работы различных алгоритмов распределения управляющих воздействий. Показано что выбор алгоритма существенно влияет на качество управления и потребляемую мощность движительно-рулевого комплекса подводного аппарата, что в существенной мере определяет автономность и дальность хода автономного необитаемого подводного аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Omerdic, E., Trslic, P., Kaknjø, A., Weir, A., Rao, M., Dooly, G., & Toal, D. (2020). Geometric Insight into the Control Allocation Problem for Open-Frame ROVs and Visualisation of Solution. *Robotics*, 9(1), 7.
2. Baldini, A., Fasano, A., Felicetti, R., Freddi, A., Longhi, S., & Monteriù, A. (2018). A Constrained Thrust Allocation Algorithm for Remotely Operated Vehicles. *IFAC-PapersOnLine*, 51(29), 250-255.
3. Chu, Z., Luo, C., & Zhu, D. (2018, December). Adaptive fault-tolerant control for a class of remotely operated vehicles under thruster redundancy. In *2018 IEEE 8th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS)* (pp. 1-6). IEEE.

4. **Мартынова Л.А., Розенгауз М.Б.** Подход к реконфигурации системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата. *Гироскопия и навигация*, 2 (109), стр 131-146, 2020 г.
5. Johansen, T. A., & Fossen, T. I. (2013). Control allocation—A survey. *Automatica*, 49(5), 1087-1103.
6. **Костенко В.В., Павин А.М.** (2016). К вопросу обеспечения независимости управляющих воздействий движительно-рулевого комплекса подводного аппарата. *Технические проблемы освоения Мирового океана*, 6, 118-123.
7. **Костенко В.В.** Алгоритмы управления движительно-рулевым комплексом привязного телеуправляемого подводного аппарата // «Мехатроника, автоматизация, управление» №9 2006 г., стр.31-36.
8. **Durham, W. C.** (1993). Constrained control allocation. *Journal of Guidance, control, and Dynamics*, 16(4), 717-725.
9. **Bodson, M.** (2002). Evaluation of optimization methods for control allocation. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 25(4), 703-711.
10. **Petersen, J. A., & Bodson, M.** (2005). Constrained quadratic programming techniques for control allocation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 14(1), 91-98.

V.V. Kostenko, A.Yu. Tolstonogov (Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok).

Abstract. The report presents various methods to the allocation problem with taking into account an over actuated propulsion system and actuator constraints. Comparison of the approaches by size of a feasible set, compute time, consumed power and target force error are presented. It is shown that the choice of an allocation method significantly affects the quality of control of an underwater vehicle and consumed power during maneuvers.

О.Б. БОРИСОВ, К.Б. ТИТОВ
(Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
Санкт-Петербург)

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В АЛГОРИТМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ НЕОБИТАЕМЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ

Предложена модель искусственной нейронной сети в составе системы формирования управляющего воздействия конвейерного типа для решения задачи управления автономным необитаемым подводным аппаратом при его маневрировании во взаимодействии с подводным объектом. Применение искусственной нейронной сети в алгоритме управления позволит учитывать скрытые, неявные закономерности движения объекта и тем самым повысить обоснованность принятия решений.

В последние годы большой интерес вызывает использование в морской практике автономных необитаемых аппаратов. Актуальна задача поиска и обнаружения подвижного объекта с помощью использования автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). Управление маневрированием АНПА при его взаимодействии с обнаруженным подвижным объектом представляет собой сложную инвариантную многопараметрическую задачу с большим количеством неизвестных, к числу которых относятся относительные параметры движения объекта (цели) и субъекта (АНПА) маневрирования, а также параметры внешней среды.

В общем виде задача может быть сформулирована следующим образом. Пусть АНПА осуществляет маневрирование относительно обнаруженного подводного объекта в заданном районе S в течение времени, ограниченном выполнением миссии. Миссия заключается в сопровождении объекта. Входными параметрами для системы управления АНПА является вектор $\bar{X}(t_i) \ni \{x(t_i)\}$, где $\{x(t_i)\}$, $i=0,1,2,\dots, T-1$ – параметры движения объекта (цели) и субъекта (АНПА) маневрирования, а также параметры внешней среды. Требуется выполнять в течение времени выполнения миссии оценку текущей обстановки, определять параметры движения объекта и вырабатывать управленческие решения \bar{W}_{opt} на маневрирование субъекта.

Алгоритм решения маневровой задачи с необходимостью включает прогнозирование и анализ возможных вариантов развития событий и выбор наиболее целесообразного в текущий момент времени варианта.

Варианты событий учитывают различные действия объекта и субъекта маневрирования при взаимодействии, такие как сохранение оптимальной дистанции между ними, сближение, преследование; уклонение от атаки объекта; реализация действий при потере контакта и другие.

Система управления маневрированием АНПА при его взаимодействии с подвижным объектом должна быть обеспечена не только входными параметрами, необходимыми и достаточными для принятия управляющего решения, но также должны быть известны значения каждого параметра при различных вариантах изменения обстановки. Подобные задачи рассматриваются в теории исследования операций [1].

Простейшую схему выработки управляющего решения можно представить в общем случае в виде конвейерной схемы (рис. 1). Входными данными для такой системы управления являются T векторов $\bar{X}(t_i)$, $i=0,1,2,\dots, T-1$ входных параметров. На выходе конвейера формируется вектор параметров управляющего воздействия на системы движения АНПА. Столбцы схемы отображают пошаговое исполнение операций, а строки – вид операции на каждом шаге программы. Схема имеет три операционных блока. На первом шаге конвейер делает холостой ход («хх»). Первый результат управляющего воздействия $УВ_1$ получается на третьем шаге.

Приведенная схема достаточно примитивна и не учитывает варианты развития событий. В результате субъект может выполнять движение только реагируя на действие объекта без возможности упреждения возможного развития события. Такая технология дает эффект только, если движение объекта выполняется по априори известному сценарию. В противном случае задача маневрирования может либо вообще быть невыполненной, либо выполняться с угрозой безопасности АНПА.

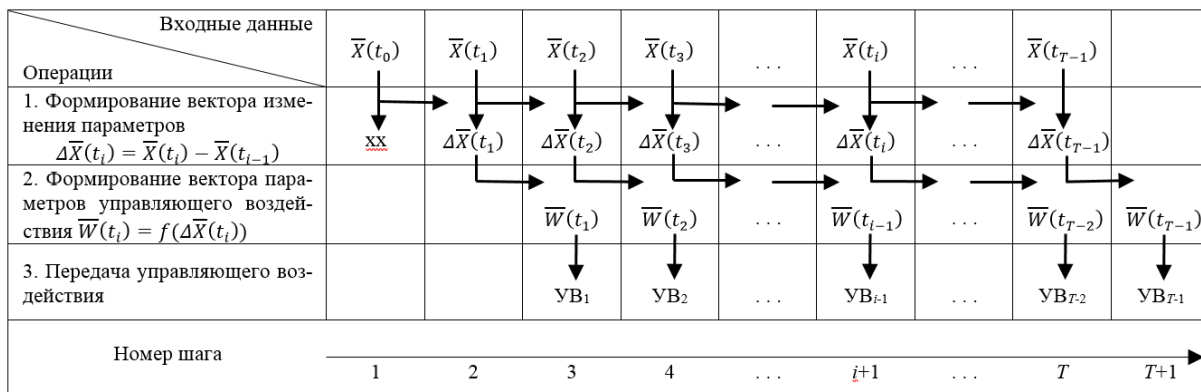


Рис. 1. Обобщенная схема формирования управляющего воздействия конвейерного типа

Недостаток данной схемы может быть устранен с повышением интеллектуализации системы управления АНПА путем применения методов математической оптимизации и введением в контур управления искусственной нейронной сети (ИНС) [2].

Концепция управления подводным аппаратом с применением методов математических оптимизации и ИНС описана в работе [3]. Совместное использование методов математической оптимизации и ИНС позволяет усилить их сильные стороны и компенсировать недостатки и, таким образом, повышать обоснованность принятия управленческих решений.

Усовершенствованная схема формирования управляющего воздействия приведена на рис. 2.

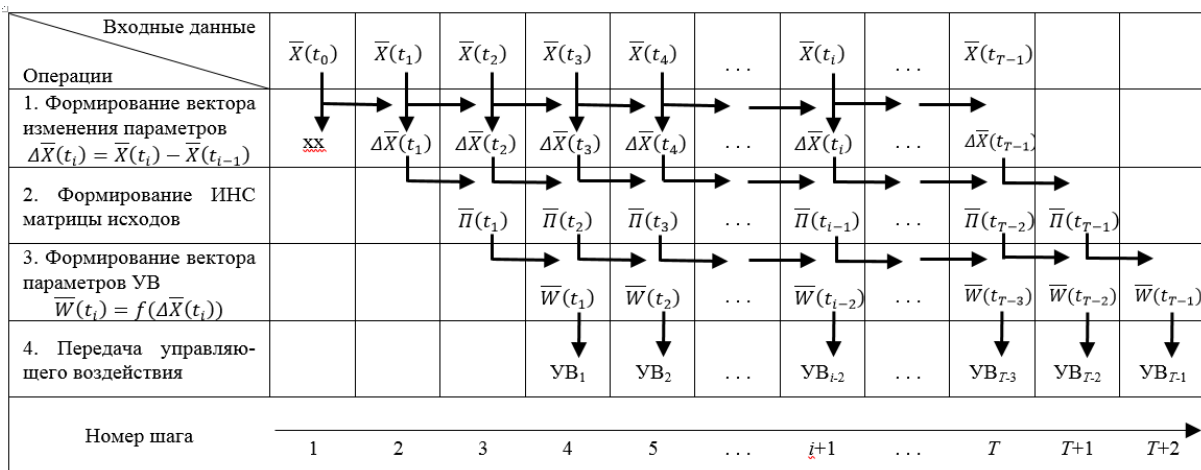


Рис. 2. Обобщенная схема формирования управляющего воздействия с интегрированной ИНС

Эта схема имеет дополнительный операционный блок, который отображает получение решения с помощью ИНС, и формирует первый результат управляющего воздействия на четвертом шаге конвейера.

Алгоритм получения решения на базе ИНС показан на рис. 3. Композиционно алгоритм включает два модуля: «Искусственную нейронную сеть» (ИНС) и «Математические методы обработки данных» (МАТ). В задачи модуля ИНС входит прогнозирование и формирование вектора параметров возможных вариантов развития событий (исходов) и обоснование выбора наилучшего из них [4]. Основными задачами модуля МАТ являются расчет параметров для вариантов развития событий (исходов) и математическое обоснование выбора наиболее целесообразных в текущий момент времени параметров управления.

Входными данными для ИНС являются векторы изменения параметров движения объекта $\Delta\bar{X}(t_i) = \bar{X}(t_i) - \bar{X}(t_{i-1})$, $i=0, 1, 2, \dots, T$. Сформированные на выходе модуля ФОРМИРОВАНИЕ ВЕКТОРА ИСХОДОВ исходы образуют прогнозируемую матрицу $\bar{\Pi} = (\pi_{jk})_{M \times N}$, элементами которой являются векторы событий различных исходов. Здесь M – число параметров в k -ом исходе, N – число исходов. Используя математический аппарат теории исследования операций, рассчитываются вероятностные параметры векторов событий различных исходов $\bar{W} = \{w_i\}$, $i=1,$

2, ... N. Выходное управляющее воздействие $УВ(t_i)$ формируется на основе выбора наилучшего по своим параметрам вектора \bar{W}_{opt} среди всех векторов событий различных исходов, спрогнозированных на данном шаге.

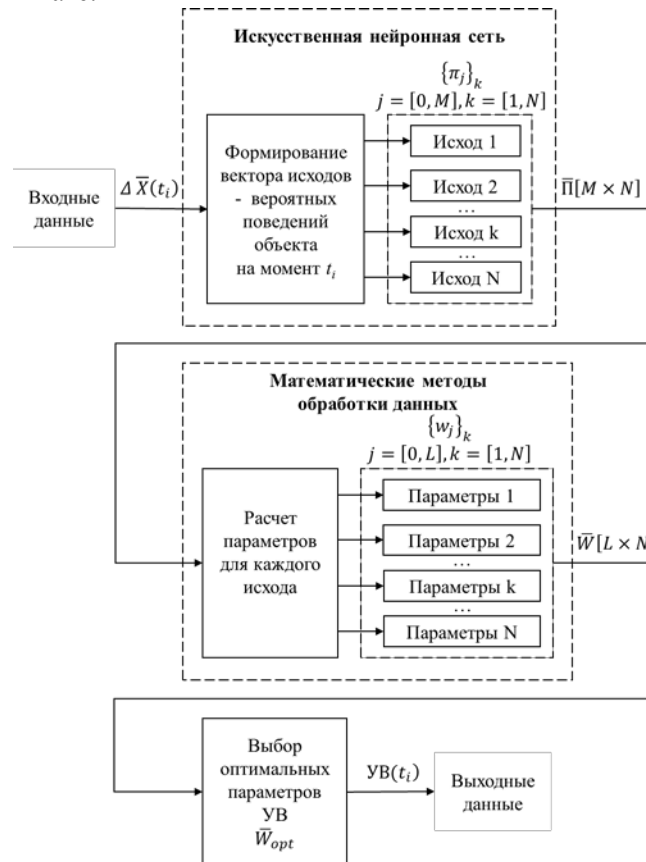


Рис. 3. Обобщенная схема выбора наиболее целесообразного управляющего воздействия в ИНС

Таким образом, использование ИНС в системе управления АНПА позволяет на основе прогнозирования возможных вариантов событий выбирать наиболее вероятный в текущий момент времени вариант события и формировать оптимальный набор параметров управления движением АНПА, что принципиально обеспечивает принятие упреждающего решения с определенной степенью обоснованности.

В связи с трудностью применения традиционных подходов при оценке качества принимаемых управленческих решений оценку качества целесообразно выполнять, используя оценку степени обоснованности решений. В работе [5] показано, что при использовании системы поддержки принятия решения увеличение степени обоснованности достигается за счет уменьшения степени неопределенности принимаемых решений, которое является результатом функционирования СППР.

Пусть q – количество источников формирования сигналов; U_j – дискретные ансамбли сигналов, приходящих от источника j ; $j = \overline{1, q}$ в ИНС. Считаем, что сообщения, поступающие на вход ИНС, являются равновероятными, то есть $p(u_{ij}) = 1/N_j$, где N_j – глубина алфавита ансамбля параметров источника сообщения.

Тогда неопределенность на входе системы ИНС может быть определена как оценка энтропии ансамбля и равна [5]:

$$H(u) = \sum_{j=1}^q \ln U_j = \ln \prod_{j=1}^q N_j. \quad (1)$$

Аналогично определяется оценка неопределенности на выходе ИНС:

$$H(w) = \sum_{j=1}^q \ln U_{j'} = \ln \prod_{j=1}^q N_{j'}, \quad (2)$$

где $N_{j'}$ – глубина алфавита каждого ансамбля.

Степень устранения неопределенности может быть рассчитана как разница энтропии на входе и на выходе ИНС:

$$\Delta E = H(u) - H(w) = \ln \prod_{j=1}^q N_j - \ln \prod_{j=1}^q N_{j'}; \quad (3)$$

$$\Delta E = \ln \prod_{j=1}^q \frac{N_j}{N_{j'}}. \quad (4)$$

Относительный коэффициент устранения неопределенности:

$$E = \frac{\Delta E}{H(u)} = \frac{\ln \prod_{j=1}^q \frac{N_j}{N_{j'}}}{\ln \prod_{j=1}^q N_j}. \quad (5)$$

Таким образом, применение математического аппарата и методов теории исследования операций и модели искусственной нейронной сети в схеме формирования управляющего воздействия конвейерного типа для решения задачи маневрирования АНПА при взаимодействии с подводным объектом позволит учитывать скрытые, неявные закономерности движения объекта, уменьшить степень неопределенности принимаемых решений и тем самым повысить обоснованность принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волгин Н.С. Исследование операций. Часть 1. – СПб, 1999. 366 с.
2. Кан К.А. Нейронный сети. Эволюция. Сана cap. 2018. 288 с.
3. Борисов О.Д., Ушаков А.О., Титов К.Б. К вопросу интеграции искусственных нейронных сетей в алгоритм управления автономными необитаемыми подводными аппаратами // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 14. С. 553-556
4. Каширина И. Л., Демченко М. В. Исследование и сравнительный анализ методов оптимизации, используемых при обучении нейронных сетей // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2018. № 4. С. 123-132.
5. Герасимов Б.М. Оценка обоснованности решений и их формирование / Б.М. Герасимов, Ю.Я. самохвалов. – К. : УСМ, 1998. - № 3(155). С. 68-73.

O.D.Borisov, K.B.Titov (Naval Academy, Saint-Petersburg). **Application of artificial neural networks in the Autonomous uninhabited underwater vehicle control algorithm**

Abstract. A model of an artificial neural network as part of a conveyor-type control action formation system is proposed for solving the problem of controlling an Autonomous unmanned underwater vehicle during its maneuvering in interaction with an underwater object. The use of an artificial neural network in the control algorithm will allow taking into account the hidden, implicit patterns of object movement and thereby increase the validity of decision making.

В.Ф. ФИЛАРЕТОВ

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток)

Д.А. ЮХИМЕЦ,

(Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток)

СИСТЕМА С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

В работе предложен метод синтеза двухконтурной системы управления, обеспечивающей компенсацию негативных эффектов взаимодействия АНПА с вязкой средой и придание им заданных динамических свойств за счет использования регулятора с самонастройкой по эталонной модели. При этом параметры этого регулятора выбираются так, чтобы уменьшить возможную амплитуду разрывного сигнала управления скоростью движения АНПА, чтобы снизить негативное влияние на исполнительные устройства АНПА. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность синтезированной двухконтурной системы управления.

Введение. В настоящее время автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) кроме традиционных задач используются для решения задач, связанных с обслуживанием подводных коммуникаций и различных подводных производственных комплексов [1]. Для эффективного выполнения указанных операций АНПА должны иметь высококачественные системы управления, которые обеспечат их точное движение (в том числе в составе группы) как по протяженным пространственным траекториям, так и при выполнении сложных маневров вблизи объектов подводной инфраструктуры с изменением всех линейных и угловых координат. При этом основной сложностью, возникающей в процессе синтеза систем управления АНПА, является существенная нелинейность указанных систем, наличие перекрестных связей между их степенями свободы, а также неопределенность их параметров.

В настоящее время большинство систем управления АНПА строятся на основе типовых линейных регуляторов или регуляторов различного типа, синтезированных для управления отдельными степенями свободы с использованием упрощенных моделей динамики АНПА. Недостатком подобных систем управления, является существенное ухудшение показателей качества их управления при изменении скоростей движения АНПА в процессе перемещения по пространственным траекториям с одновременным изменением нескольких линейных и угловых координат или параметров АНПА [2]. Другая группа подходов предполагает создание адаптивных систем управления [3], позволяющих подстраивать их параметры в зависимости от изменения параметров АНПА и внешних воздействий. При этом одними из наиболее эффективных типов систем управления сложными нелинейными динамическими объектами с неизвестными или переменными параметрами являются системы с разрывным управлением, к которым относятся системы с переменной структурой [4] и самонастройкой по эталонной модели [5]. Однако недостатком этих систем является большая амплитуда разрывных сигналов управления, которая негативно воздействует на механические части движителей АНПА.

Для устранения указанных недостатков, возникающих в процессе реализации разрывных законов управления, необходимо снижать амплитуду разрывного сигнала, не уменьшая робастные свойства системы управления, а также учитывать возможные неопределенности в модели движителей АНПА. Далее в работе решается именно эта задача.

Постановка задачи. В работе исследуется АНПА, описываемый матричными уравнениями [6]:

$$M\dot{v} + (C(v) + D(v))v + g(\eta) = \tau, \quad \dot{\eta} = J(\eta)v, \quad (1)$$

где: $M = M_R + M_A \in R^{6 \times 6}$; M_R - матрица инерции; M_A - матрица присоединенных масс и моментов инерции жидкости; $C(M, v) \in R^{6 \times 6}$ - матрица кориолисовых и центробежных сил и моментов; $D(d_1, d_2, v) \in R^{6 \times 6}$ - матрица гидродинамических сил и моментов; $g(\eta) \in R^6$ - вектор гидростатических сил и моментов; $\eta = [x, y, z, \varphi, \theta, \psi]^T$ - вектор положения и ориента-

ции АНПА в абсолютной системе координат (СК); $\tau = [\tau_x, \tau_y, \tau_z, M_x, M_y, M_z]^T$ – вектор сил тяг и моментов, развиваемых движительным комплексом АНПА в связанной СК; $v = [v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$ – вектор линейных и угловых скоростей в связанной СК. В системе (1) динамика движителей не учитывается, так как постоянные времени самого АНПА обычно намного больше постоянных времени его движителей.

Параметры АНПА и их движительного комплекса точно неизвестны и могут меняться при транспортировке заранее неизвестного груза, поэтому систему (1) можно записать в виде:

$$(M_n + M_\Delta)\dot{v} + \left((C_n(M_n, v) + C_\Delta(M_\Delta v)) \right) v + \quad (2)$$

$$+ (D_n(d_{n1}, d_{n2}, v) + D_\Delta(d_{\Delta1}, d_{\Delta2}, v)) v + g_n(\eta) + g_\Delta(\eta) = \tau_n + \tau_\Delta,$$

$$M = M_n + M_\Delta > 0, \quad |m_{\Delta,ij}| \leq \bar{m}_{\Delta,ij}, \quad m_{n,ij} + m_{\Delta,ij} > 0, \quad |c_{\Delta,ij}| \leq \bar{c}_{\Delta,ij},$$

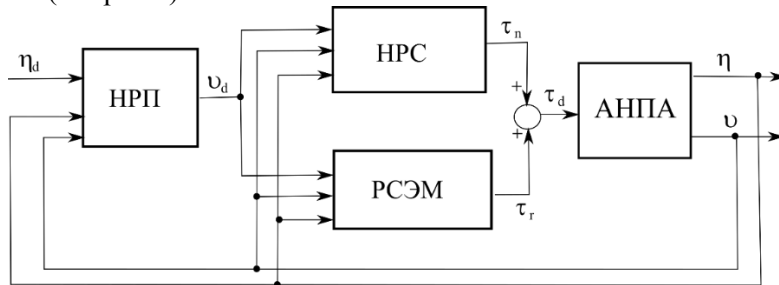
$$|d_{\Delta1,j}| \leq \bar{d}_{\Delta1,j}, \quad d_{n1,j} + d_{\Delta1,j} > 0, \quad |d_{\Delta2,j}| \leq \bar{d}_{\Delta2,j}, \quad d_{n2,j} + d_{\Delta2,j} > 0,$$

$$|g_{\Delta,i}| \leq \bar{g}_{\Delta,i}, \quad |\tau_{\Delta,i}| \leq \bar{\tau}_{\Delta,i}, \quad i = (1,6), \quad j = (1,6),$$

где \bar{m}_{ij} , $\bar{d}_{\Delta1j}$, $\bar{d}_{\Delta2j}$, $\bar{c}_{\Delta ij}$, $\bar{g}_{\Delta i}$, $\bar{\tau}_{\Delta i}$ – оценки максимальных отклонений значений соответствующих параметров АНПА, величин элементов матриц кориолисовых и гидродинамических сил и моментов, гидростатических сил и моментов, а также сил тяг и моментов, развиваемых движителями, от их номинальных значений.

Таким образом, в работе ставится задача разработки подхода к синтезу системы управления пространственным движением АНПА, обеспечивающей заданное качество управления при любом изменении параметров АНПА и их движителей в диапазонах (2). Для поддержания требуемой точности работы указанной системы будет использована самонастройка по эталонной модели с уменьшенной амплитудой разрывных сигналов, обеспечивающих снижение влияния неопределенных и переменных параметров АНПА на точность их работы.

Синтез системы управления АНПА. Для решения поставленной задачи будет разрабатываться система управления, содержащая контур управления скоростью и контур управления положением АНПА (см. рис.1).



НРП – нелинейный регулятор положения, НРС – нелинейный регулятор скорости, РСЭМ – регулятор с самонастройкой по эталонной модели

Рис.1. Обобщенная схема системы управления АНПА

Система внутреннего контура управления скоростью движения АНПА обеспечивает развязку каналов управления всеми его степенями свободы, компенсацию неопределенных и переменных параметров аппарата и придание ему желаемых динамических свойств. Внешний контур положения обеспечивает независимое управление линейными и угловыми координатами АНПА по всем его степеням свободы.

Сигнал управления скоростью движения АНПА формируется из двух сигналов:

$$\tau_d = \tau_n + \tau_r, \quad (3)$$

$$\tau_n = M_n \alpha + C_n(M_n, v)v + D_n(d_{n1}, d_{n2}, v) + g_n(\eta), \quad \alpha = \dot{v}_d - \Lambda e, \quad e = v - v_d,$$

$$\tau_r = h \text{sat}(e_m), \quad \text{sat}(e_m) = \begin{cases} \text{sign}(e_m), & \text{если } |e_m| \geq e_d \\ k_s e_m, & \text{если } |e_m| < e_d \end{cases}.$$

$$h_{ii} > |H_i|, \quad i = (1,6), \quad H = M_\Delta \dot{v}_m + M_n(\dot{v}_m - \alpha) + (C_\Delta(v) + D_\Delta(v))v + g_\Delta(\eta) - \tau_\Delta,$$

где: $\tau_n \in R^6$ – сигнал на выходе нелинейного регулятора, обеспечивающий АНПА желаемые динамические характеристики при номинальных значениях его параметров; $\tau_r \in R^6$ – дополнительный регулятор с самонастройкой по эталонной модели, компенсирующий возможные отклонения параметров АНПА от заданных номинальных значений; $v_d \in R^6$ – желаемое значение вектора скорости движения АНПА в связанной СК; где $\Lambda \in R^{6 \times 6}$ – диагональная матрица по-

ложительных коэффициентов; $e_m = v_m - v$; v_m – выходной сигнал эталонной модели, описываемой уравнением $\dot{v}_m + \Lambda v_m = \dot{v}_d + \Lambda v_d$. Использование переменной амплитуды, зависящей от текущей скорости движения АНПА, и функции насыщения при формировании τ_r позволяет снизить амплитуду сигнала самонастройки и подавить высокочастотные колебания без снижения робастных свойств системы управления.

Синтез контура управления положением и ориентацией АНПА выполняется с использованием модели движения АНПА, которая с учетом (3) описывается уравнениями:

$$\dot{v} + \Lambda v = \dot{v}_d + \Lambda v_d, \quad \dot{\eta} = J(\eta)v. \quad (4)$$

Для того, чтобы обеспечить системе (4) желаемые динамические свойства, описываемые уравнением

$$\ddot{\eta} + \Lambda \dot{\eta} + \delta \eta = \Lambda \dot{\eta}_d + \delta \eta_d, \quad (5)$$

где: $\eta_d \in R^6$ – вектор желаемого положения и ориентации АНПА в абсолютной СК; $\delta \in R^{6 \times 6}$ – диагональная матрица положительных коэффициентов, синтезируется регулятор вида:

$$\dot{v}_d = J^{-1} \delta (\eta_d - \eta) + \Lambda (v - v_d + J^{-1} \dot{\eta}_d) - J^{-1} (\Lambda J + \dot{J}) v. \quad (6)$$

В результате система управления (3), (4) позволяет обеспечить АНПА желаемые динамические свойства в условиях изменения параметров АНПА в диапазонах (2). При этом для настройки указанной системы управления достаточно задать матрицу Λ .

Результаты моделирования. Для проверки эффективности предложенного подхода было проведено математическое моделирование в среде Matlab. В процессе моделирования исследовалось движение АНПА в двух режимах: подход к заданной точке с заданной ориентацией и движение вдоль программной траектории.

Результаты моделирования показывают, что использование предложенной системы управления позволяет обеспечить АНПА динамические свойства, описываемые уравнением (5), при изменениях параметров АНПА в диапазонах (2). Это позволяет обеспечить точный подход в точку с заданными координатами с заданной ориентацией без перерегулирования, что особенно важно при выполнении подводных операций вблизи объектов подводной инфраструктуры. Также указанная система управления позволяет обеспечить высокую точность движения вдоль протяженных пространственных траекторий, что позволяет обеспечить эффективное выполнение транспортных операций, в том числе в составе группы АНПА.

Заключение. В работе предложен метод синтеза системы управления пространственным движением АНПА, позволяющей учесть перекрестные связи между его степенями свободы, а также переменные или неопределенные параметры. Преимуществом предложенной системы управления по сравнению с традиционными, построенными на основе ПИД-регуляторов, является более высокая точность управления при движении по сложным пространственным траекториям независимо от изменения параметров АНПА. Результаты моделирования подтвердили высокую эффективность синтезированной двухконтурной системы с эталонной моделью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 19-08-00347 и 20-38-70161)

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuh J., Marani G., Blidberg R. Applications of marine robotic vehicles, *Intellegent Service Robotics*, 2011, no. 2, pp. 221-231.
2. Lakhwani D. A., Adhyaru D. M. Performance comparison of PD, PI and LQR controller of autonomous under water vehicle, *Proc of the 2013 Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE)*, Ahmedabad, 2013, pp. 1-6
3. Narasimhan M., Singh, S.N. Adaptive optimal control of an autonomous underwater vehicle in the dive plane using dorsal fins, *Ocean Engineering*, – 2006, vol.33, pp. 404–416
4. Xu J., Wang M., Qiao L. Dynamical sliding mode control for the trajectory tracking of underactuated unmanned underwater vehicles, *Ocean Engineering*, 2015, vol. 105, pp. 54–63
5. Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А. Системы и устройства управления подводных роботов, М.: Наука, 2005, 270 с

6. Fossen T. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2011, 582 p
-

V.F. Filaretov (Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok), **D.A. Yukhimets** (Institute of Marine Technology Problem FEB RAS, Vladivostok). **System with Reference Model for Control of Autonomous Underwater Vehicle Spatial Movement**

Abstract. The synthesis method of two-loop control system that compensates for the negative effects of AUV interaction with a viscous environment and gives them the specified dynamic properties when moving by using a controller with a self-tuning by reference model is proposed in this paper. In this case, the parameters of this controller are selected to reduce the possible amplitude of the discontinuous signal of the speed control of the AUV, in order to reduce the negative impact on the AUV thrusters. The simulation results confirmed the high efficiency of the synthesized two-loop control system.

■ Секция 2 ■

■ УПРАВЛЕНИЕ МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ИХ СКРЫТНОСТЬЮ ■

С. Н. ВАСИЛЬЕВ, А. А. ГАЛЯЕВ
(ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Е. И. ЯКУШЕНКО
(НПО Спецматериалов, Санкт-Петербург)

В. В. ЗАЛЕТИН
(НПК «Вакуумные разработки», Санкт-Петербург)

**ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ
ПАРАМЕТРАМИ ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ
РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРИРУЮЩИХ ДАТЧИКОВ**

Рассматривается круг вопросов и задач, связанных с построением измерительной системы на основе интегрирующих оптоволоконных датчиков для контроля и управления низкочастотными акустическими колебаниями корабельных корпусных конструкций.

Введение. Управление динамическими параметрами протяженных конструкций невозможно без знания характеристик их пространственно-временного распределения.

В тоже время, контроль динамических параметров протяженных конструкций, таких как корпуса самолетов, судов, мосты и т.д., с априори неизвестным амплитудно-фазовым распределением уровней нормального смещения поверхности, всегда представлялся сложной задачей. Решение задачи восстановления двумерного поля вибраций требует установки системы датчиков в узлах сетки, шаг которой не превышает наименьшего пространственного масштаба поля. В результате, для того, чтобы контролировать всю площадь поверхности такой конструкции, необходимо использовать тысячи (десятки тысяч) акселерометров, предварительных усилителей и другой аппаратуры, что делает решение такой задачи практически невозможным. В этой связи применение для этих целей локальных датчиков представляется нецелесообразным.

Контроль и управление динамическими параметрами протяженных конструкций. Этим требованием в максимальной степени соответствуют интегрирующие волоконно-оптические датчики (ИВОД) [1-3]. Так, для контроля динамических параметров корпуса супертанкера типа TI Europe, длиной 380 метров и шириной 68 метров, понадобится система состоящая всего из 250 ИВОД, чтобы разделить поверхность корпуса судна на элементарные участки площадью 1 метр квадратный (рис.1).

При плавании судна на взволнованной поверхности на его корпус действуют силы поддержания, все время меняющие свою величину на отдельных участках длины судна. Максимального значения эти силы достигают тогда, когда судно идет курсом, перпендикулярным направлению волны, длина которой равна длине судна. При прохождении вершины волны у миделя, в средней части корпуса образуются избыточные силы поддержания с недостатком их в оконечностях. От неравномерного распределения сил поддержания в этом случае получается перегиб

корпуса. Через короткий промежуток времени судно переходит на подошву волны, при этом избыток сил поддержания перемещается к оконечностям, отчего возникает прогиб корпуса. При этом, уровни возникающих деформаций могут превысить критические, что приведет к перелому корпуса судна.

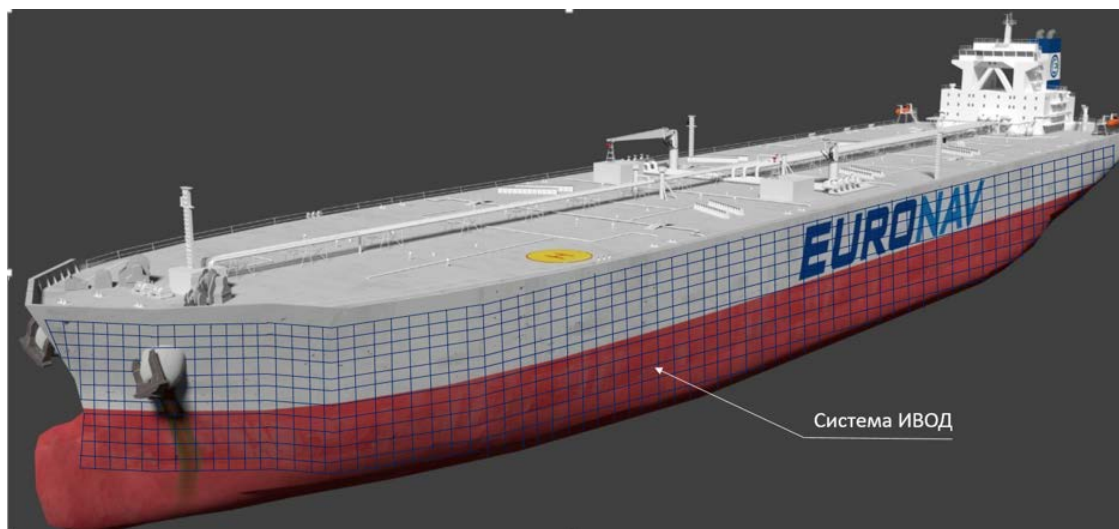


Рис.1. Модель танкера с размещенной системой ИВОД.

Вибрация корпуса протяженной конструкции происходит вследствие воздействия на него энергии виброактивного оборудования. При этом акустическая энергия от источника возбуждения (например, дизель-генератора) распространяется по корабельным конструкциям, которые в данном случае являются передаточными элементами, и воздействует на корпус судна, вызывая его вибрацию (рис.2).

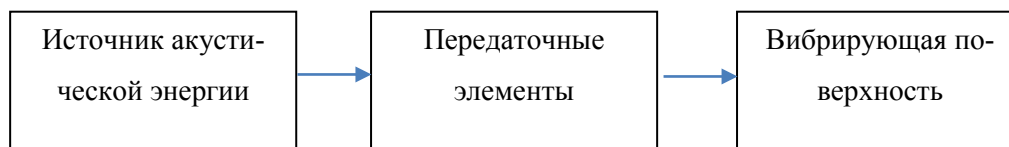


Рис.2. Укрупненная схема передачи акустической энергии.

Причем, зная уровни вибрации на лапах механизма, или уровень воздушного шума в отсеке, или уровень вибрации трубопровода и т.д., практически невозможно восстановить поле вибрации поверхности корпуса (вибрирующего элемента) вследствие сложных процессов распространения акустической энергии по корпусным конструкциям (передаточным элементам). Необходимы практические измерения динамических параметров поверхности внешнего корпуса.

Применение системы интегрирующих волоконно-оптических датчиков (ИВОД) дает простое и эффективное решение этой задачи. Причем, контроль всей поверхности корпуса системой ИВОД обеспечивает возможности управления параметрами вибрации последней вследствие организации заданных воздействий на передаточные элементы на путях распространения акустической энергии.

При этом, в укрупненной схеме передачи акустической энергии по корпусным конструкциям получаем обратную связь, обеспечивающую необходимый ресурс для управления вибрационным полем внешнего корпуса протяженной конструкции.

Причем, управление акустической энергией, распространяющейся по судовым конструкциям, возможно различными способами: изменением жёсткости пневмоамортизаторов, использованием виброактивных устройств, сдвигом фазы в «управляемых звуковых мостиках» и т.д.

Для снижения текущего уровня акустического шума используются системы пассивного и активного гашения колебаний конструкций. Известно, что на низких частотах основную энергию несет плоская волна, тогда как на высоких частотах волновой фронт имеет более сложный

вид. Поэтому для снижения уровня акустического сигнала на высоких частотах используются, как правило, пассивные средства защиты, в то время как на низких частотах наиболее эффективными являются активные средства гашения, которые используют дополнительные источники вибрационной энергии для формирования компенсирующего излучения.

Управление по обратной связи является одной из стратегий управления активным шумоподавлением. Эта стратегия может быть полезна, когда шум является широкополосным и при отсутствии подходящего опорного сигнала. Обратная связь по выходу, вероятно, самая простая стратегия управления с обратной связью, но могут применяться и более сложные методы управления, основанные на оптимальном управлении с использованием линейного квадратичного регулятора (ЛКР) или линейной квадратичной Гауссовой (LQG) стратегии управления. Цель управления состоит в том, чтобы устранить не только нежелательные шумы, но и предотвратить появление звукового сигнала от системы активного шумоподавления [4]. При оптимальных подходах к управлению с обратной связью требуется знание модели управляемой системы. Теоретические модели зачастую недостаточно точны, и поэтому для получения результата используется системная идентификация, основанная на экспериментальных данных.

Заключение. Собирая воедино все выше сказанное, получаем, что разработка и создание измерительной системы контроля низкочастотных колебаний судна по основе ИВОД необходимо влекут за собой комплексное решение задач волновой динамики для определения источников шумов, задач идентификации для создания системы управления системой активного шумоподавления, а также совместное рассмотрение и решение задач управления режимами судна, в том числе для предотвращения критических деформаций последнего.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zaletin V.V.** Measurement of vibrating parameters of extended designs by system integrating fiber-optical sensors // Fourth International Congress on Sound and Vibration. St. Petersburg, 1996. - V.3 - 1837.
2. **Якушенко Е.И., Залетин В.В., Савицкий О.А., Сороковиков В.Н.** Экспериментальное подтверждение возможности использования интегрирующих волоконно-оптических датчиков для контроля динамических параметров протяженных конструкций //Морская радиоэлектроника, 2019, № 4 (70).
3. **Кульчин Ю.Н.** Распределенные волоконно-оптические системы. М.: Физматлит, 2001. - 272 с.
4. **Bagha A.K., Modak S.V.** Active structural-acoustic control of interior noise in a vibro-acoustic cavity incorporating system identification // Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 2017, Vol. 36(3) 261–276.

S.N. Vasilyev, A.A. Galyaev (ISC RAS, Moscow), **E.I. Yakushenko, V.V.Zaletin** (Sankt-Peterburg). **Monitoring and control of dynamic parameters of extended structures based on a distributed system of fiber-optic integrating sensors**

Abstract. A range of issues and tasks related to the construction of a measuring system based on integrating fiber-optic sensors for monitoring and controlling low-frequency acoustic vibrations of ship hull structures is considered.

Ю. Н. КУЛЬЧИН, Е. В. ЗАКАСОВСКАЯ
(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток)

Н. И. ДЕНИСОВА
(Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова)

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Использование распределенных информационно-измерительных систем открывает новые перспективы в процессе мониторинга крупногабаритных сложных технических объектов. В данной работе представлен краткий обзор научно-технических решений для использования распределенных волоконно-оптических измерительных систем на протяженных объектах критической инфраструктуры.

Введение. Мировые тенденции в области измерительных технологий претерпели за последние десятилетия значительные изменения. В настоящее время наукоемкое производство не обходится без постоянного контроля за динамикой поведения множества параметров распределенных физических полей (ФП) и мониторинга технических объектов.

Особый интерес вызывают измерительные системы, предназначенные для предотвращения техногенных или природных катастроф, растет потребность в высоконадежных системах охраны объектов, способных в реальном времени обнаруживать место проникновения и регистрировать координаты движущихся объектов в охраняемой зоне.

В огромной степени возросли требования к точности и надежности исполнительных машин и механизмов, особенно используемых в авиации, флоте и космических аппаратах. Создание и эксплуатация промышленных и энергетических сооружений, транспорта, нефтедобывающих платформ требует разработки протяженных систем контроля прочности и устойчивости различных конструкций в реальном времени.

Распределенные измерительные системы. В соответствии с современными тенденциями развития средств измерений, в случае большого объема собираемой и обрабатываемой информации, необходимо применение не множества отдельных измерительных приборов, а достаточно сложных устройств – распределенных информационно-измерительных систем (РИИС) [1].

В связи с неуклонным развитием и совершенствованием современных РИИС появилась необходимость в их классификации в соответствии с различными признаками, которые в полной мере отражают функциональные возможности, технические характеристики, область применения и архитектуру.

РИИС могут быть классифицированы на основе различных концепций, однако, определяющим является процесс сбора информации, от которого зависит тип измерительной сети. По используемой измерительной сети РИИС подразделяются на: проводные (рис. 1а), беспроводные (рис. 1б), гибридные (рис. 1в).

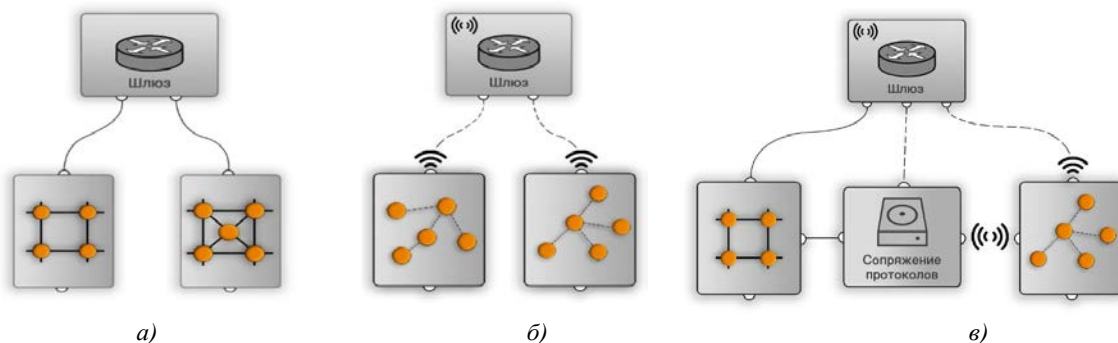


Рис. 1. Классификация РИИС по типу измерительной сети

Среди проводных РИИС наибольшую популярность приобрели распределенные волоконно-оптические измерительные системы (РВОИС) на основе волоконно-оптических измерительных сетей (ВОИС) [1]. Такие системы представляют собой наиболее эффективный инструмент для исследования и контроля внешних физических воздействий на протяженные объекты в режиме реального времени.

ВОИС состоит из набора волоконно-оптических измерительных линий (ИЛ), уложенных в соответствии с определенной схемой на исследуемой поверхности. Каждая ИЛ представляет собой непрерывный чувствительный участок волоконного световода, воспринимающего внешние воздействия [1-3]. Принимаемая величина на выходе протяженной волоконной ИЛ в этом случае аналогична сумме, получаемой при томографическом исследовании объектов и, таким образом, задача восстановления параметров распределенных ФП по характеристикам оптического излучения, проходящего по ВОИС, сводится к томографической [3]. Благодаря низким потерям на светопропускание в ВС, волоконные ИЛ могут иметь значительную длину. Поэтому, составленные из них сети могут быть использованы для наблюдения и контроля над крупномасштабными распределениями параметров ФП (электромагнитных, тепловых, акустических, гидроакустических и иных). Использование оптического волокна, обладающего большой гибкостью, делает возможным создание чувствительных элементов любой конфигурации. Это позволяет создавать протяженные ИЛ со сложной топологией и, как следствие, придавать чувствительность сложным по форме поверхностям на крупномасштабных областях пространства.

Для РВОИС в ИАПУ ДВО РАН впервые был предложен и экспериментально реализован принцип построения нового класса интерферометрических измерительных систем, который объединяет метод томографического сбора информации с помощью распределенной волоконно-оптической сети и метод обработки сигнала с помощью многоканального адаптивного голографического демодулятора, сформированного в фоторефрактивном кристалле. Применение данного принципа позволило восстановить динамику распределения во времени как амплитуды, так и фазы акустического поля с временным разрешением $1/50$ периода колебания и с пространственным разрешением 1.3 см , что является актуальным в задачах дефектоскопии и неразрушающего контроля [4]. Также были разработаны математические методы, обеспечивающие реконструкцию пространственных распределений параметров ФП, основанные на максимально обобщенных теоремах дискретизации на теоретико-групповой основе, а также нейросетевые технологичей обработки данных распределенных ВОИС [5-9].

С развитием систем сбора данных, информационных и сетевых технологий появилась необходимость в интеллектуализации промышленного производства. С каждым годом растет число самых разнообразных устройств, осуществляющих информационное взаимодействие друг с другом посредством общедоступных или частных сетей связи, причем в последние годы все большая часть таких устройств функционирует без непосредственного участия человека. Среди телекоммуникационных устройств, предназначенных не для взаимодействия между людьми, а для взаимодействия между человеком и некой неодушевленной "вещью" или между двумя "вещами", значительную долю составляют разнообразные сенсорные устройства (датчики), способные не только получать информацию о различных свойствах окружающей среды и находящихся в ней объектов, но и передавать эту информацию по беспроводным сетям связи другим устройствам.

Сенсорные устройства, объединенные в беспроводную сеть, открывают широкие перспективы в области непрерывного мониторинга и управления различными технологическими процессами. Однако полноценно развернуть интеллектуальные распределенные информационно-измерительные системы (ИРИИС), на основе проводных и/или беспроводных сетевых технологий в производстве и критических инфраструктурах пока что невозможно, прежде всего, в силу отсутствия стабильных механизмов передачи и обработки информации, удовлетворяющих требованиям информационной безопасности [10].

Объекты критической инфраструктуры. Разработка средств, позволяющих решить задачу измерения и адекватного представления распределения ФП, также актуальна и для многих практических применений. К ним, в частности, относятся: мониторинг со-

стояния поверхностей (обшивок); контроль технического состояния отдельных механизмов и конструкций.

При построении системы защиты важнейших объектов от различных угроз важной является задача "защиты от обнаружения". Так, например, подводная лодка (ПЛ) является источником физических полей (акустических, магнитных, гидродинамических, электрических, низкочастотных электромагнитных, полей кильватерного следа, тепловых, вторичных радиолокационных, оптико-локационных). Все эти поля выделяются на фоне естественных полей океана и выдают присутствие на глубине инородного объекта. Существенное влияние на скрытность подводной лодки оказывает акустическое поле, которое определяется главным образом шумностью корабля. Шумят корабельные механизмы (двигатели, насосы, вентиляторы, валы и проч.), гребные винты, вода, обтекающая корабль. Всё это требует применения современных средств мониторинга ФП для определения условий снижения "шумности" ПЛ, таких как ИРИИС, встроенных в обшивки корпусов ПЛ.

Заключение. Комплекс выполненных за последние 30 лет в ИАПУ ДВО РАН исследований и разработок позволил разработать физико-технические основы нового направления в измерительной технике - РВОИС, предназначенных для моделирования и контроля различных типов ФП и объектов, выявить характерные особенности выполнения интегральных измерений распределенными и протяженными ВОД, а также определить перспективы развития и наиболее рациональные технические решения при их конструировании объектов критической инфраструктуры, в том числе и для подводных аппаратов [11, 12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульчин Ю.Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. М.: Физматлит, 2001. 272 с.
2. Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б., Кириченко О.В., Петров Ю.С. Многомерная обработка сигналов с использованием волоконно-оптической измерительной сети. *Квантовая электроника*. 1993. Т. 20. № 5. С. 711-714.
3. Кульчин Ю.Н., Витрик О.Б., Ромашко Р.В., Петров Ю.С., Кириченко О.В., Каменев О.Т. Томографические методы для исследования векторных полей при помощи волоконно-оптических измерительных систем. *Квантовая электроника*. 1997. Т. 24. № 5. С. 46.
4. Ромашко Р.В., Кульчин Ю.Н., Безрук М.Н., Ермолаев С.А. Адаптивная волоконно-оптическая система для детектирования акустических волн. *Известия ВУЗов. Физика*. 2015. Т. 58. № 11. С. 80-82.
5. Kulchin Yu.N., Zakasovskaya E.V. Application of Radial Basis Function Neural Network for Information Processing in Fiber Optical Distributed Measuring Systems. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2008. Vol. 17. № 4. P. 317-327.
6. Kulchin Yu. N., Zakasovskaya E. V. Optimizing algebraic and neural methods for information processing in distributed fiber-optical measuring systems. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2010. Vol. 19. № 3. P. 237-247.
7. Zakasovskaya E.V., Tarasov V.S. Optical fiber imaging based tomography reconstruction from limited data. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2018. Vol. 328. P. 542-553
8. Zakasovskaya E.V., Tarasov V.S., Denisova N.I. Intelligent high-performance computing for big data processing in fiber optical measuring networks. *Proceedings of the V International Conference on Information Technologies and High-Performance Computing*. 2019. P. 30-36.
9. Kulchin Yu.N., Kim Yu., Notkin B. S. Recognition of Dynamic Images by Signal Processing System of Fiber-Optic Measuring Network Using Neural Technology. *Proceeding of Fundamental Science and Technology. Promising Developments IV*. North Charleston, USA. 2014. Vol. 1. P. 183-190.
10. Zakasovskaya E.V., Tarasov V.S., Glushchenko A.V. Information security issues in the distributed information measurement system. *IEEE. 3rd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. 2017.
11. Кульчин Ю. Н., Вознесенский С. С., Гамаюнов Е. Л., Голик С. С., Ильин А. А., Каменев О. Т., Никитин А. И., Павлов А. Н., Попик А. Ю., Ромашко Р. В., Субботин Е. П. Фотонные методы и технологии мониторинга океана и атмосферы. *Квантовая электроника*. 2020. P. 5-50.
12. Ромашко Р. В., Кульчин Ю. Н., Дзюба В. П., Стороженко Д. В., Безрук М. Н. Лазерный адаптивный голографический гидроакустический интенсивметр. *Квантовая электроника*. 2020. P. 514-518.

Yu. N. Kulchin, E. V. Zakasovskaya (Institute of Automation and Control Processes, Vladivostok), **N. I. Denisova** (Lomonosov MSU, Moscow)

Using of distributed information-measuring systems opens up new perspectives in the process of monitoring large-sized technical objects. This paper provides a brief overview of scientific and technical solutions for the use of distributed fiber-optic measuring systems at extended critical infrastructure facilities.

Ю.В. ВАУЛИН, Ф.С. ДУБРОВИН, А.Ф. ЩЕРБАТЮК, Д.А. ЩЕРБАТЮК
(Институт проблем морских технологий ДВО РАН, г. Владивосток)

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Применение гидроакустических (ГА) модемов с опцией измерения взаимных дистанций позволяет реализовать распределенную навигационную систему (НС) с переменной конфигурацией для групповой работы разнородных подводных робототехнических комплексов. Узлами такой сети являются подвижные или стационарные абоненты (маяки, водные и подводные аппараты). Передаваемые пакеты содержат в себе координаты объекта и используются другими абонентами для расчета собственных координат разностно-дальномерным методом. Результаты моделирования подтверждают работоспособность и эффективность описанного подхода.

Введение. Применение групп необитаемых подводных аппаратов (НПА) открывает возможности для решения новых задач, а также позволяет повысить эффективность выполнения уже привычных миссий по сравнению с использованием одиночного аппарата. Использование групп НПА сокращает время проведения подводных работ, обеспечивает более высокую производительность. За счет введения некоторого уровня избыточности повышается надежность робототехнического комплекса в целом и обеспечивается успешное решение поставленной задачи даже в случае возникновения аварийных ситуаций (например, выхода из строя одного или нескольких НПА).

Проектирование навигационных систем для групп НПА имеет свои особенности. Одной из проблем является организация работы гидроакустической навигационной системы (ГАНС), когда несколько НПА одновременно находятся в зоне ее работы. Данная задача решается применением синхронных ГАНС с длинной базой или разностно-дальномерных (РД) ГАНС. Применение РД ГАНС позволяет обойтись без обязательной процедуры предварительной синхронизации часов на абонентах подводной сети, что дает возможность добавлять в состав группы новые НПА или маяки непосредственно во время выполнения миссии. В работах [1-3] рассмотрены РД ГАНС на базе сети гидроакустических модемов с интегрированной функцией измерения дистанций.

В случаях, когда один или несколько НПА в группе выходят за пределы прямой слышимости некоторых маяков ГАНС (оказываются в зоне акустической тени), возможность измерения не только дистанций до маяков ГАНС, но и взаимных дистанций между НПА позволяет продолжить определение координат НПА с требуемой точностью, что повышает надежность работы ГАНС.

Данная работа посвящена исследованию некоторых навигационных алгоритмов для НПА, находящихся в зоне действия распределенной навигационной сети. В разделе 1 приводится общее описание предлагаемой концепции ГАНС с переменной конфигурацией, раскрывается принцип работы навигационной сети и описываются алгоритмы навигации НПА. В разделе 2 приводятся результаты компьютерного моделирования, целью проведения которого была проверка работоспособности предлагаемого способа навигации НПА и анализ качества работы предложенных алгоритмов.

Алгоритмы для навигации НПА по навигационным сигналам от других НПА группы. Минимальное число опорных точек для расчета координат РД методом равно трем. При работе группы НПА число абонентов подводной сети может быть больше четырех. Когда в одном обсервационном цикле получены навигационные пакеты от избыточного числа узлов сети, необходимо определить, какие из них использовать для расчета координат. Задача сводится к выбору тех абонентов в качестве опорных точек, которые могут обеспечить наибольшую точность определения координат в текущих условиях. Для решения этой задачи следует опираться на два критерия:

- погрешность координат опорных точек должна быть минимальной,
- геометрия расположения опорных точек относительно объекта обсервации должна обеспечивать наибольшую точность навигации.

Погрешность координат опорных точек оценивается на самих объектах и передается в навигационных пакетах. Рассчитывается погрешность координат исходя из характеристик навигационной системы объекта и исходя из точности определения его координат внешними систе-

мами. Например, погрешность координат стационарных маяков может быть самой высокой и не изменяться с течением времени. Погрешность определения положения движущегося по поверхности моря водного аппарата зависит от точности его спутниковой навигационной системы, а погрешность НПА – от характеристик его навигационных датчиков.

Свойства РД ГАНС с переменной конфигурацией позволяют обеспечить навигацию групп НПА в условиях, когда НПА не получает сообщения от одного или нескольких стационарных маяков, но принимает сигналы от других НПА. Тогда в роли маяков выступают подводные аппараты, имеющие на момент обсервации наименьшую погрешность собственных координат и наилучшее положение относительно объекта обсервации.

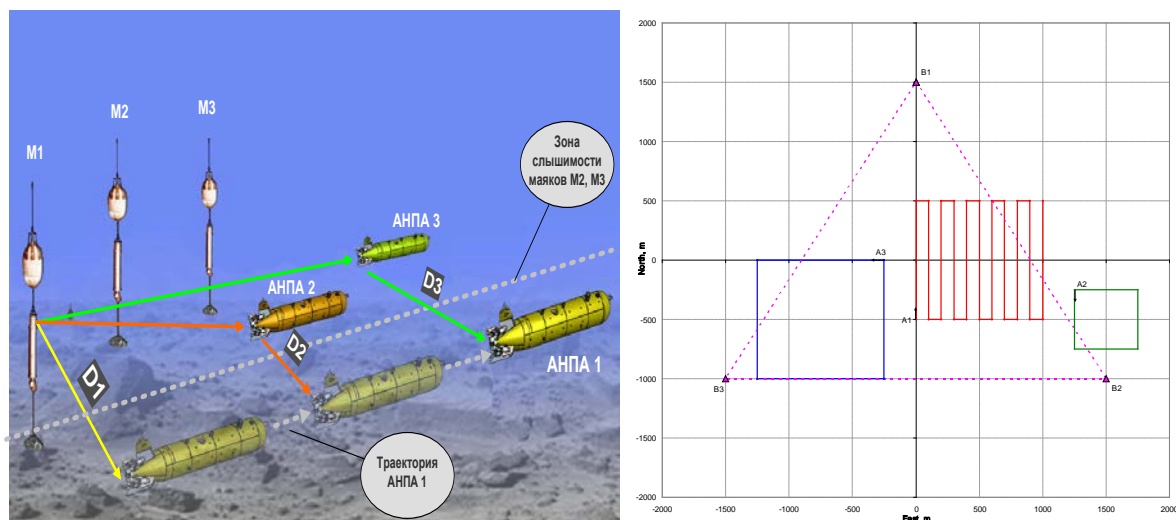


Рис. 1. Схема навигация НПА А1 в зоне акустической тени ГА маяков (слева) и схема модельного эксперимента (справа)

Для расчета координат на каждом НПА фиксируется время прихода навигационных пакетов от других абонентов. Расчет дистанций между опорными точками и НПА А1 производится по следующим формулам в цикле перебора по параметру Δ :

$$D_1 = c * (t_{12} + \Delta), \quad D_2 = c * (t_2 + \Delta) - d_{12}, \quad D_3 = c * (t_3 + (t_{13} - t_{12}) + \Delta) - d_{13}. \quad (1)$$

где D_1 , D_2 и D_3 – дистанции между НПА и узлами, по которым координируется НПА А1; t_{12} – время прихода сигнала от ведущего маяка до НПА А1 в первом цикле обсервации, t_2 – время прихода сигнала от НПА А2 до НПА А1 в первом цикле обсервации, t_{13} – время прихода сигнала от ведущего маяка до НПА А1 во втором цикле обсервации, t_3 – время прихода сигнала от НПА А3 до НПА А1 во втором цикле обсервации; d_{12} и d_{13} – дистанции между ведущим маяком и соответствующими НПА; Δ – величина рассинхронизации часов; c – эффективная скорость распространения звукового сигнала в воде.

После завершения процедуры перебора решений и поиска оптимальной величины рассинхронизации полученное значение Δ помещается в массив предыстории для отбраковки ложных значений и осреднения. Далее на основе полученной оценки Δ измеренные дистанции до маяка В1 и аппаратов А2, А3 пересчитываются, и задача решается методом трилатерации.

Некоторые результаты моделирования. В рамках проведенного модельного эксперимента (рис. 1, справа) имитировалась работа трёх НПА и трёх навигационных маяков. Расстояние между маяком В1 и маяками В2 и В3 составляло около 2 915 м, расстояние между маяками В2 и В3 составляло 3 000 м. Период опроса маяком В1 остальных маяков и НПА равнялся 5 с.

НПА А1 двигался по траектории типа «меандр», заполняющей квадрат размером $1\,000 \times 1\,000$ м (шаг меандра 100 м), со скоростью 1 м/с. Траектория НПА А2 представляла собой квадрат со стороной 500 м, скорость движения НПА составляла 0,8 м/с, направление движения – против часовой стрелки. НПА А3 также выполнял движение против часовой стрелки по сторонам квадрата $1\,000 \times 1\,000$ м со скоростью 1 м/с. Ошибки измерения времен прихода сигналов моделировались как равномерно распределенная на отрезке $[-1\text{ ms}, +1\text{ ms}]$ случайная величина.

На рисунке 2 изображены графики ошибок определения местоположения подводного аппарата А1 при помощи системы счисления пути (ССП) и на основе РД ГАНС, когда в роли маяка В2 использовался НПА А2, а функцию маяка В3 исполнял НПА А3. При этом сами НПА А2 и А3 определяли своё местоположение при помощи маяков В1, В2, В3, и при расчете координат НПА А1 использовались рассчитанные координаты НПА А2 и А3. В этой ситуации значение ошибки определения местоположения аппарата А1 составляло в среднем примерно 1,6 м. За время моделируемой миссии (3 часа 20 минут) ССП накопила ошибку около 30 метров. «Пилообразный» характер ошибки ССП связан с наличием наряду с девиационной составляющей ошибкой измерения курса (от $-0,25^\circ$ до $+0,25^\circ$) ещё и постоянной составляющей ошибки определения курса $-0,5^\circ$, а также введением в измерения продольной скорости движения НПА постоянной ошибки $+0,01$ м/с.

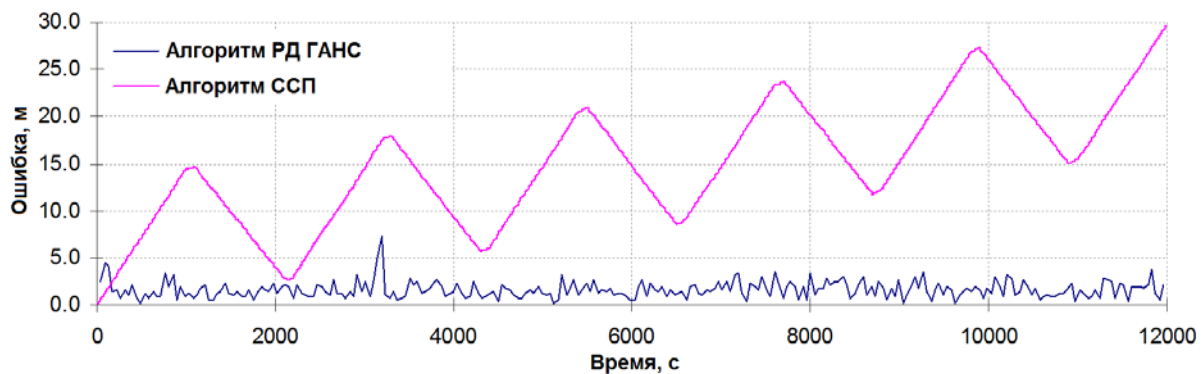


Рис. 2. Ошибка определения местоположения НПА А1 с помощью ССП и при помощи РД ГАНС на базе маяка В1 и НПА А2 и А3

Все приведенные результаты представляют собой данные, не подвергнутые дополнительной обработке (фильтрации, комплексированию с данными бортовой автономной навигационной системы и т.п.).

Выводы. В работе предложен способ обеспечения навигации НПА в ситуации, когда он находится в зоне акустической тени ГА маяков и не получает навигационных сигналов от одного или нескольких из них. Описанный подход предполагает, что для этого НПА в роли маяков могут выступать другие НПА из состава группы, транслируя посредством гидроакустических сообщений свои текущие координаты. Полученные результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного метода и возможность его практического использования в сложных условиях, когда прямая акустическая видимость между НПА и маяками может пропадать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nuno Cruz, Anfbal Matos. Simultaneous Acoustic Navigation of Multiple AUVs. Proceedings of the IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft (MCMC), Lisbon, Portugal, September 2006.
2. José Melo, Anfbal Matos. Tracking multiple Autonomous Underwater Vehicles. Autonomous Robots, Vol. 43, No.4, January 2018.
3. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф., Щербатюк Д.А. Разностно-дальномерная система навигации для обеспечения групповой работы морских робототехнических комплексов. // Подводные исследования и робототехника, №2, 2020, стр. 22-33.

Vaulin Yu.V., Dubrovин F.S., Scherbatyuk A.Ph., Scherbatyuk D.A. (Institute of Marine Technology Problems FEB RAS, Vladivostok, Russia). **Variable configuration distributed navigation system for positioning underwater objects**

Abstract. The use of hydroacoustic modems with the option of measuring mutual distances makes it possible to implement a distributed navigation system with a variable configuration for group operation of heterogeneous underwater robotic systems. The nodes of such a network are mobile or stationary subscribers (beacons, water and underwater vehicles). The transmitted packets contain the coordinates of the object and are used by other subscribers to calculate their own coordinates by the difference-ranging method. The simulation results confirm the efficiency and effectiveness of the described approach.

Н.В. КУЗНЕЦОВ, Т.Н. МОКАЕВ, Б.Р. АНДРИЕВСКИЙ
(Санкт-Петербургский государственный университет)

УСТОЙЧИВОСТЬ И КОЛЕБАНИЯ В МОДЕЛИ АВТОРУЛЕВОГО

Доклад посвящен исследованию системы управления курсом судна с авторулевым с разрывной и периодической характеристиками. Актуальность строгого анализа устойчивости и рождения колебаний в системах автоматического регулирования с кусочно-линейными нелинейностями связана с контрпримерами со скрытыми колебаниями к известным гипотезам М.В. Капранова (о самовозбуждающихся колебаниях и устойчивости в системах фазовой синхронизации) и Р. Калмана (о моноустойчивости систем Лурье с единственным состоянием равновесия и нелинейностями из линейного сектора). В докладе для задачи управления курсом судна показано применение теории дифференциальных включений и критериев устойчивости в цилиндрическом фазовом пространстве для анализа глобальной устойчивости и рождения колебаний, продемонстрировано существование устойчивого периодического колебания, которое не может быть получено методом гармонического баланса.

Введение. Предлагаемый доклад посвящен исследованию системы управления курсом судна с авторулевым с разрывной и периодической характеристиками. Актуальность строгого анализа устойчивости и рождения колебаний в системах автоматического регулирования с кусочно-линейными нелинейностями связана с контрпримерами со скрытыми колебаниями к известным гипотезам М.В. Капранова (о самовозбуждающихся колебаниях и устойчивости в системах фазовой синхронизации) и Р. Калмана (о моноустойчивости систем Лурье с единственным состоянием равновесия и нелинейностями из линейного сектора). В докладе для задачи управления курсом судна показано применение теории дифференциальных включений и критериев устойчивости в цилиндрическом фазовом пространстве для анализа глобальной устойчивости и рождения колебаний, показано существование устойчивого периодического колебания, которое не может быть получено методом гармонического баланса.

Уравнения динамики судна. При описании динамики надводного судна по курсу для практических инженерных расчетов, пренебрегая боковым сносом судна при разворотах и считая, что оно движется с постоянной скоростью, обычно используется следующее линеаризованное уравнение, описывающее вращение судна вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр тяжести

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \alpha \frac{d\theta}{dt} = M(\psi(\sigma)) + M_{ef}, \quad (1)$$

в котором I – момент инерции судна относительно его вертикальной оси, α – коэффициент вязкого трения, M – момент сил, создаваемых рулем направления, M_{ef} – момент внешних возмущающих сил, σ – управляющий сигнал. Подобная модель возникает и при конструировании автопилотов летательных аппаратов по углу крена (см., например, [1, 2]).

Законы управления курсом судна. Рассмотрим двухпозиционный авторулевой, в котором руль может занимать только два положения: $\psi = \psi_0$ и $\psi = -\psi_0$. В нашей идеализации рулевая машина мгновенно переключает руль в зависимости от величины $\sigma(t)$. Здесь будем рассматривать случай, когда коэффициент демпфирования $\alpha > 0$ и перестановка руля совершается с опережением, т.е. до прохождения судном заданного курса.

Следуя [1, 4], будем рассматривать два случая: первый, когда угол поворота руля зависит от управляющего сигнала кусочно-линейно:

$$\begin{aligned} \psi(\sigma) &= \psi_0, & \text{при } \sigma \in (-\infty, 0), \\ \psi(\sigma) &= -\psi_0, & \text{при } \sigma \in (0, \infty), \end{aligned} \quad (2)$$

и второй, учитывающий периодическую зависимость угла поворота от управляющего сигнала:

$$\begin{aligned} \psi(\sigma) &= \psi_0, & \text{при } \sigma \in (-\pi, 0), \\ \psi(\sigma) &= -\psi_0, & \text{при } \sigma \in (0, \pi), \\ \psi(\sigma + 2\pi) &= \psi(\sigma), & \forall \sigma \in \mathbb{R}^1. \end{aligned} \quad (3)$$

Если $\sigma = 0$ (во втором случае и при $\sigma = \pi$), то рулевая машина выключена и руль может принимать любое положение между $-\psi_0$ и ψ_0 , т.е., $\psi \in [-\psi_0, \psi_0]$. Учитывается нечувствительность привода руля $[-\Delta, \Delta]$, величина которой $\Delta > 0$ приемлема для задач ориентации.

По (2) и (3), будем рассматривать два вида функции $M(\sigma)$. В первом случае, функция $M(\sigma)$ – кусочно-линейная разрывная функция с зоной нечувствительности

$$\begin{aligned} M(\sigma) &= M_0, & \text{при } \sigma \in (-\infty, -\Delta), \\ M(\sigma) &= 0, & \text{при } \sigma \in (-\Delta, \Delta), \\ M(\sigma) &= -M_0, & \text{при } \sigma \in (\Delta, +\infty). \end{aligned} \quad (4)$$

Во втором законе управления, $M(\sigma)$ – 2π -периодическая разрывная функция с зоной нечувствительности $[-\Delta, \Delta]$, $0 \leq \Delta < \pi$, заданная следующим образом:

$$\begin{aligned} M(\sigma) &= M_0, & \text{при } \sigma \in (-\pi, -\Delta), \\ M(\sigma) &= 0, & \text{при } \sigma \in (-\Delta, \Delta), \\ M(\sigma) &= -M_0, & \text{при } \sigma \in (\Delta, \pi), \\ M(\sigma + 2\pi) &= M(\sigma), & \forall \sigma \in \mathbb{R}^1. \end{aligned} \quad (5)$$

Анализ устойчивости. В 70-е годы прошлого века Г.А. Леоновым были предложены общие подходы к нелинейному анализу систем автоматического регулирования с угловой координатой и разрывными нелинейностями. В его работах были преодолены трудности, связанные с обобщением классических результатов теории устойчивости на системы с цилиндрическим фазовым пространством и разрывными нелинейностями [5, 6]. Так, например, классические критерии глобальной устойчивости Барбашина-Красовского и принцип Ла-Салля требуют неограниченного возрастания функций ляпуновского типа в фазовом пространстве по всем координатам, в то время как в цилиндрическом фазовом пространстве рассматриваются изменение фазы на периоде и периодические функции Ляпунова (модификация прямого метода Ляпунова с построением периодических функций ляпуновского типа).

Актуальность строгого анализа устойчивости и рождения колебаний в системах автоматического регулирования с кусочно-линейными нелинейностями связана с контрпримерами со скрытыми колебаниями к известным гипотезам М.В. Капранова (о самовозбуждающихся колебаниях и устойчивости в системах фазовой синхронизации) и Р. Калмана (о моноустойчивости систем Лурье с единственным состоянием равновесия и нелинейностями из сектора линейного сектора) [6, 7].

В докладе приведены результаты анализа глобальной устойчивости и показано существование устойчивого периодического колебания, которое не может быть получено методом гармонического баланса.

Заключение. В данной работе для системы управления курсом с авторулевым приведены результаты анализа глобальной устойчивости и показано существование устойчивого периодического колебания, которое не может быть получено методом гармонического баланса.

Работа выполнена при поддержке программы Ведущие научные школы Российской Федерации (НШ-2624.2020.1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. 2-е издание. М.: Физ. Мат. Лит., 1959.
2. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика продольного и бокового движения. М.: Машиностроение, 1979.
3. Леонов Г. А. Теория управления. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2006. (Сер. «Петербургская классика»).
4. Гелиг А.Х., Леонов Г.А., Якубович, В.А. Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. М.: Наука, 1978.
5. Леонов Г.А., Кузнецов Н.В., Киселева М.А., Мокаев Р.Н. Глобальные задачи дифференциальных включений: проблемы Калмана и Вышнеградского, цепи Чуа // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2017. № 4. С. 1–52.
6. Leonov G., Kuznetsov N. Hidden attractors in dynamical systems. From hidden oscillations in Hilbert-Kolmogorov, Aizerman, and Kalman problems to hidden chaotic attractors in Chua circuits // International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering. 2013. Vol. 23, no. 1. art. no. 1330002.

N.V. Kuznetsov, T.N. Mokaev, B.R. Andrievsky (Saint-Petersburg University, Saint Petersburg) **Stability and oscillations in automatic steering model.**

Abstract. The talk is devoted to the study of the course control system of a vessel by means of automatic steersman with discontinuous and periodic characteristics. The relevance of a rigorous analysis of stability and generation of oscillations in automatic control systems with piecewise-linear nonlinearities is associated with counter-examples with hidden oscillations to the well-known hypotheses of M.V. Kapranov (on self-excited oscillations and stability in phase synchronization systems) and R. Kalman (on the monostability of Lurie systems with a single equilibrium state and nonlinearities from the linear sector). In the talk, for the problem of vessel course control, the application of the theory of differential inclusions and stability criteria in the cylindrical phase space for the analysis of global stability and the generation of oscillations is shown, the existence of a stable periodic oscillation, which cannot be obtained by the harmonic balance method, is demonstrated.

Ю. В. ГУРЬЕВ, М.З. СЛУЦКАЯ
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург)

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛОЖНЫХ МОРСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОДВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Изложен численный метод расчета гидростатических и гидродинамических реакций морских подводных объектов, движущихся произвольным образом в условиях внутреннего волнения и морских течений. Метод основан на теории потенциальных, вихревых и волновых течений. Влияние вязкости на гидродинамические реакции учитывается косвенно путем введения специальной вихревой системы, имитирующей воздействие продольных вихрей на корпусе на распределение давлений. Приводятся результаты вычислительного эксперимента, позволившего выявить как новые, так и подтвердить полученные ранее закономерности влияния параметров объекта и гидрофизических условий на искомые реакции. Разработанный математический и программный аппарат может быть рекомендован для использования при проектировании морских подводных объектов и создании тренажеров их динамики.

Введение. Создание подводных судов преследовало несколько целей, в первую очередь это обеспечение их скрытности, но также и уменьшение негативного влияния погодных условий и связанного с ними морского волнения. Однако опыт эксплуатации морских подводных объектов (МПО) различного назначения показал, что и на глубине наблюдаются явления, существенно усложняющие их управление. К их числу относятся несанкционированное изменение глубины, проявляющееся, как и в резких провалах, так и всплытиях, вплоть до выброса объекта на поверхность, частые раздефферинтовки, трудности при изменении горизонта движения и ряд других [1,2]. Исследования показали, что основной их причиной являются пространственно-временные изменения гидрофизических полей океана (плотности, температуры, солености) и связанные с этим внутренние волны (ВВ), возникающие в толще морской воды и отличающиеся значительно большими по сравнению с поверхностными волнами параметрами.

При проектировании МПО, расчетах его движения в таких сложных гидрофизических условиях, а также в тренажерах динамики требуется оперативная оценка гидродинамических сил и моментов, действующих на объект. Анализ возможных подходов к их определению показывает, что с учетом требований скорости расчетов эффективными могут быть численные методы, основанные на потенциальной (невязкой) модели течения [3].

Постановка задачи определения гидродинамических реакций, действующих на МПО в условиях естественного внутреннего волнения и подводных течений. Рассмотрим движение МПО в невязкой жидкости, плотность которой изменяется по вертикали. Корпус объекта представляет собой удлиненное тело произвольной формы, движущееся по произвольной пространственной траектории. Примем ряд допущений: пусть вызванное течение будет потенциальным, плотность изменяется скачкообразно на горизонтальной границе (пикноклин), на которой существуют регулярные ВВ с известными параметрами, вектор подводного течения задан. Течение, создаваемое корпусом МПО, моделируется непрерывным слоем источников. Влияние вязкости на распределение давлений на корпусе учитывается косвенно, путем введения специальной вихревой системы. В качестве модели ВВ принята двухслойная модель Сретенского Л.Н., модифицированная авторами [4]. Требуется найти указанные выше гидродинамические реакции, а также гидростатические, возникающие в том числе вследствие скачка плотности. Математическое решение задачи сводится к численному решению интегрального уравнения для интенсивности источников, после чего все остальные характеристики (параметры вихревой системы, поля скоростей и давлений, гидродинамические реакции) могут быть вычислены.

Основные результаты численного моделирования. Вычислительный эксперимент предусматривал выполнение расчетов в широком диапазоне изменения кораблестроительных и кинематических параметров МПО (водоизмещение, форма корпуса, поступательная и угловые скорости, курсовой угол, углы атаки и дрейфа), параметров ВВ (амплитуда, длина волны) и пикноклина (разность плотностей верхней и нижней жидкостей), а также положения объекта по отношению к пикноклину и свободной поверхности.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие основные выводы:

1. Силовое воздействие со стороны неоднородной по плотности жидкости при движении МПО в сложных морских условиях состоит из переменных гидростатических и гидродинамических реакций. При этом первые при пересечении скачка плотности могут существенно (в разы) превосходить вторые.
2. Неоднородное поле скорости ВВ оказывает воздействие на все компоненты гидродинамических реакций – инерционные, волновые и вязкие, изменения которых во времени сдвинуто по фазе относительно друг друга.
3. Численные значения гидродинамических реакций, действующих на МПО, зависят:
 - от относительных размеров объекта и ВВ: при уменьшении отношения длины МПО к длине волны силовое воздействие последней затухает; а с ростом ее амплитуды, наоборот, растет по закону, близкому к линейному;
 - от курсового угла: при значениях этого угла близких к 90° и 270° (движение лагом) наряду с вертикальными возникают и близкие им по значениям боковые (горизонтальные) реакции, что приводит к появлению соответствующего вида качки;
 - от положения МПО относительно пикноклина: при удалении от него вверх или вниз гидродинамические реакции снижаются, при этом их численные значения при всплытии к свободной поверхности отличаются от значений при погружении для одних и тех же отстояния МПО от границы раздела плотности.
4. При движении навстречу ВВ и лагом к ней был подтвержден установленный ранее эффект противофазности волны и гидродинамических реакций. Вместе с тем, при движении в попутном направлении с распространением ВВ наблюдается синхронное изменение во времени этих физических величин, что ранее было неизвестно.
5. Наиболее сложные закономерности изменения гидродинамических реакций были получены при совместном воздействии на МПО ВВ и подводных течений при его криволинейном движении, например, на циркуляции. В этом случае изменение указанных реакций носит непериодический характер, что подтверждается зависимостями на графиках рисунка 1.

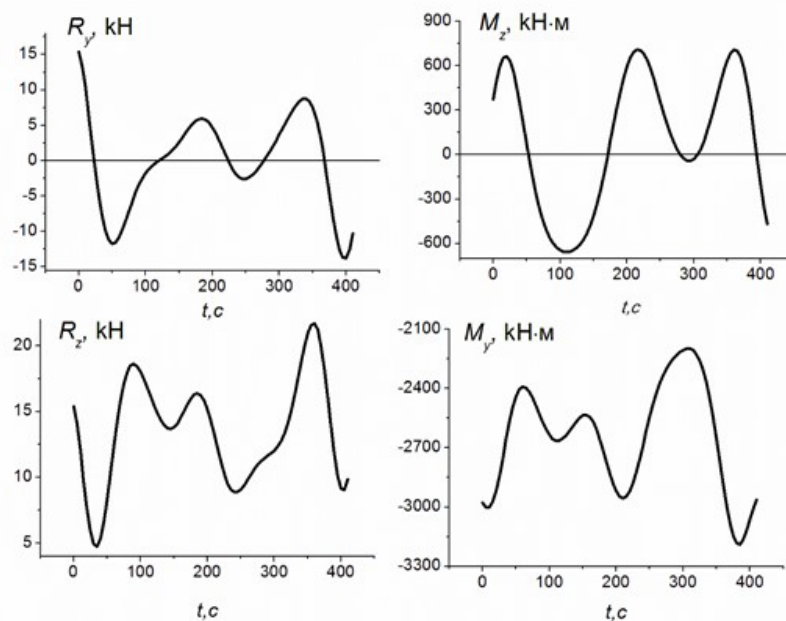


Рис. 1. Изменение гидродинамических реакций при движении МПО на циркуляции радиусом 200м в поле ВВ длиной 400 м и амплитудой 5 м в условиях подводного течения со скоростью 0,1 м/с.

Закключение. Предложенный метод численного определения гидродинамических и гидростатических реакций, действующих на МПО при движении в условиях внутреннего волнения и подводных течений, позволяет оперативно решать поставленную задачу с использованием персональных компьютеров. Адекватность численных данных подтверждена удовлетворительным их согласованием, как качественным, так и количественным, с результатами других авторов,

полученных экспериментальными и расчетными методами. Это позволяет рекомендовать разработанный математический и программный аппарат для использования при проектировании МПО и создании тренажеров их динамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по НИР «Аномалия-НЦ» «Теоретические и лабораторные исследования по определению степени влияния аномальных природных факторов на подвижные морские объекты». // СПб., СПб НЦ РАН. 2006.
2. **Васильев С.Н., Гурьев Ю.В., Разумеенко Ю.В., Якушенко Е.И.** Динамика и управление морскими подводными объектами в сложных гидрофизических условиях // Труды XI Международной научной конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление» Казань (Россия) 14-18 июня 2017 г. стр. 211-220.
3. **Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В.** Компьютерные технологии в корабельной гидродинамике. Монография. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2010. 326 с.
4. **Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Якушенко Е.И.** Гидродинамика морских объектов в натурных гидрофизических условиях. Монография. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2014. 274 с.

Y.V. Guryev (Naval Polytechnic Institute (Branch) MESC NF “Naval Academy”, Saint-Petersburg). **Results of computer simulation of force impact of difficult marine conditions on submerged objects**

Abstract. The paper proposes a numerical method for calculating hydrostatic and hydrodynamic responses of submerged objects arbitrary moving in internal waves and sea currents. The method is based on the theory of potential, vortex and wave flows. It indirectly takes into account viscosity-induced hydrodynamic responses by introducing a special vortex system that simulates the impact of the longitudinal hull vortices on the pressure distribution. The paper also presents results of the computing experiment, which allowed us to identify new and confirm previously received regularities of how the object's parameters and hydro-physical conditions impact the responses in question.

The mathematical technique and the software we developed can be applied in design of submerged moving objects and creation of their dynamic's simulators.

С. И. МАСТРЮКОВ

(АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург)

НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ КАК ОДНО ИЗ СРЕДСТВ НЕДОПУЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ДОМИНИРОВАНИЯ НАД ВОЕННО-МОРСКИМ ФЛОТОМ РОССИИ

Изложен взгляд на роль систем оперативной океанографии (СОО) используемых для решения задач морской и военно-морской деятельности, включая задачи подводного наблюдения и обеспечения скрытности морских подвижных объектов (МПО). На основе обобщения опыта построения и функционирования современных зарубежных СОО изложены ключевые проблемы, решение которых будет способствовать успешному проектированию и построению национальной СОО, нацеленной на кардинальное повышение качества информационной поддержки всех видов морской деятельности сведениями высокой степени детализации о текущем и ожидаемом состоянии океана. Сформулированы предложения, направленные на нивелирование информационного доминирования ВМС США в области оперативной океанографии.

Введение. В соответствии с «Основами государственной политики РФ в области военно-морской деятельности на период до 2030 года» «Российская Федерация не допустит существенного превосходства военно-морских сил других государств над Военно-Морским Флотом» [1]. В свою очередь в США в соответствии с новой стратегией национальной обороны 2018 года [2] информационное доминирование и развитие всего комплекса командно-управленческих, разведывательных и информационных систем по-прежнему признаётся приоритетным направлением развития в военной сфере. К сожалению, в области гидрометеорологического обеспечения (ГМО) и особенно в оперативной океанографии информационное доминирование ВМС США над РФ приобрело критически значимые масштабы. Актуальность создания СОО вызвана самой логикой развития морских подвижных объектов и подтверждается появлением национальных СОО в более чем 10 странах мира. Большое количество публикаций по теме оперативной океанографии свидетельствует об осознании в нашей стране важности решения этой задачи. В то же время усилия организаций и ведомств страны в этой области не скоординированы, единый взгляд на построение национальной СОО не сформирован. В предлагаемом докладе на основе анализа зарубежного опыта и отечественных возможностей построения СОО изложено видение некоторых текущих проблем и задач в области создания СОО, нацеленной на информационную поддержку военно-морской деятельности и ликвидацию критически значимого отставания от военно-морских сил других государств в области оперативной океанографии.

Термины. *Оперативная океанография* – новый раздел науки об океане, призванный обеспечить оперативный диагноз и прогноз состояния океана высокой степени подробности и основанный на ассимиляции доступных наблюдений в моделях океанической циркуляции (адаптировано [3]). *Система оперативной океанографии* – специализированная часть систем гидрометеорологического обеспечения, включающая: – подсистему мониторинга состояния океана и сбора данных наблюдений; – подсистему обработки, ассимиляции данных, диагноза и прогноза «погоды» океана; – подсистему оценки влияния гидрофизических полей на эффективность применения сил, датчиков и платформ; – подсистему синтеза полученных оценок эффективности и оценки рисков океанологического характера при планировании морской деятельности на стратегическом, оперативном и тактическом уровнях принятия решений.

Актуальность и значимость. Актуальность построения национальной СОО вызвана ростом требований к информации об океане. Без адекватных знаний о состоянии океана приходится применять информацию климатического характера или данные случайных измерений, использовать допущения о неизменности вертикальной, горизонтальной и временной структуры гидрофизических полей. Это приводит к принятию неэффективных, а порой и ошибочных реше-

ний тех задач, выполнение которых зависит от состояния физических полей океана, включая задачи подводного наблюдения и обеспечения скрытности МПО.

В современных условиях снижения шумности МПО, развития новых методов подводного наблюдения обеспечение скрытности невозможно без адекватного учёта состояния морской среды [4,5]. Поскольку скрытность МПО является необходимым условием решения стратегических задач ВМФ, создание национальной СОО должно рассматриваться как задача высшего уровня государственной значимости.

Зарубежный и отечественный опыт построения СОО. СОО глобального и регионального уровня созданы более чем в 10 странах мира [6-8]. Наиболее продвинутыми по праву считаются СОО Военно-морского океанографического офиса (the Naval Oceanographic Office - NAVOCEANO) ВМС США и Служба мониторинга морской среды «Коперникус» Европейской комиссии (ЕК) (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service – CMEMS).

ВМС США. Начало создания СОО ВМС США относят к 1972 г., когда была поставлена задача прогнозирования «погоды» океана. Однако реально развитие СОО началось в 1978 г. с запуска КА «Seasat» с бортовым альтиметром на борту. Наличие информации о возвышениях уровня поверхности океана, отражающих пространственное распределение поля масс в океане, позволило выполнять расчёт геострофических течений и как бы «заглянуть» внутрь океана из космоса. Именно поэтому до сих пор доступ к спутниковой информации о возвышениях уровня поверхности является ключевым фактором при построении СОО. Наряду с альтиметрическими в СОО в последние годы используется ряд других спутниковых данных, а также данные международных, национальных и ведомственных систем мониторинга океана, основанных на использовании дрейфующих буйев, подводных планеров (глайдеров), радиолокаторов для слежения за течениями в прибрежной зоне и т.д. [9].

СОО ВМС США позволяет получать сведения о текущем и ожидаемом состоянии гидрофизических полей синоптической и мезомасштабной изменчивости в толще океана в районах глобального, регионального и локального охвата. Она базируется на возможностях двух мощных береговых вычислительных центров. Центр Численной Метеорологии и Океанографии ВМС обеспечивает прогноз состояния атмосферы глобального охвата с высоким разрешением для Вооруженных Сил США и для задания граничных условий в моделях океана, реализованных в Военно-морском океанографическом офисе, представляющем собой ядро СОО ВМС США. Вычислительные возможности этих центров позволяют полноценно осуществлять прогноз состояния океана и атмосферы независимо от центров национальной метеослужбы США и организаций Национальной администрации по океанам и атмосфере (НОАА). То есть в ВМС США реализована концепция построения автономной СОО военного назначения с обработкой информации в двух мощных вычислительных центрах, основанная на использовании международных и национальных систем мониторинга состояния океана и предполагающая развитие горизонтальных связей между поставщиками и потребителями информации на всех этапах ГМО действий сил и использования оружия, и соответствующая концепции сетевых войн и единого информационного пространства [10].

Национальная СОО РФ. В России полноценная СОО глобального охвата отсутствует. Вероятно, одной из причин этого является то, что функции ГМО морской и военно-морской деятельности в масштабах всей страны возложены на Росгидромет. Задачи Росгидромета традиционно сконцентрированы на обеспечении гидрометеорологической безопасности населения и хозяйственной деятельности. Для целей судоходства, рыболовства и других видов хозяйственной деятельности в море знание состояния физических полей в толще океана не является столь критичным, как для ВМФ и, видимо, поэтому в Росгидромете до сих пор не создана СОО, хотя попытки её создания велись, начиная с 1978 г. [11]. Принятая в стране идеология ГМО ВМФ основана на использовании информационной продукции Росгидромета [12]. Это позволяет экономить средства на получении прогностической информации общего назначения, но эта идеология практически исключает полноценное развитие собственной системы ГМО ВМФ и оперативное реагирование на новые вызовы, связанные, например, с потребностью в сведениях о текущей и ожидаемой «погоде» океана.

СОО Морского гидрофизического института (МГИ) РАН. В России опыт построения СОО регионального охвата (по акватории Чёрного моря) имеется только у МГИ РАН. Создание си-

системы финансировалось ЕК. После вхождения Крыма в состав России финансирование прекратилось, но функционирование системы продолжается [3].

СОО Европейской комиссии «Коперникус» - CMEMS. Система охватывает весь Мировой океан, она координируется и управляется ЕК в партнерстве с Европейским космическим агентством (ЕКА), государствами-членами Европейского союза (ЕС) и агентствами ЕС. В период с 2014 по 2020 год на реализацию программы потрачено 4,3 млрд евро, из них на долю ЕС приходится 66 %, на ЕКА – 33 %. Эффект от использования системы в период до 2030 г. для экономики ЕС оценивается примерно в 30 млрд евро [13].

С 2014 года система функционирует в оперативном режиме. В рамках программы развиваются три основные компонента: - спутниковый; - инструментальный; - обслуживания. В состав подсистемы обслуживания входит служба мониторинга морской среды - CMEMS. Она состоит из восьми тематических центров, предназначенных для сбора данных наблюдений и семи центров мониторинга и прогнозирования состояния океана. Тематические центры находятся в разных странах Евросоюза. К деятельности ТАС обычно привлекаются компетентные научные организации из разных стран Евросоюза, объединяемые в консорциумы.

В СОО ЕК CMEMS реализована концепция сквозной, скоординированной и синхронизированной работы распределённых центров сбора и обработки данных и централизованного обслуживания потребителей.

Заключение. Анализ зарубежного и отечественного опыта построения СОО свидетельствует о возможности использования разных проектных решений при создании СОО ВМФ.

При использовании в качестве образца СОО ВМС США можно добиться наибольшего эффекта с точки зрения устойчивости и непрерывности функционирования системы. Однако предпосылок для использования американской модели в России пока нет, в Минобороны РФ отсутствуют необходимые системы мониторинга океана, не развита инфраструктура для сбора, обработки и распространения информации, отсутствует научный и кадровый потенциал для решения задач оперативной океанографии. Создание полноценной СОО ВМФ на собственной базе потребует фундаментальных изменений в системе ГМО не только ВМФ, но и страны.

На начальном этапе построения СОО ВМФ представляется возможным строить национальную СОО на основе распределённых центров сбора и обработки данных по типу СОО ЕК. В качестве базовых центров, осуществляющих сбор, тематическую обработку данных и прогнозирование могут быть использованы научные и научно-производственные институты Росгидромета и РАН. Для прикладного использования получаемой продукции от такой СОО могут быть использованы линии связи Росгидромета с АС ГМО, специализированная обработка и распространение её результатов должна выполняться специализированными центрами ВМФ в защищённом режиме. Разделение национальной СОО на открытый (НИУ Росгидромета и РАН) и закрытый (ВМФ) контуры позволит избежать множества проблем в процессе построения СОО ВМФ.

Построение национальной СОО предполагает решение ряда научных и организационных задач. Их решение целесообразно осуществлять в рамках отдельной подпрограммы Федеральной целевой программы, подобной той, в рамках которой была создана государственная информационная система «Единая система информации об обстановке в Мировом океане». На начальном этапе наряду с выработкой принципиальных решений по архитектуре СОО и разработкой Концепции её создания должны быть проработаны пути создания предпосылок для легального доступа к информации международных систем мониторинга состояния океана. Пока, к сожалению, без этого построить национальную СОО глобального охвата не удастся. Активизация участия отечественных НИУ в международных проектах в области океанографии и создание национальных сегментов глобальных систем наблюдения за океаном, возможно, позволят решить эту задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы государственной политики РФ в области военно-морской деятельности на период до 2030 года. Утв. Указом Президента РФ от 20 июля 2017 года №327 М., 2017. -21с. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/42117>
2. Summary of the 2018 National Defense Strategy of the United States of America // DOD USA, 2018, - 11p. URL: <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>.

3. **Коротаев Г.К.** Оперативная океанография – новая ветвь современной океанологической науки // Вестник РАН. – 2018. – Т. 88. – №7. – С. 579–588
4. **Якушенко, Е. И., Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В.** Информационное обеспечение компьютерных систем управления физическими полями подводных объектов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2012. – Т. 5. – №2. – С.83–88.
5. **Коваленко В. В.** Информационно-управляющие системы в задачах подводного наблюдения и обеспечения скрытности морских объектов // Морские информационно-управляющие системы. – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат». – 2019. – № 1 (15). – С. 26–41.
6. **Мастрюков С. И., Червякова Н. В.** Современное состояние оперативной океанологии ВМС США и других государств // Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 70–78.
7. **Мастрюков С.И.** Современные тенденции развития гидрометеорологического обеспечения зарубежных стран в области прогнозирования состояния океана // Записки по гидрографии, № 301, 2017. С. 24-32.
8. **Коротаев Г. К.** Развитие современных систем оперативной океанографии. Морские информационно-управляющие системы // АО «Концерн «Моринформсистема-Агат». – 2018. – № 1(13). – С. 18–27.
9. **Коваленко В.В., Мастрюков С.И., Телегин В.А.** Некоторые проблемы построения национальной системы оперативной океанографии // Навигация и гидрография. 2020. –№ 59. –С. 80-94.
10. U.S. Navy Information Dominance Roadmap, 2013–2028 // US Navy. Information dominance Corps, 2013, -44 p. URL <https://publicintelligence.net/usnavy-information-dominance>.
11. **Нестеров Е.С.** Численный прогноз термических характеристик деятельного слоя океана в Северной Атлантике, - Труды Гидрометцентра СССР, 1978, вып.200, с. 22-29.
12. **Фёдоров А.А., Дудка С.Н., Балясников С.Б.** 373 Центр сбора и обработки гидрографической и гидрометеорологической информации ВМФ – центральное звено автоматизированной системы ГМО ВМФ / Записки по гидрографии, № 303, 2017. С.129-138.
13. "ESA, European Commission Finalize Copernicus Budget". Via Satellite. 28 October 2014. Retrieved 1 August 2015. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Programme.

S. I. Mastryukov (JSC "State Research Navigation and Hydrographic Institute", St. Petersburg). **National System of Operational Oceanography as One of the Means of Avoiding Information Domination over the Russian Navy**

Abstract. A view on the role of operational oceanography (SOO) systems used to solve problems of maritime and naval activities, including the tasks of underwater observation and ensuring the secrecy of marine mobile objects (MPS), is presented. Based on the generalization of the experience in the construction and operation of modern foreign COOs, key problems are outlined, the solution of which will contribute to the successful design and construction of a national COO, aimed at dramatically improving the quality of information support for all types of maritime activities with high-level information about the current and expected state of the ocean. Proposals are formulated aimed at leveling the information dominance of the US Navy in the field of operational oceanography.

И. М. РУДЬКО

(Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва)

МОДЕЛЬ ШУМОИЗЛУЧЕНИЯ МОРСКОГО ПОДВОДНОГО ОБЪЕКТА С УЧЕТОМ ФОРМЫ ЕГО КОРПУСА

Рассматривается модель шумоизлучения морского подводного объекта, позволяющая оценить зависимость его первичного гидроакустического поля от курсового угла и от обводов корпуса. В качестве датчиков рассматриваются гидрофоны, расположенные непосредственно на корпусе морского подводного объекта.

Введение. Уровни подводного шума, излучаемого морскими подводными объектами (МПО), стоят в одном ряду с такими традиционно важными характеристиками, как скорость полного хода, живучесть энергетической установки, параметры вооружения и др. В этой связи задача измерения акустических параметров МПО является одной из важнейших. Методики измерения шумов движущихся МПО используют основной подход, заключающийся в том, что звук принимается приемником, помещаемом на некотором установленном расстоянии от трассы объекта, и анализируется спектральный состав в момент прохода объекта вблизи приемника. Измеряемыми параметрами являются уровни звукового давления в стандартных (октавных, 1/3-октавных) частотных полосах при контроле, а также в узких частотных полосах при определении причин превышения норм и выявлении источников повышенного шума [1].

По существующим методикам замеры шумности МПО производятся периодически с достаточно большими интервалами по времени, причем между этими замерами шумность МПО не контролируется. Между тем в процессе эксплуатации акустический портрет МПО по различным причинам изменяется и за ним требуется постоянный контроль.

Одним из возможных способов такого контроля является размещение на корпусе МПО системы датчиков, измеряющих первичное гидроакустическое поле (ПГП). Так же эти датчики могут использоваться для замера зависимости ПГП от курсового угла (КУ). Поскольку корпуса МПО имеют сложную форму, то такую зависимость можно установить только экспериментально. В предлагаемом докладе рассматривается модель ПГП МПО, позволяющая оценить ПГП МПО от КУ в зависимости от обводов корпуса МПО.

Математическая модель шумоизлучения МПО с корпусом сложной формы. Для вторичного гидроакустического поля (ВГП) зависимость силы цели (СЦ) от КУ достаточно хорошо изучена [2]. Но для ПГП, излучаемого МПО, его зависимость от формы корпуса МПО как функция от курсового угла (КУ) практически не изучена.

Требования, предъявляемые к модели. При создании модели такой зависимости из-за отсутствия конкретных данных приходится учитывать следующие эмпирические соображения:

1. Датчик (гидрофон) измеряет сигнал, излучаемый бортом МПО, в непосредственной близости от своего расположения. Поэтому эту часть борта можно рассматривать как отдельный излучатель, имеющий свою диаграмму направленности (ДН).
2. Сигналы с соседних датчиков могут быть сильно коррелированы между собой, но эта зависимость существенно падает с увеличением расстояния между датчиками.
3. Энергетический спектр и его интенсивность для каждого излучателя могут быть различны.

Параметры модели: 1. Рассматривается простейшая форма борта МПО – прямой борт с 2 изломами, $-\alpha^0$ в сторону носа и $+\alpha^0$ в сторону кормы.

Датчики расположены (см. Рис.1) линейно и эквидистантно – $1/4$ датчиков в носовой части, $1/2$ по борту и $1/4$ в кормовой части (аналог эквидистантной антенной решетки).

2. Сигналы, излучаемые во внешнее поле и принимаемые соответствующими датчиками, формируются путем пропускания белого шума (единого для всех излучателей) через спектральное окно с ограниченной полосой частот [3]: $y_k(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)H_k(f)e^{j2\pi ft}df$, где t – время, f – частота, k – номер излучателя $1 \leq k \leq K$, X – спектр белого шума, H_k – спектральное окно. В ка-

честве спектрального окна выбрано косинусное окно (см. Рис.2), причем его центральная частота уменьшается с ростом $k - f_k = f_1 - (k-1)\Delta_f$, где f_1 – центральная частота 1-го фильтра, Δ_f – приращение частоты, что позволяет выполнить условия требования 2.

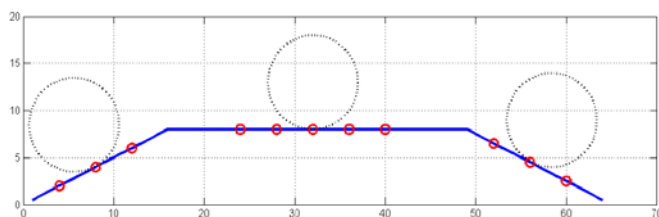


Рис. 1 Расположение датчиков на корпусе МПО

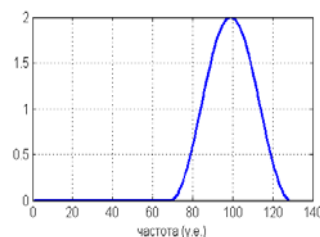


Рис. 2 Форма спектрального окна

3. ДН всех излучателей одинаковы и описываются функцией $\sin(x)/x$ в диапазоне $\pm 80^\circ$ от нормали, а интенсивность шумоизлучения излучателя δ_k увеличивается с ростом $k - \delta_k = \delta_1 + (k-1)\Delta$, где δ_1 – интенсивность шумоизлучения 1-го излучателя, Δ – коэффициент.

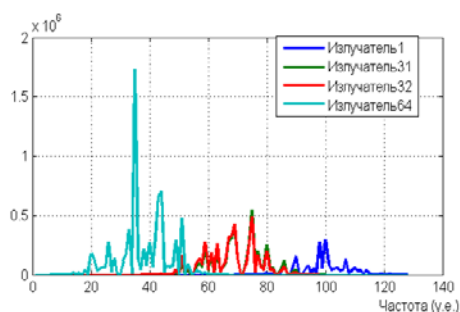


Рис. 3 Энергетические спектры 4-х излучателей

На Рис.4 приведены усредненные энергетические спектры (столбцы матрицы) всех излучателей в координатах (№ излучателя, частота), цветом выделена интенсивность излучения. Такая структура модельного излучаемого сигнала позволяет при дальнейшей обработке локализовать излучающую поверхность, хотя бы с точностью: нос, борт, корма.

На Рис.4 приве-

дены усредненные

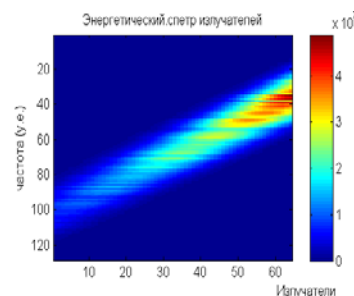


Рис. 4 Энергетические спектры всех излучателей

Алгоритм обработки излучаемых сигналов. Прежде всего, отметим, в чем отличие рассматриваемой задачи от классической задачи формирования ДН в гидролокации. В классической задаче есть один точечный излучатель и система приемников, имеющая конечные размеры. В рассматриваемой задаче – один точечный приемник и система излучателей, имеющая конечные размеры. На первый взгляд задачи очень похожи, но наличие **системы** излучателей существенно усложняет алгоритм формирования сигнала по направлению приемника (заданному КУ)

При цифровой обработке сигналов все основные параметры определяются теоремой Котельникова: число временных отсчетов – N ; дискретизация по времени – Δt ; – длина реализации – $T = N\Delta t$; дискретизация по частоте – $\Delta f = 1/T$; максимальная частота – $f_{max} = \Delta f N/2$.

Для линейной эквидистантной системы излучателей из теоремы Котельникова следует: скорость звука – c ; расстояние между излучателями – Δl ; число излучателей – K ; время прохода звука между излучателями (вдоль борта) $\Delta t_l = \Delta l/c$; база излучателей – $L = K \Delta l$. При этом необходимо учитывать, что, если временные параметры Δt и N могут изменяться, то параметры базы излучателей Δl и K заданы и изменяться не могут. В случае двумерной обработки в координатах (время, излучатели) эти параметры должны быть согласованы [4].

Формирование луча ДН по заданному КУ. Пусть требуется рассчитать сигнал от всех излучателей по КУ, равному α^0 . Как видно из Рис.5, задержка сигнала между соседними излучателями будет равна $\Delta t_l(\alpha) = \Delta t_l \cos(\alpha) \leq \Delta t_l$.

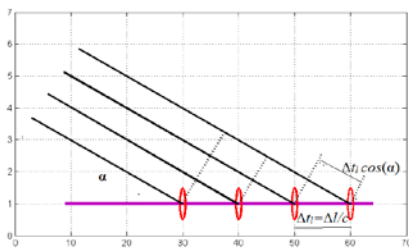


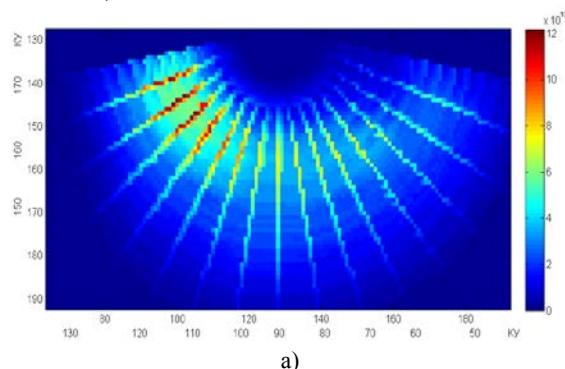
Рис.5 Задержка сигнала между соседними излучателями при КУ = α

точно и можно, проредив массив по времени в n раз, получить матрицу размерностью $\mathbf{Y}(N, K)$.

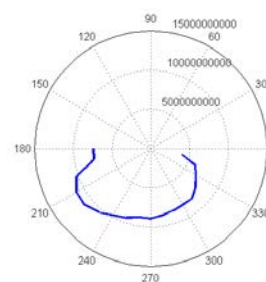
Спектральный анализ. Вычисление 2-мерного Быстрого Преобразования Фурье (БПФ2) матрицы $\mathbf{Y}(N, K)$ позволяет получить 2-мерный энергетический спектр – $\mathbf{Z}(N/2, K)$. В случае фиксированного направления излучения (КУ) этот спектр представляет собой, луч, пересекающий матрицу \mathbf{Z} под углом, определяемым через угол α^0 [4]. Выделив этот луч из матрицы \mathbf{Z} и накопив заданное количество таких энергетических спектров, получаем оценку энергетического спектра, излучаемого по заданному КУ, – $z_f(\alpha)$.

Рассчитав по заданному набору КУ оценки энергетического спектра, излучаемого по заданному КУ, можно построить акустический портрет МПО в полярной системе координат. Причем акустический портрет может быть построен в 2-х системах координат:

1. (КУ, частота) – распределение спектрального состава излучаемого шума по частоте в зависимости от КУ (см. Рис.6а).
2. (КУ, интенсивность) – распределение интенсивности излучаемого шума в зависимости от КУ (см. Рис.6б).



а)



б)

Рис. 6 а). Спектральный состав шума по частоте в зависимости от КУ
б). Распределение интенсивности шума в зависимости от КУ

Из представленных рисунков можно сделать следующие выводы:

- низкочастотный шум, генерируемый кормовыми излучателями, экранируется корпусом и не проходит на носовые КУ (и наоборот);
- за счет экранирующих свойств корпуса интенсивность шума на носовых КУ существенно ниже, чем на кормовых КУ;
- даже такая грубая модель шумоизлучения МПО позволяет оценить влияние формы корпуса МПО на интенсивность шумоизлучения МПО для различных КУ.

Заключение. Анализ результатов моделирования с использованием рассматриваемой модели показывает следующее.

- Для повышения ее точности необходимо знать диаграммы направленности излучателей, т.е. участков борта, с которых замеряют сигнал датчики.
- Вычислительные средства, используемые при расчетах, должны иметь значительно большие объемы памяти и быстродействие, чем средства, используемые при расчетах, например, приемной антенны, имеющей аналогичные параметры.
- Рассматриваемый алгоритм обработки может быть обобщен на систему излучателей с более сложной формой расстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **П.Красовский, С.Цыганков, Г.Теверовский** Проблема измерения гидроакустических характеристик морских объектов // Новый оборонный заказ – стратегии, №3 (10), 2010, С. 20-24.
2. **Пятакович В.А., Василенко А.М.** Анализ величины силы цели, как параметра формирования признаков описаний обучающей выборки интеллектуальной системы классификации целей // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 2. С. 47-51.
3. **Г.Дженкинс, Д.Ваттс.** Спектральный анализ и его приложения, т.1, М., Мир, 1971. 316 с.
4. **Рабинер Л., Гоулд Б.** Теория и применение цифровой обработки сигналов, М: Мир, 1978, 848 с.

I.M. Rudko (V.A.Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow). **Model of noise radiation of a marine underwater object taking into account the form of its hull.**

Abstract. A model of noise emission of a marine underwater object is considered, which makes it possible to estimate the dependence of its primary hydroacoustic field on the heading angle and on the hull contours. Hydrophones located directly on the body of a marine underwater object are considered as sensors.

А.В.НЕБЫЛОВ, В.А.НЕБЫЛОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения)

СТОИМОСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКРАНОПЛАНОВ И ИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Обсуждается возможность прогнозирования стоимости постройки транспортного аппарата нового типа на основе выявления аналогий с уже освоенными смежными областями транспортной инженерии. Особое внимание уделяется оценке сложности создания экранопланов и их систем управления. Оценивается оригинальность задач, которые должны решаться современными и перспективными системами управления.

Введение. Затраты на проектирование должны быть ограничены разумным сроком окупаемости проекта в течение порядка 5-7 лет, что заставляет заранее планировать многоальтернативное использование нового транспортного аппарата и не приводить к производству всего одного экземпляра, как это произошло в СССР и позднее в России с проектами космического корабля «Буран», тяжелого гидросамолета А-40 «Альбатрос», тяжелого самолета Ан-225 «Мрия». Подобные ошибки были и в других странах. Стоимостные факторы во многих случаях имеют решающее значение при формировании стратегии развития транспорта, принятии решений о проектировании, строительстве и выборе тактики эксплуатации транспортных средств. Авторы давно занимаются разработкой методов проектирования систем управления амфибийных транспортных аппаратов и делают в настоящей работе попытку предложить простую приближенную методику оценки их стоимости в зависимости от нескольких основных конструктивных параметров.

Метод Дикса–Риддла. Стоимостная оценка постройки и оснащения транспортного аппарата, создания его пилотажно-навигационного комплекса необходима на самых ранних стадиях его проектирования. Приблизительное решение можно найти с помощью формулы Дикса и Риддла [1], на которую авторы обратили внимание еще в 1994 г. [2,3]. В этой проверенной временем формуле фигурируют только три параметра: полная масса аппарата M в тоннах, доступная на борту мощность P в лошадиных силах и серийный номер строящегося аппарата n . Можно представить эту формулу в виде

$$C_c = K_{inf}(K_1 M + K_2 P n^{-1/3}). \quad (1)$$

Здесь K_1 и K_2 – известные из [1] размерные коэффициенты. Коэффициент инфляции K_{inf} – это коэффициент приведения себестоимости к уровню цен определенного года. Он должен учитывать долларовую инфляцию примерно в 2.5% за год и соответствующий рост долларовых цен. Считая, что к 2020 году прошли 15 лет с года выхода книги [2], соответствующий коэффициент инфляции составил $K_{inf} = 1.025^{15} = 1,44$.

Входящий во второе слагаемое в (1) коэффициент $n^{-1/3}$ учитывает фактор серийности производства, влияющий на стоимость через серийный номер n . Экспериментально установленный закон серийного производства состоит в снижении себестоимости изделия на относительную величину при каждом удвоении величины серии [4], выраженный математически в виде

$$C_{2n}^a = \rho C_n^a \quad (2)$$

где C_{2n}^a и C_n^a – средние затраты на производство одного аппарата в сериях размером n и $2n$ соответственно. Поэтому ρ – параметр снижения затрат за счет накопления опыта производства. Как правило, $0,75 \leq \rho \leq 0,97$ и нижняя граница этого интервала соответствует крупносерийному производству (самолетостроению), а верхняя граница – мелкосерийному производству. Если в формуле (1) пренебречь влиянием веса на стоимость аппарата и контролировать среднюю стоимость в серии размера n по стоимости n -го аппарата, то $\rho = 2^{-1/3} = 0,80$. Это значит, что 4-й аппарат будет стоить 80% от стоимости 2-го, а восьмой – 80% от стоимости четвертого.

Будем рассматривать только случай $n = 1$, т.е. оценивать стоимость первого экспериментального образца нового транспортного аппарата. Оценить стоимость серии аппаратов или учесть изменение стоимости с течением времени можно на основе формул (1) и (2). Для указанного случая из формулы (1) получим

$$C = K_1 M + K_2 P, \quad (3)$$

где $K_1 = 2,1$ тыс. долл/т, $K_2 = 2,3$ тыс. долл/л.с.

Можно подсчитать по формуле (3) оценочную стоимость конкретных изделий и сравнить с известной сейчас стоимостью этих транспортных аппаратов на мировом рынке, что позволит проверить справедливость расчетов по формуле (3). Это было сделано для малого экраноплана «Иволга», для гидросамолета «Бе-200», для гидросамолета «А-40», для корабля на воздушной подушке «Зубр», а также для экранопланов «Орленок» и «Лунь», долларовую стоимость которых в 70-80-х годах восстановить трудно, но пересчитать в нынешний долларовый эквивалент по формуле (3) можно (см. Табл.1).

Реальные стоимости были определены по открытым публикациям о заключенных валютных контрактах. Рассматривалась базовая конструкция транспортного аппарата без учета специального оборудования. Для экранопланов «Орленок» и «Лунь» за «истинные» значения стоимости принимались полученные ниже более сложным методом оценки.

Таблица 1.

Оценка стоимости транспортных аппаратов по формуле (3)

N п. п.	Транспортный аппарат	M , т	P , л.с.	Q Аэродин. качество	C , \$ млн Рынок	C , \$ млн Расчет	Погрешность расчета, %
1	Экраноплан «Иволга»	5,1	860	15	1,7	1,99	+14
3	Гидросамолет «Бе-200»	43	38870	15	60	89,5	+32
4	Гидросамолет «А-40»	90	111308	16	200	256	+22
5	КВП «Зубр»	555	50000	12	80	116	+31
6	Самолет «АН-225»	640	111000	19	280	257	-9,4
7	Экраноплан «Орленок»	140	44565	16	76,7	102,8	+24
8	Экраноплан «Лунь»	380	192500	17	320	410	+22

В последней колонке Табл.1 показаны относительные погрешности оценки стоимости путем расчета по формуле (3) в сравнении с «истинными» достоверно известными величинами. Видно, что только по трем аппаратам погрешность не превышает 10%, но по большинству других транспортных аппаратов значения погрешности составляют $\pm 20-30\%$. Это заставляет попытаться повысить точность оценки. В частности, в расчетах роль массы M оказалась незначительной из-за явно заниженной величины K_1 . Возможно, для других классов транспортных аппаратов, рассматривавшийся Диксом и Риддлом, это оправдано, но для авиации следует снизить K_2 и увеличить K_1 на основе методики, изложенной ниже.

Оценка стоимости по трем показателям. Отдавая уважение добросовестному труду Дикса и Риддла по анализу компонентов стоимости транспортных аппаратов, попытаемся повысить точность оценки. Для этого кроме массы аппарата и тяги двигателей введем третий показатель – аэродинамическое качество Q как отношение веса к силе лобового сопротивления. Величина Q характеризует совершенство экранопланов и СВП. Поскольку число искомых параметров стало 3, запишем три уравнения на основе известных параметров $M_1, M_2, M_3, P_1, P_2, P_3, Q_1, Q_2, Q_3$. Соответствующая система уравнений в матричной форме имеет вид:

$$\begin{pmatrix} M_1 & P_1 & Q_1 \\ M_2 & P_2 & Q_2 \\ M_3 & P_3 & Q_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Ее решение в общем виде дает Mathcad:

$$\begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{C_1 \cdot Q_2 \cdot P_3 - C_1 \cdot Q_3 \cdot P_2 - C_2 \cdot Q_1 \cdot P_3 + C_2 \cdot Q_3 \cdot P_1 + C_3 \cdot Q_1 \cdot P_2 - C_3 \cdot Q_2 \cdot P_1}{Q_1 \cdot M_2 \cdot P_3 - Q_1 \cdot M_3 \cdot P_2 - Q_2 \cdot M_1 \cdot P_3 + Q_2 \cdot M_3 \cdot P_1 + Q_3 \cdot M_1 \cdot P_2 - Q_3 \cdot M_2 \cdot P_1} \\ \frac{C_1 \cdot Q_2 \cdot M_3 - C_1 \cdot Q_3 \cdot M_2 - C_2 \cdot Q_1 \cdot M_3 + C_2 \cdot Q_3 \cdot M_1 + C_3 \cdot Q_1 \cdot M_2 - C_3 \cdot Q_2 \cdot M_1}{Q_1 \cdot M_2 \cdot P_3 - Q_1 \cdot M_3 \cdot P_2 - Q_2 \cdot M_1 \cdot P_3 + Q_2 \cdot M_3 \cdot P_1 + Q_3 \cdot M_1 \cdot P_2 - Q_3 \cdot M_2 \cdot P_1} \\ \frac{C_1 \cdot M_2 \cdot P_3 - C_1 \cdot M_3 \cdot P_2 - C_2 \cdot M_1 \cdot P_3 + C_2 \cdot M_3 \cdot P_1 + C_3 \cdot M_1 \cdot P_2 - C_3 \cdot M_2 \cdot P_1}{Q_1 \cdot M_2 \cdot P_3 - Q_1 \cdot M_3 \cdot P_2 - Q_2 \cdot M_1 \cdot P_3 + Q_2 \cdot M_3 \cdot P_1 + Q_3 \cdot M_1 \cdot P_2 - Q_3 \cdot M_2 \cdot P_1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Исходные данные для расчетов по выражению (5) возьмем из технических описаний следующих хорошо известных транспортных аппаратов: «Иволга», «Бе-200», «Зубр». Из расчетов по (5) получаем $K_1 = 0.136$ тыс.долл./т, $K_2 = 1.02$ тыс.долл./л.с. и $K_3 = 0.11$ тыс.долл.

Чтобы проверить эффективность предложенного метода, просчитаем по формуле (4) оценку стоимости всех рассматриваемых аппаратов. Результаты включены в Табл.1. Они более правдоподобны, чем расчеты по формуле (3).

Оценка стоимости экраноплана «Орлан». Перейдем к оценке стоимости постройки перспективного экраноплана со взлетной массой 800 т для арктических и других перевозок. Суммарная тяга двигателей такого тяжелого экраноплана должна составлять порядка $250 \cdot 10^3$ л.с. Аэродинамическое качество может достигать 21.

При использовании разных значений коэффициентов K для формулы (3) получим оценку стоимости в двух вариантах. Исходная формула (3) дает стоимость «Орлана» в \$576.7М. При значениях трех коэффициентов K , соответствующих формуле (5), получаем оценку \$431,8М. Можно принять некую среднюю величину \$470М. Попутно найдены также оценки стоимости экраноплана «Орленок» в \$70М и экраноплана «Лунь» в \$190М.

Найденная оценка стоимости одного построенного экземпляра не включает стоимости его проектирования, для нахождения которой необходимо учесть следующие обстоятельства.

Аэродинамические расчеты должны обеспечить высокое аэродинамическое качество при активном использовании современных средств автоматизации проектирования. В частности, в ГУАП хорошо освоена методика расчетов на основе Comsol Multyphysics [7]. Фактор накопления опыта важен для удешевления проекта и обеспечения его высокого качества.

Комплекс автоматического управления экраноплана «Орлан». Одним из ключевых вопросов проектирования «Орлана» является разработка информационно-управляющего комплекса. Навигационную часть можно взять авиационную, специфики в ней особой нет за исключением канала высоты, погрешность измерения в котором не должна превышать 10см в диапазоне высот 0-10м. Варианты построения канала измерения высоты описаны в [2-4,6-9].

Однако система управления не имеет близкого прототипа и требует весьма большого исследования и специальной разработки с учетом имеющегося опыта.

Систему автоматического демпфирования и стабилизации «Смена-3» для экраноплана «Лунь» создавал ЦНИИ «Электроприбор», Главный конструктор д.т.н. Владислав Б. Диомидов. Эта система подробно описана в его книге [6], а также в вышедшей двумя годами ранее книге [2], посвященной общим вопросам управления полетом вблизи поверхности.

Других систем автоматики для экранопланов за последние 30 лет «в металле» не создавалось. Больших экранопланов не строили, а на малых дешевых экранопланах проще было использовать только ручное управление. Сейчас ситуация изменилась в связи с анонсированием проекта «Орлан» [5] и неоднократными авариями малых экранопланов из-за ошибок пилотирования.

Интеллектуальность системы управления должна предусматривать следующие качества.

1. Демпфирование каналов управления существенно нелинейным объектом.
2. Блокирование ошибочных команд пилотирования для исключения аварийных ситуаций из-за опасной совокупности значений параметров полета.
3. Обеспечение безопасности, реконфигурация систем при обнаружении отказов их элементов.

4. Оптимальную балансировку отклонений руля высоты и закрылков с целью обеспечения угла атаки, при котором аэродинамическое качество максимально.
5. Автоматизацию координированного поворота с определенным приращением высоты.
6. Автоматизацию режима взлета с морской поверхности по критерию минимизации требуемой тяги двигателей.
7. Оптимизацию 3D-траектории движения с частичным отслеживанием длиннопериодических неровностей.
8. Автоматизация выполнения маневра «горка» с изменением высоты при облете препятствия.
9. Автоматическое или полуавтоматическое выполнение быстрого маневра по предупреждению столкновения с препятствиями.
10. Создание современной объемно-образной системы отображения пилотажно-навигационной информации и рекомендаций экипажу по выбору траектории и параметров полета.

Заключение. Предложен и проверен метод прогнозирования стоимости головного образца транспортного средства с системой автоматического управления. Исследованы прогнозируемая стоимость тяжелого экраноплана в \$470М, сложность создания их систем управления. В полном тексте статьи рассмотрены также другие варианты прогнозирования стоимости, факторы риска при проектировании экраноплана «Орлан» и его информационно-управляющего комплекса. Работа проводилась при поддержке Российского научного фонда по проекту 16-19-10381 и РФФИ по проекту 18-08-00234 в части требований к системам управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Dix D.M., Riddle F.R.** Projecting Cost-Performance Trade-offs for Military Vehicles. *Astronautics and Aeronautics*, 1976, Sept.
2. **Небылов А.В.** Измерение параметров полета вблизи морской поверхности. ГААП, СПб, 1994. 206с.
3. **Nebylov A.V., Wilson P.A.** Ekranoplanes: Controlled Flight Close to the Sea. WIT-Press, UK, 250 p.
4. **Amyot J.R.**, ed. Hovercraft technology, economics and applications. Elsevier Science Publ. BV. 1989, 770p.
5. **Болгова Е.** В России создадут экраноплан.
6. URL: <https://www.spb.kp.ru/online/news/3229509/> (Дата обращения: 29.07.2020)
7. **Диомидов В.Б.** Автоматическое управления полетом экраноплана. СПб, ЦНИИ «Электронприбор», 1996. 204 с
8. **Nebylov A., Panferov A., Brodsky S.** Application of CFD to WIG-craft motion control system design EUCASS-2019 8th European Conference for AeroSpace Sciences (EUCASS-2019), 2019, Madrid, Spain.
9. **Nebylov A., Nebylov V., Panferov A.** The Concept of choice and Stabilization of the Flight Altitude of WIG-Craft over the Waved Sea. 21st IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace. Cranfield, UK, 2019.
10. **Nebylov A.V., Watson J.** Editors. Aerospace Navigation Systems, John Wiley & Sons, UK, 2016, 371p.

A. V. Nebylov, V. A. Nebylov (Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg). **Cost features of designing screen plans and their control systems**

Abstract. The possibility of predicting the cost of building a transport vehicle of a new type on the basis of identifying analogies with already mastered related areas of transport engineering is discussed. Particular attention is paid to assessing the complexity of creating ekranoplanes and their control systems. The originality of the tasks to be solved by modern and promising control systems is assessed.

М.В. КОСТЫНА, Д.Э. МИХАЙЛОВ, А.А. ГОРШКОВ
(ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург)

О ФОРМИРОВАНИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБЛИКА ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В докладе рассматривается роль тренажерной техники при обучении вопросам эксплуатации корабельных ядерных энергетических установок Военно-Морского Флота и предложен перспективный облик учебно-тренировочного комплекса корабельной энергетики, базирующегося на использовании аппаратно-программных имитаторов технических средств.

Введение. В настоящее время происходит реализация программы перевооружения Военно-Морского Флота (ВМФ) Российской Федерации, которая характеризуется появлением и принятием на вооружение качественно новых образцов вооружения и военной техники. Деятельность современного военно-морского специалиста требует наличие сложной системы научных и профессиональных знаний, умений и навыков, личностных и профессиональных способностей. Значительное усложнение задач, возникающих при эксплуатации новой военной техники, требуют новых подходов к обучению личного состава, как в системе военных учебных заведений, так и системе боевой подготовки. И особая роль в этом вопросе отведена использованию тренажеров.

Предлагаемый доклад посвящен подходу к формированию перспективного облика тренажеров для практической подготовки специалистов по эксплуатации корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Роль тренажерной техники при обучении вопросам эксплуатации корабельных энергетических установок ВМФ. Одно из первых упоминаний о важности применения тренажеров для практической подготовки специалистов военного флота можно найти у величайшего историка древности Полибия. Так в его труде «Всеобщая история» [1] описывается первое применение тренажера для подготовки личного состава римского флота в период первой Пунической войны с Ганнибалом во II веке до нашей эры. У римлян на тот момент не было флота и требовалось в кратчайшее время его создать и подготовить экипажи.

«Пока одни заняты были возложенным на них вооружением судов, другие собирали команду и на суше обучали ее гребле следующим образом: они посадили людей на берегу на скамьи в том самом порядке, в каком они должны были занимать места для сидения на судах, посередине поставили келевста и приучали их откидываться всем разом назад, притягивая руки к себе, а потом с протянутыми руками наклоняться вперед, начинать и кончать эти движения по команде келевста. Когда люди были подготовлены, римляне спустили на море едва конченные корабли, а после кратковременных серьезных упражнений суда направились по приказанию консула вдоль Италии» [1].

В той войне римляне нанесли сокрушительное поражение Карфагену, самой мощной на тот момент морской державы средиземноморья.

В этом отрывке можно отчетливо проследить и современные способы обучения, применяемые в настоящее время в ВМФ, такие как: тренажерная подготовка экипажа на берегу (береговые элементы курсовых задач), слаживание экипажа в условиях плавания (морские элементы курсовых задач). Поэтому очевидно, что использование тренажеров позволяет повышать качество и эффективность обучения в ходе боевой подготовки ВМФ во все времена.

Глубокий анализ развития и использования тренажерной техники ВМФ проведен Захаровым В.Л. и Ильиным В.А. в монографии [2]. Ими же, по мнению авторов статьи, сформулировано и наиболее полное и современное определение понятия «тренажер»: «техническое средство профессиональной подготовки личного состава, реализующее физическую и (или) функциональную (информационную) модели объекта управления и его взаимодействия с внешней средой, отвечающее требованиям методик подготовки, обеспечивающее контроль качества деятельности обучающихся и предназначенное для формирования и совершенствования у обучающихся профессиональных навыков и умений, необходимых им для выполнения своих функциональ-

ных обязанностей, путем многократного выполнения обучающимися действий, свойственных управлению реальным объектом» [2. с. 242].

Данное определение отражает единство целей, задач и методик обучения с функциями, реализуемых на современных тренажерах ВМФ, в том числе для практической подготовки специалистов по эксплуатации ЯЭУ.

Развитие тренажерной техники является актуальной и важной научно-исследовательской задачей. Исследования, проводимые на кафедре ЯЭУ Военно-морского политехнического института, показали, что эффективное достижение целей профессионального обучения предполагает наиболее полное соответствие среды подготовки среде профессиональной деятельности, максимальное приближение её к условиям прохождения военной службы на корабле [3]. Поэтому в процессе обучения, начиная с института и заканчивая соединениями ВМФ, необходимо активно использовать различные классы тренажерной техники.

В настоящий момент состав учебно-материальной базы кафедры ЯЭУ позволяет в достаточной степени формировать практическую составляющую профессиональных компетенций будущего выпускника. Главными недостатками существующей базы является отсутствие единства в концепции тренажерной техники и низкая унификация оборудования. Это обусловлено тем, что формирование её облика происходило в течение последних 50 лет, и поэтому тренажерная техника представлена техническими средствами кораблей различных поколений. Но стремительное развитие ВМФ, ввод в строй кораблей новых поколений требует разработки более современных специализированных тренажеров, предназначенных для обучения инженеров-механиков, эксплуатирующих корабельные энергетические установки.

Перспективный облик учебно-тренировочного комплекса корабельной энергетики. В настоящий момент существует два основных направления разработки тренажерной техники для подготовки специалистов по эксплуатации корабельных ЯЭУ [4].

Первое это создание либо программных имитаторов, использующих в своей структуре только персональные компьютеры с пакетом программ, либо аппаратно-программных имитаторов – имитирующих принятые на вооружение образцы военной техники. Данные имитаторы относительно дешевые, но, как правило, позволяют формировать только операторские навыки, а для отработки в составе подразделений являются недостаточно эффективными.

Второе направление – создание комплексных специализированных тренажеров на основе действующего образца технического средства. Внедрение в учебный процесс серийной военной техники невозможно из-за трудности создания эксплуатационных условий. Например, для получения пара рабочих параметров необходимо помимо котла установить полноценную турбину, главный конденсатор с системой охлаждения и устройством, на котором будет срабатываться полученная энергия (винт, гиро или пневмотормоз и т.д.).

Авторами предлагается совместить указанные направления и рассмотреть подход к формированию перспективного облика тренажерной техники на примере учебно-тренировочного комплекса корабельной энергетики для подготовки по специальности «Эксплуатация атомных энергетических установок кораблей». Данный комплекс представляет собой совокупность специализированной тренажерной техники, состоящей из аппаратно-программных имитаторов технических средств корабельной ЯЭУ.

Тренажерный комплекс размещается в специальных помещениях, представляющие собой пульт управления главной энергетической установкой (ГЭУ) и отдельные энергетические отсеки подводной лодки: реакторный, турбинный и отсек вспомогательных механизмов (см. Рис. 1).

Таким образом, учебно-тренировочный комплекс состоит из четырех помещений, функциональное устройство каждого из которых мы рассмотрим ниже.

В помещении «Пульт ГЭУ» располагается аппаратно-программный имитатор пульта управления главной энергетической установкой с рабочим местом преподавателя, на котором можно задавать различные режимы работы корабельной ЯЭУ, осуществлять наблюдение и связь с помещениями-отсеками.

Реакторный отсек представляет собой полномасштабный тренажер в виде аппаратной выгородки, в которой располагается основные системы и механизмы ядерной реакторной установки без фактических технологических рабочих сред, но с их программно-аппаратной имитацией с помощью электронных датчиков. Здесь же размещаются стойки систем автоматики и щиты электроэнергетической системы.



Рис. 1. Перспективный учебно-тренировочный комплекс подготовки специалистов по эксплуатации корабельных ЯЭУ: 1 – рабочее место преподавателя; 2 – пульт управления ГЭУ; 3 – стойки системы автоматического управления; 4 – щиты электроэнергетической системы; 5 – аппаратная выгородка с системами и механизмами паропроизводящей установки; 6 – главный турбозубчатый агрегат; 7 – турбогенератор; 8 – валопровод; 9 – главный упорный подшипник; 10 – уплотнение линии вала; 11 – гребной винт; 12 – компрессор воздуха высокого давления; 13 – дизель-генератор; 14 – водоопреснительная установка.

Турбинный отсек – это полномасштабный аппаратно-программный имитатор блочной паротурбинной установки с обеспечивающими системами. Принцип оснащения такой же, как и в реакторном отсеке. Имитацию вращения паровых турбин предлагается выполнять с помощью специальных электродвигателей.

В отсеке вспомогательных механизмов располагается аппаратно-программный имитаторы линии вала, главный упорный подшипник, опорный подшипник и гребной винт. Данный отсек планируется также использовать как учебную лабораторию по изучению общекорабельных систем и механизмов.

Заключение. Разработка и внедрение перспективного учебно-тренировочного комплекса с использованием аппаратно-программных имитаторов технических средств корабельной энергетической установки и отсечной структурой размещения позволит:

- осуществлять формирование у выпускников необходимые профессиональные компетенции в среде, которая максимально приближена к условиям профессиональной деятельности на кораблях с ЯЭУ;
- снизить стоимость разработки, постройки, эксплуатации и технического обслуживания учебно-тренировочного комплекса, а также модернизации, при принятии на вооружение новых технических средств.

Также отметим, что серийное производство данного образца учебно-тренировочного комплекса в модульном варианте, может служить одним из подходов к усовершенствованию учебно-материальной базы учебных центров ВМФ и пунктов постоянного базирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Полибий.** Всеобщая история в сорока книгах: т. 1 (кн. I-V). – СПб. Издательская фирма «Наука» РАН, 2005 г. С. 160.
2. **Захаров В.Л., Ильин В.А.** Тренажеры Военно-Морского Флота: создание и использование: монография. – СПб-Тверь, 2019. – 248с.: ил. ISBN 978-9903399-9-6.
3. **Горшков, А.А. Зимин, В.А., Легошин, П.В.** Определение траектории подготовки специалиста по эксплуатации ЯЭУ ПЛ // Актуальные проблемы военной науки и политехнического образования ВМФ. Межведомственная научно-техническая конференция сб. науч. ст. в 3 т.; Т. 2/ под ред. Е.И. Якушенко, сост. В.Л. Ржавитин. – СПб. ВМПИ, 2017. – С.60 – 65.
4. **Кобзев В.В., Лямкин А.Д., Позняк В.К.** Педагогические и технические аспекты создания интеллектуальных тренажеров. // Системы управления и обработки информации. НТС ОАО «Аврора» выпуск 25, 2012 г., стр. 105.

M. V. Kostina, D. E. Mikhailov (Naval Polytechnic Institute, Naval Academy, Saint Petersburg), **A. A. Gorshkov** (Naval Academy, Saint Petersburg). **On the formation of a promising image of simulators for practical training of specialists in the operation of shipboard nuclear power plants**

Abstract. The report examines the role of simulator equipment in training the operation of naval nuclear power plants and offers a promising image of the training complex of ship power engineering, based on the use of hardware and software simulators of technical means.

Л.Б. ГУСЕВ
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург)

А.А. ГОРШКОВ
(ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург)

А.Б. СЕРЕБРЯКОВ
(Департамент МО РФ, Москва)

ПОДХОД К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ МИНИМАЛЬНОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА КОРАБЕЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В докладе предлагается подход к оценке минимального уровня надежности операторов пульта управления корабельных ядерных энергетических установок на основе комбинированного вероятностно-детерминированного аналитико-имитационного метода, функционально-структурной теории и вероятностно-алгоритмических моделей функционирования эргатических систем.

Введение. В настоящее время корабельные ядерные энергетические установки (ЯЭУ) рассматриваются как сложные технические незамкнутые искусственные системы эргатического (организационно-технического) класса – системы «человек-техника».

Анализ нормативно-технической документации, определяющей основные тактико-технические требования к надёжности корабельных ЯЭУ и её системам, показал, что нормированы только количественные показатели неэргатических (технических) элементов: ядерных реакторных установок, паротурбинных установок, систем управления (СУ) техническими средствами (ТС) и ЯЭУ в целом. К эргатическим (биологическим) же элементам (личному составу) подобные требования отсутствуют, что свидетельствует о недостаточности проработки данного вопроса. Поэтому, предлагаемый доклад посвящен подходу к количественной оценке минимального уровня надежности оператора пульта управления корабельной ЯЭУ.

Минимальный уровень надежности оператора. С системных позиций корабельная ЯЭУ объединяет в себе совместно действующие элементы: ТС ЯЭУ; СУ и личный состав (оператора пульта управления). При этом в схеме функционирования данной системы «человек-техника» можно выделить два канала управления: дистанционный и автоматический (см. Рис. 1) [1].

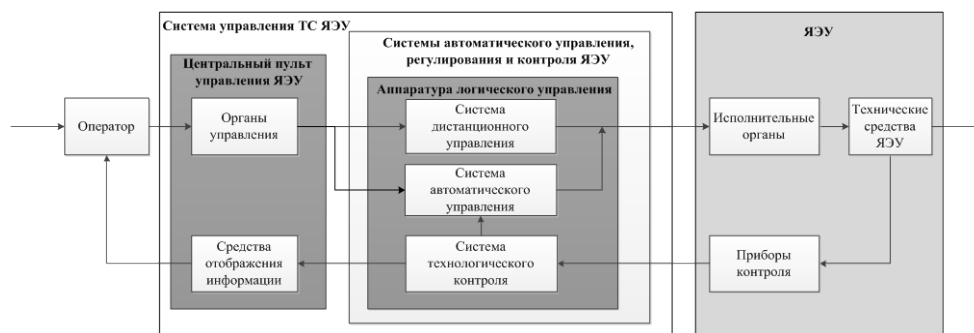


Рис. 1. Схема управления функционированием корабельной ЯЭУ

Общая надежность корабельной ЯЭУ, как эргатической системы, зависит от показателей надежности технической части системы (ТС ЯЭУ и СУ) и человека-оператора.

При применении методов количественной оценки надежности ЯЭУ, как правило, определяется вероятность безотказной работы как установки в целом, так и отдельных её систем, для достижения поставленной цели функционирования [2]. Основными показателями при этом выбираются безотказность технических элементов (в нашем случае - ТС ЯЭУ и СУ) и безошибочность личного состава (оператора пульта управления). Поэтому вероятность безотказной работы корабельной ЯЭУ $P_{\text{кязу}}(t)$ определяется как функция:

$$P_{\text{кязу}}(t) = f(P_{\text{ТС}}(t), P_{\text{СУ}}(t), P_{\text{ч}}(t)), \quad (1)$$

где: $P_{\text{ТС}}(t)$ – вероятность безотказной работы ТС ЯЭУ;

$P_{\text{СУ}}(t)$ – вероятность безотказной работы системы управления ТС;

$P_{\text{ч}}(t)$ – вероятность безошибочной работы оператора;

t – рассматриваемый интервал времени функционирования корабельной ЯЭУ.

Как уже было отмечено выше, в тактико-технических требованиях к надежности корабельных ЯЭУ и их систем показателям $P_{\text{кяэу}}(t)$, $P_{\text{ТС}}(t)$ и $P_{\text{СУ}}(t)$ определены минимальные значения, чего нельзя сказать о $P_{\text{ч}}(t)$. К личному составу в данных документах предъявляются только качественные требования по обеспечению заданной надежности корабельных ЯЭУ, её элементов и систем.

В качестве нормирующего количественного показателя надежности эргатических элементов корабельной ЯЭУ предлагается определить минимальный уровень надежности оператора, под которым будем понимать минимальное значение вероятности безошибочности человека-оператора $P_{\text{ч}}^{\text{min}}(t)$, при которой обеспечивается достижение цели функционирования корабельной ЯЭУ с требуемой вероятностью безотказной работы $P_{\text{кяэу}}^{\text{min}}(t)$ в течение заданного времени.

Таким образом, выражение (1) с учетом требований к минимальным значениям показателей надежности $P_{\text{ТС}}(t)$ и $P_{\text{СУ}}(t)$ и $P_{\text{ч}}(t)$ можно представить:

$$P_{\text{кяэу}}(t) = f(P_{\text{ТС}}(t), P_{\text{СУ}}(t), P_{\text{ч}}(t)) \geq P_{\text{кяэу}}^{\text{min}}(t) \\ \text{при } P_{\text{ТС}}(t) \geq P_{\text{ТС}}^{\text{min}}(t), P_{\text{СУ}}(t) \geq P_{\text{СУ}}^{\text{min}}(t), P_{\text{ч}}(t) \geq P_{\text{ч}}^{\text{min}}(t), \quad (2)$$

где $P_{\text{кяэу}}^{\text{min}}(t)$ – минимально требуемая вероятность безотказной работы корабельной ЯЭУ;

$P_{\text{ТС}}^{\text{min}}(t)$ – минимально требуемая вероятность безотказной работы ТС ЯЭУ;

$P_{\text{СУ}}^{\text{min}}(t)$ – минимально требуемая вероятность безотказной работы СУ;

$P_{\text{ч}}^{\text{min}}(t)$ – минимальная вероятность безошибочности оператора пульта управления.

Количественная оценка минимального уровня надежности оператора. Определим $P_{\text{ч}}^{\text{min}}(t)$ при управлении функционированием корабельной ЯЭУ, рассматривая её как систему «оператор - СУ - ТС ЯЭУ». Математическую модель данной системы, используя методы функционально-структурной теории А.И. Губинского [3, 4], подход к формализации процессов функционирования эргатических систем на основе вероятностно-алгоритмических моделей В.М. Глушкова [4 с.187, 5 с. 94] и комбинированный вероятностно-детерминированный аналитико-имитационный метод Г.А. Ершова [6, 7] с графическим аппаратом схем функциональной целостности, представим в виде картежа:

$$\langle T, S, O, W, L \rangle \text{ при } F = (T \cup S \cup O), \quad (3)$$

где T - множество элементов (систем) технических средств корабельной ЯЭУ с заданной величиной безотказной работы;

S - множество элементов (систем) системы управления ТС с заданной величиной безотказной работы;

O - множество действий (операций, функций, программ) выполняемых оператором при управлении ТС с заданной величиной безошибочности выполнения;

L – множество логических операторов, описывающих зависимости функционирования элементов T, S, O ;

F – множество функциональных вершин;

W – множество фиктивных вершин;

Используя (2) и (3) в программном комплексе БАРС [8] разработаем модели для количественной оценки надежности функционирования системы «оператор – СУ – ТС ЯЭУ» при автоматическом и дистанционном управлении ТС на простых и наглядных примерах. При этом для удобства примем то, что значения:

$$P_{\text{СУ}}(t) = P_{\text{ДУ}} = P_{\text{АУ}} = P_{\text{СУ}} \quad (4)$$

где $P_{\text{ДУ}}$ – значение вероятности безотказной работы канала дистанционного управления ТС;

$P_{\text{АУ}}$ – значение вероятности безотказной работы канала автоматического управления ТС.

Графические модели (схемы функциональной целостности) будут иметь вид: при дистанционном управлении ТС оператором см. Рис. 2а; при автоматическом управлении ТС и нахождении оператора в эргатическом резерве, см. Рис. 2б.

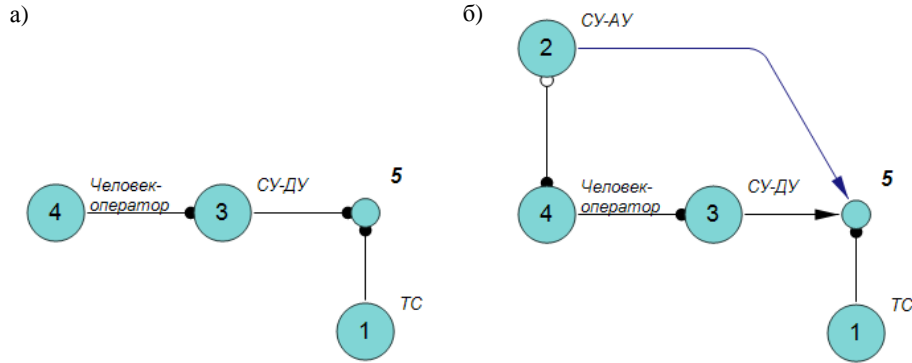


Рис. 2. Схемы функциональной целостности:
а) при дистанционном управлении ТС оператором; б) при автоматическом управлении ТС.

В модели включены следующие случайные события:

- 1 – событие, заключающееся в успешном выполнении своей функции ТС, $P_{\text{ТС}}(t) = P_{\text{ТС}}$;
- 2 – событие, заключающееся в успешном выполнении своей функции каналом автоматического управления ТС $P_{\text{ау}}(t) = P_{\text{ау}} = P_{\text{су}}$;
- 3 – событие, заключающееся в успешном выполнении своей функции каналом дистанционного ТС $P_{\text{ду}}(t) = P_{\text{ду}} = P_{\text{су}}$;
- 4 – событие, заключающееся в безошибочном выполнении действий оператором при дистанционном управлении ТС с пульта управления, $P_{\text{ч}}(t) = P_{\text{ч}}$.

Логическая модель оценки надежности функционирования системы при дистанционном управлении ТС будет иметь вид:

$$Y_c = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (5)$$

Из (5) получаем вероятностную модель:

$$P_c = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{ду}} \cdot P_{\text{ч}} = P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{су}} \cdot P_{\text{ч}}. \quad (6)$$

Учитывая (2) ($P_c \geq P_{\text{кязу}}^{\min}$) и (6), определим минимальный уровень надежности функционирования оператора $P_{\text{ч}}^{\min}$ при дистанционном управлении ТС:

$$P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{су}} \cdot P_{\text{ч}}^{\min} \geq P_{\text{кязу}}^{\min},$$

$$P_{\text{ч}}^{\min} \geq \frac{P_{\text{кязу}}^{\min}}{P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{су}}}, \text{ при } P_{\text{кязу}}^{\min} \leq P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{су}} \leq 1 \quad (7)$$

Отметим, что при максимальных значениях $P_{\text{ТС}} = P_{\text{су}} = 1$ минимальный уровень надежности оператора $P_{\text{ч}}^{\min}$ при дистанционным управлением ТС должен быть:

$$P_{\text{ч}}^{\min} \geq P_{\text{язу}}^{\min} \quad (8)$$

Логическая модель оценки надежности функционирования системы при автоматическом управлении ТС и нахождении оператора в эргатическом резерве будет иметь вид:

$$Y_c = x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (9)$$

Из (8) получаем вероятностную модель:

$$P_c = p_1 \cdot p_2 + p_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{ау}} + P_{\text{ТС}} \cdot (1 - P_{\text{ау}}) \cdot P_{\text{ду}} \cdot P_{\text{ч}} \quad (10)$$

Учитывая (2) ($P_c \geq P_{\text{кязу}}^{\min}$) и (10), определим минимальный уровень надежности функционирования оператора $P_{\text{ч}}^{\min}$ при автоматическом управлении ТС:

$$P_{\text{ТС}} \cdot P_{\text{су}} (1 + P_{\text{ч}}^{\min} (1 - P_{\text{су}})) \geq P_{\text{кязу}}^{\min}$$

$$P_{\text{ч}}^{\text{min}} \geq \frac{P_{\text{кяэу}}^{\text{min}} - P_{\text{тс}} \cdot P_{\text{су}}}{P_{\text{тс}} \cdot P_{\text{су}} (1 - P_{\text{су}})}, \text{ при } \frac{P_{\text{кяэу}}^{\text{min}}}{2 - P_{\text{су}}} \leq P_{\text{тс}} \cdot P_{\text{су}} < 1, P_{\text{су}} < 1. \quad (11)$$

Таким образом, имея значения показателей $P_{\text{тс}}$ и $P_{\text{су}}$, из (7) и (11) возможно определение минимального значения вероятности безошибочности оператора при дистанционном и автоматическом управлении ТС, которые бы обеспечивали заданную безотказность работы системы «оператор - СУ - ТС ЯЭУ» ($P_{\text{с}} \geq P_{\text{кяэу}}^{\text{min}}$).

Заключение. Нормирование надежности оператора имеет важное значение не только при анализе надежности ЯЭУ, но и при определении уровня обученности специалистов как в процессе их подготовки, так и при непосредственном выполнении задач профессиональной деятельности. Представленный подход к количественной оценке минимального уровня надежности оператора (безошибочности) при выполнении алгоритмов управления функционированием корабельной ЯЭУ позволит более объективно оценивать человеческий фактор в процессах, протекающих в эргатических системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин, А.Н., Острейковский, В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. — М.: Энергоатомиздат, 2000. - 346 с.: ил. - ISBN 5-283-03638-3
2. Соколовский, М.И. Методология оценки и обеспечения безопасности сложных организационно-технических систем ядерно-опасных объектов Минобороны России. [Текст] : дис. ... док. тех. наук : 05.08.05 / Соколовский Михаил Игнатьевич. – Санкт-Петербург, 2008.
3. Губинский, А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем [Текст]. – Л., «Наука», 1982 – 270 с.
4. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследования, проектирование, испытания [Текст]: Справочник / Под общ. ред. Губинского А.И., Евграфова В.Г. М., Машиностроение, 1993.
5. Кобзев В.В., Шилов К.Ю. Методы создания технических средств обучения корабельных операторов [Текст] – СПб.: Наука, 2005. – 156с. – ил.41. ISBN 5-7325-0876-7
6. Разработка методики оценки надежности функционирования личного состава, эксплуатирующего корабельные ЯЭУ [Текст] : отчет о НИР: I центральный научно-исследовательский институт МО РФ; рук. Петров С. А. ; испол.: Ершов Г.А. [и др.]. – СПб., 2001. – 138 с.
7. Совершенствование методики оценки надежности персонала, эксплуатирующего корабельные ЯЭУ [Текст] : отчет о НИР: I центральный научно-исследовательский институт МО РФ; рук. Петров С. А. ; испол.: Ершов Г.А. [и др.]. – СПб., 2002. – 317 с
8. Отчет о верификации программного средства БАРС «Безопасность и Анализ Риска Систем» (базовая версия 1.0) [Текст]. : отчет о НИР. - СПб.: ОАО «Атомэнергoproject». – 234 с.

L. B. Gusev (Naval Polytechnic Institute, Naval Academy, Saint Petersburg), **A. A. Gorshkov** (Naval Academy, Saint Petersburg), **A. B. Serebryakov** (Department of the Ministry of defense of the Russian Federation, Moscow). **An approach to quantifying the minimum level of reliability of a shipboard nuclear power plant operator**

Abstract. The report proposes an approach to assessing the minimum level of reliability of operators of the control panel of shipboard nuclear power plants based on a combined probability-deterministic analytical-simulation method, functional-structural theory and probabilistic-algorithmic models of the functioning of ergatic systems.

А.Ю. ЯКОВЛЕВ, ТХАНТ ЗИН
(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖИТЕЛЕЙ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МОРСКИХ СИСТЕМ

Моделирование натуральных характеристик движителей на этапе их проектирования является одной из актуальных практических задач. С этой целью разработан метод пересчета характеристик с модели на натуру. Метод основан на моделировании работы движителя по схеме несущей линии и расчете характеристик пограничного слоя при обтекании цилиндрических сечений лопастей и осесимметричного тела, моделирующего ступицу. Соответствие результатам модельных испытаний обеспечивается путем выбора ряда параметров, учитывающих особенности обтекания лопастей и набегающего потока.

Введение. Для морских систем, по аналогии с общим подходом [1], можно выделить следующие стадии жизненного цикла: исследование и обоснование разработки, разработка, производство, эксплуатация, капитальный ремонт, утилизация. Как отмечено в [1], в современных условиях для сложных наукоемких изделий и систем особое внимание уделяется первым двум из перечисленных этапов. Причем проектирование в этом случае осуществляется итерационным путем, что позволяет избежать серьезных ошибок. Ключевая роль на первых двух этапах отводится методам моделирования. Эти методы могут быть расчетными или основанными на модельном эксперименте, но в любом случае они должны обеспечивать достижение намеченных характеристик на этапе эксплуатации. То есть, проектанты должны заранее уметь предвидеть характеристики разрабатываемых систем.

Данная проблема актуальна для всех отраслей промышленности, но особенно остро она стоит в судостроении [2], поскольку размеры и сложные условия эксплуатации реальных морских систем практически не воспроизводимы в модельных условиях. С точки зрения классической механики в этом случае имеет место так называемая проблема масштабного эффекта. Под масштабным эффектом традиционно понимают различие между безразмерными характеристиками модели и натурального объекта, обусловленное нарушением условий механического подобия.

Таким образом, для получения характеристик реального натурального объекта недостаточно иметь результаты модельных испытаний, нужно еще уметь их правильным образом пересчитать на натурные размеры и условия эксплуатации. В настоящее время существуют стандартизированные на международном уровне методы пересчета (ИТТС'78). Однако эти методы не всегда устраивают проектантов. По этой причине активно развиваются способы учета масштабного эффекта на основе CFD-расчетов характеристик модельного и натурального объектов. На ряду с ними успешно развиваются методы основанные на упрощенном моделировании обтекания. Эти методы позволяют, путем подбора ряда теоретически обоснованных параметров, осуществить непосредственный пересчет результатов модельных испытаний на натуру.

Данный доклад посвящен разработке подобного метода для судовых движителей и в первую очередь для гребных винтов.

Моделирование натуральных гидродинамических характеристик на основе результатов модельных испытаний. Корпуса судов, объекты морской техники, их выступающие части и движители, имеют сложную форму, которая, как правило, может быть представлена в виде комбинации простых базовых элементов. К числу таких элементов относятся гидродинамический профиль и тело вращения. Разработав методы учета масштабного эффекта для профиля и тела вращения, можно развивать методы учета масштабного эффекта для более сложных объектов. Как уже было отмечено, важным является наличие в этих методах ограниченного числа свободных эмпирических параметров, которые позволяют настраивать математическую модель, исходя из согласования с имеющимися модельными экспериментальными данными. При этом теоретические соотношения моделируют зависимость характеристик движителя от критериев подобия.

В гидромеханике ключевым критерием подобия, с которым в первую очередь связан масштабный эффект, является число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{\infty} C}{\nu} \quad (1)$$

где V_{∞} – скорость набегающего потока, C – линейный размер (длина хорды профиля, диаметр гребного винта и т. д.), ν – коэффициент вязкости.

При реализации метода учета масштабного эффекта предполагается, что имеются результаты модельных испытаний при значениях Re , лежащих в диапазоне $10^4 - 10^6$. На основании этих данных необходимо оценить характеристики движителя при больших числах Рейнольдса, имеющих порядок $2 \cdot 10^6 - 10^7$ и выше.

Метод учета масштабного эффекта для профилей. Метод представлен в [3]. Для расчета обтекания профиля используется метод граничных уравнений, дающий решение в невязкой жидкости. Для учета процессов, обусловленных вязкостью жидкости, используются соотношения, полученные на основе теории пограничного слоя. Коэффициент сопротивления профиля определяется на основании формулы Сквайра-Юнга [4], в которую подставляется определенная в процессе расчета пограничного слоя толщина потери импульса. Расчет пограничного слоя выполняется с помощью известных интегральных соотношений [4], с учетом ламинарно-турбулентного перехода (в плоской постановке) и развития отрывного обтекания. Коэффициент подъемной силы профиля, определяется с учетом введения специальной поправки, зависящей от угла атаки профиля α и числа Рейнольдса, которая определяется на основе расчета пограничного слоя.

В реализованной расчетной схеме присутствуют свободные параметры, которые определяются по результатам сопоставления с данными модельных испытаний: f^*_0 , ϵ^* , L_s и σ [3]. Величины f^*_0 , ϵ^* оказывают влияние на момент наступления ламинарно-турбулентного перехода и определяются из условия согласования расчетной зависимости коэффициента сопротивления профиля от числа Рейнольдса с экспериментальными данными при нулевом угле атаки. Параметры L_s и σ позволяют согласовать расчет с модельным экспериментом в области отрывного обтекания. Причем параметр L_s оказывает заметное влияние на величину критического угла атаки, а его выбор обеспечивает хорошее согласование расчета и эксперимента. Таким образом, за счет подбора параметров f^*_0 , ϵ^* , L_s и σ производится настройка расчетного метода. После выполнения настройки можно проводить расчет для натуральных чисел Рейнольдса.

Метод учета масштабного эффекта для осесимметричных тел. Метод представлен в [5]. Распределение давления на теле вращения определяется с помощью метода граничных интегральных уравнений для обтекания осесимметричных тел неоднородным потоком. В качестве неизвестной величины выступает интенсивность потенциала простого слоя, распределенного на поверхности тела вращения. Для моделирования пограничного слоя на теле вращения используется переход к решению задачи для плоского пограничного слоя [4]. Данный прием позволяет применить все разработки, сделанные ранее при создании метода учета масштабного эффекта для плоских крыльевых профилей [3], к осесимметричным телам. Для расчета сопротивления тела вращения используется аналог формулы Сквайра-Юнга для осесимметричных тел [5].

В качестве параметров масштабирования, как и ранее для профилей, выступают параметры, входящие в представленный выше расчетный метод и определяемые по результатам сопоставления с данными модельных испытаний. К числу таких параметров для тел вращения могут быть отнесены: f^*_0 , ϵ^* , σ и α . Величины f^*_0 , ϵ^* аналогичны случаю обтекания профиля, рассмотренному выше. Параметр α , учитывает влияние скорости в хвостовой оконечности на сопротивление тела. Чем значительнее скорость отличается от скорости набегающего потока, тем сильнее влияние. Роль параметра σ заключается в учете небольших по протяженности областей отрывного течения в хвостовой части тел вращения. Процесс учета масштабного эффекта в целом аналогичен случаю профиля: за счет подбора параметров производится настройка расчетного метода, после выполнения настройки можно проводить расчет для натуральных чисел Рейнольдса.

Моделирование натуральных характеристик гребных винтов. Моделирование масштабного эффекта для гребных винтов базируется на струйной теории гребного винта и ряде эмпирических соотношений, полученных из анализа экспериментальных данных [6]. Этот метод позволяет реализовать расчет масштабного эффекта по цилиндрическим сечениям лопастей гребного винта. Характеристики гребного винта определяются после проведения оценок профилей сечений с помощью описанного выше метода путем решения нелинейного интегро-дифференциального уравнения теории несущей линии. В рамках разработанного метода, гидродинамические силы, создающие упор и

крутящий момент винта, определяются для цилиндрических сечений лопасти. Величины этих сил зависят от угла атаки профиля и скорости его обтекания W_i . Скорость W_i , в свою очередь, определяется скоростью потока набегающего на лопасть ГВ и скоростями, вызванными ГВ. Радиальная компонента скорости в расчетах не учитывается.

Для учета масштабного эффекта лопастной системы используются введенные для профиля параметры f^*_0 , ε^* , а так же параметры, учитывающие отличие реального распределения вызванных скоростей по лопасти гребного винта от их теоретических оценок. Определенный вклад в силы, действующие на гребной винт, вносит обтекание его ступицы. Для учета масштабного эффекта этой составляющей может быть использован метод учета масштабного эффекта для тел вращения.

В качестве примера учета масштабного эффекта в табл. 1 представлены результаты расчета масштабного эффекта для гребного винта [7]. Здесь приведены зависимости поправок коэффициентов упора ΔK_T и момента ΔK_Q (в процентах от модельных величин) от поступи J .

Таблица 1

Поправки на коэффициенты упора и момента, учитывающие масштабный эффект для гребного винта [7]

J	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
$\Delta K_T/K_T, \%$	0,4	0,4	0,4	0,8	0,9	3,2
$\Delta K_Q/K_Q, \%$	-1,0	-1,0	-1,2	-1,6	-2,9	-5,9

Заключение. Разработан метод учета масштабного эффекта для лопастных систем, позволяющий определять натурные характеристики движителей на начальных этапах жизненного цикла морских систем. Использование данного метода позволяет, на основе результатов модельных испытаний, на этапе исследования и разработки получать достоверные характеристики движителей. Данный метод может найти применение при проектировании движителей и при разработке тренажеров для обучения операторов разрабатываемых морских систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаревич Э.Г., Булойчик В.М., Герцев А.В. Роль и место систем моделирования на этапах жизненного цикла ВВТ // НАУКА И ВОЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ № 2, 2008, стр. 21-25.
2. Final Report and Recommendations to the 28th ITTC. The propulsion committee. Proceedings of 28th ITTC, Wuxi, 2017
3. Яковлев А.Ю., Тхант Зин Метод учета масштабного эффекта для гидродинамических профилей, Морские интеллектуальные технологии, 1(47), т. 3, 2020, с. 25 – 29.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. – М.: Дрофа, 2003.
5. Яковлев А.Ю., Тхант Зин Метод учета масштабного эффекта для осесимметричных тел при продольном обтекании // Морские интеллектуальные технологии, №2, т. 2, 2020, с. 28 - 34.
6. Яковлев А.Ю. Метод расчета тянущей винто-рулевой колонки и его использование для решения практических задач // Морские интеллектуальные технологии, № 4 (42), Т.1, 2018, с. 88 - 94.
7. Savio L., Sileo L., Kyrre As S Ås A Comparison of Physical and Numerical Modeling of Homogenous Isotropic Propeller Blades, J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 21.

A.Yu. Yakovlev, Thant Zin (Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg). **Simulation of natural characteristics of engines at the initial stages of the life cycle of marine systems**

Abstract. Modeling the full-scale characteristics of propulsion units at the design stage is one of the urgent practical problems. For this purpose, a method has been developed for recalculating characteristics from model to field. The method is based on modeling the propulsion system according to the carrier line scheme and calculating the characteristics of the boundary layer when flowing around the cylindrical sections of the blades and an axisymmetric body that models the hub. Compliance with the results of model tests is ensured by choosing a number of parameters that take into account the features of the flow around the blades and the incident flow.

К. В. ГРАНЕВСКИЙ, Д. К. КОРАБЛЕВ
Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ИНТЕРЕСАХ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

В докладе представлен обзор вариантов комплексного применения геоинформационных технологий (ГИТ) и робототехнических комплексов (РТК) в интересах Военно-Морского Флота. Описанные варианты могут быть реализованы уже в ближайшем будущем – уровень развития технологий позволяет при грамотном системном подходе, воле руководства и достаточном финансировании сделать это уже сейчас, значительно повысив эффективность деятельности сил ВМФ.

Введение. Анализ основных черт современных вооруженных конфликтов, а также тенденций развития взглядов на войну будущего позволяет сделать вывод о том, что успех при ведении боевых действий будет достигаться за счет технологического превосходства над противником и более эффективного построения системы управления силами и средствами. Это обеспечивается внедрением в военную сферу современных достижений науки и техники.

Одними из наиболее перспективных к применению в военной сфере научно-технологических решений являются геоинформационные технологии и робототехнические комплексы. Предлагаемый доклад посвящен комплексному применению указанных технологий при решении задач, стоящих перед Военно-Морским Флотом.

Проблемы использования геоинформационных технологий и робототехнических комплексов в Вооруженных Силах России. Геоинформационные технологии и робототехнические комплексы не являются чем-то новым и удивительным. На протяжении последних десятилетий они все более активно внедряются как в гражданскую сферу, так и в военное дело, демонстрируя свою эффективность.

Значительную часть данных об объектах боевой системы: своих силах, силах противника, театре военных действий, гидрометеоусловиях, и пр. – составляет информация, имеющая координатную привязку к земной поверхности. Для успешного ведения боевых действий командиры всех степеней должны получать полную и достоверную информацию о местности в режиме реального времени. Обработка огромных массивов накопленных геопространственных данных без использования геоинформационных систем (ГИС) невозможна.

Однако стоит отметить, что в наших Вооруженных Силах ГИТ применяются недостаточно активно, возможности их явно недооценены, о чем уже говорилось в [1, 2]. Зачастую геоинформационные системы используются в качестве графического редактора карт. Их информационная составляющая, возможность работать с разнородными базами данных, как пространственных, так и непространственных практически не используются органами военного управления, в чем авторы неоднократно убеждались на собственном опыте.

Ситуация с применением робототехнических комплексов военного назначения обстоит несколько лучше, что косвенно подтверждается словами и действиями военного руководства страны. Так, ещё в 2014 году министр обороны С.Шойгу заявил, что до 2020 года на программу по развитию и внедрению беспилотников будет израсходовано 320 млрд рублей [3]. В настоящее время РТК активно используются в интересах разведки и освещения обстановки, нанесения ударов по противнику. Однако и здесь имеется ряд недостатков, к которым можно отнести недостаточную оснащенность сил (войск) РТК, что наиболее справедливо для ВМФ (стоит отметить отсутствие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) палубного базирования), использование иностранных комплектующих (а зачастую полноценных РТК), отсутствие моделей применения и управления РТК при решении поставленных задач.

Варианты комплексного применения геоинформационных технологий и робототехнических комплексов при решении задач ВМФ. Комплексное применение ГИТ и РТК позволит достичь синергетического эффекта при выполнении задач силами, что будет обеспечиваться сокращением циклов обмена информацией и управления.

В [4] рассматривается вариант создания на основе ГИС человеко-машинного интерфейса группового управления РТК. При этом предполагается, что отображение информации о состоянии группировки РТК будет послойным. В качестве фонового слоя используется геопространственная основа – район выполнения задачи. На основу накладываются пользовательские слои, отображающие информацию о текущем и прогнозируемом состоянии объекта воздействия, окружающей среды, состоянии и взаимном расположении управляемых РТК, их элементов (полезной нагрузки, обеспечивающей выполнение поставленных задач), статусе и ходе выполнения задач как всей группой РТК, так и отдельными аппаратами и пр. Совокупность подобной информации обеспечит формирование и поддержание у оператора ситуационной осведомленности в контексте решаемых задач и позволит ему планировать реакции объектов управления на изменение обстановки.

При этом ГИС должна обеспечивать возможность осуществления управляющих воздействий непосредственно из своей оболочки, не прибегая к использованию дополнительного программного обеспечения и позволяя производить корректировку условий выполнения задач РТК, определение запретных зон (исходя из огневого и радиоэлектронного воздействия противника, гидрометеоусловий), распределение (перераспределение) целей и задач в ручном режиме и пр. Кроме того, ГИС должна обеспечивать анализ и обработку получаемых данных и расчет на их основе вариантов действий РТК с последующей выдачей рекомендаций лицу, принимающему решение (оператору).

В настоящее время согласно [5] в Национальном центре управления обороной уже сформирована единая картографическая основа, которая может быть использована в комплексах БПЛА для обзорного ориентирования на местности, формирования маршрутов перемещения комплексов и маршрутов полетов БПЛА.

В ВМФ могут использоваться различные типы РТК, такие как беспилотные летательные аппараты, автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), безэкипажные катера для решения широкого спектра задач.

Освещение обстановки. Задача, ставшая уже традиционной для робототехнических комплексов. В данном случае информация с РТК, осуществляющих освещение надводной (БПЛА) и подводной (АНПА и безэкипажные катера) обстановки, должна поступать непосредственно на ГИС-сервера. В среде геоинформационной системы должны отображаться зоны освещения обстановки, обнаруженные объекты (цели) по возможности идентифицированные средствами ГИС с использованием соответствующих баз данных. ГИС должна обеспечивать определение параметров движения обнаруженных целей, возможность перераспределения РТК по районам поиска в условиях изменяющейся обстановки.

Противоминная оборона. Как и в случае с освещением подводной обстановки для поиска мин и иных объектов, представляющих опасность в акватории пункта базирования, могут активно применяться АНПА и безэкипажные катера [6]. В процессе обследования акватории данные об обнаруженных объектах передаются на ГИС-сервер, где происходит их сравнение с данными о подводных объектах, имеющимися в соответствующей базе данных ГИС. В случае обнаружения нового объекта, информация о котором в базе отсутствует, происходит его возможная идентификация средствами ГИС с последующей выдачей рекомендаций либо целеуказаний роботам-саперам.

Нанесение ударов по объектам противника. Геоинформационная система предоставляет лицу, принимающему решение данные об обстановке (местности, гидрометеоусловиях, ограничивающих применение оружия). Аналитические средства ГИС должны обеспечивать определение степени важности цели, ее устойчивости и защищенности по базам пространственных объектов, накапливаемым в ГИС средствами разведки и освещения обстановки, а также математическое моделирование удара по противнику, прогнозирование его действий, определение оптимального направления удара с визуализацией на электронной карте результатов анализа и моделирования.

Ретрансляция сигналов. Идея применения БПЛА-ретрансляторов для создания мобильных сетей обмена информацией получает в последнее время все более широкое распространение [7, 8]. В 2015 году компанией «ЮВС Авиа» был представлен опытный образец комплекса ретрансляции на базе БПЛА «Гранад ВА-1000», способный с высоты 100 метров передавать сигнал на расстояние до 50 километров [9].

С использованием БПЛА-ретрансляторов в кратчайшие сроки можно развернуть подвижную сеть обмена информацией, обеспечивающую высокоскоростную передачу данных. Структура такой сети, район действий, зона охвата могут изменяться в кратчайшее время исходя из текущей обстановки. Такая сеть может быть развернута в ограниченный период времени, необходимый для выполнения поставленной задачи. При этом возможность маневрирования БПЛА-ретрансляторов как в горизонтальной плоскости, так и по высоте усложнит их обнаружение и пеленгование, а также последующее воздействие со стороны противника.

Актуальность подобного решения для ВМФ определяется также возможностью создавать подобные сети обмена информацией в сложных с точки зрения обеспечения связи районах мирового океана, а также необорудованных прибрежных районах.

Средства ГИС должны обеспечивать моделирование, просчет и дальнейшее управление в режиме реального времени такой сетью с учетом взаимного расположения абонентов и БПЛА-ретрансляторов, затухания сигнала, а также противодействия со стороны противника. В случае использования направленных антенн средствами ГИС может быть произведен расчет необходимого позиционирования антенной системы с последующей выдачей команд на БПЛА.

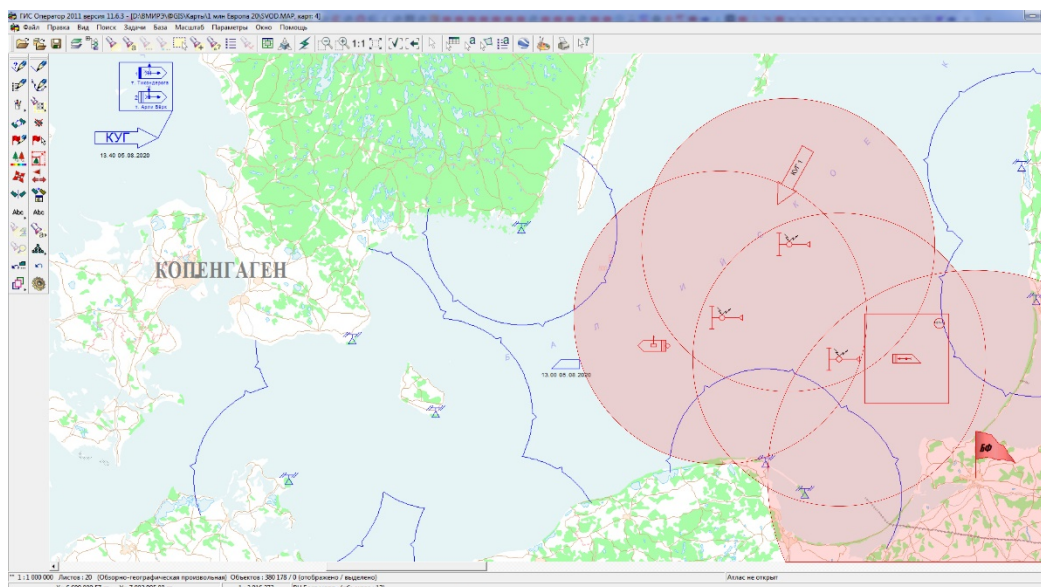


Рис. 1. Пример отображения в среде ГИС зоны покрытия сети обмена информацией

Кроме того, в кратчайшие сроки на основе данных об обстановке может быть рассчитана и сформирована ложная сеть обмена информацией с целью дезинформации противника.

Радиоэлектронная борьба. РТК могут быть использованы при решении задач радиоэлектронной борьбы: радиоэлектронное подавление, а также создание ложных целей (воздушных, надводных, подводных). При этом средствами ГИС на основе пространственных данных об обстановке могут быть определены размах театра, глубина необходимого подавления радиоэлектронных средств противника.

Кроме того, ГИТ и РТК могут быть использованы в комплексе при решении задач поисково-спасательного обеспечения, логистических задач, а также транспортировки грузов [10].

Заключение. Все более широкое использование РТК – общая тенденция развития идей военного противоборства, которая приведет в будущем к скоротечным дуэльным ситуациям на тактическом уровне, когда человек уже будет неспособен принять адекватное решение. Оперативный и стратегический уровни управления еще долго останутся за человеком в силу гибкости

его интеллекта. Геоинформационные технологии обеспечат управление на таких уровнях, предоставляя командующему в визуализированном виде все пространство театра военных действий в режиме реального времени. Комплексное применение ГИТ и РТК предоставит возможность построения перспективной боевой системы, реализующей концепцию сетцентрического управления и обеспечивающей минимизацию использования личного состава, потерь в живой силе при ведении боевых действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Граневский К.В., Карюк С.А., Титков И.В. Проблемы геоинформационного обеспечения управления силами флота в условиях сетцентрических войн // Морская радиоэлектроника, 2014, № 1 (47). С. 24-28
2. Граневский К.В., Титков И.В. Разработка структуры баз данных для геоинформационных систем в интересах обеспечения управления силами флота в условиях сетцентрических войн // Морская радиоэлектроника, 2014, № 2 (48). С. 16-24
3. Яцук К.В., Стафеев М.С., Казаринов С.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах // Молодой ученый, 2016, №25. С. 107-111
4. Волосюк А.А., Захарченко В.С. Принципы проектирования человеко-машинного интерфейса группового управления разнородными робототехническими комплексами военного назначения // Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». – 924 Государственный центр беспилотной авиации МО РФ, Коломна, 2016. Стр. 50-55
5. Демиденко А.Г., Осипов Д.А. Применение ГИС «Оператор» в комплексах с БЛА для оперативной обработки и анализа геоинформационных данных // Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». – 924 Государственный центр беспилотной авиации МО РФ, Коломна, 2016. Стр. 205-210
6. Граневский К.В., Волюнец Ю.Ф. Применение роботизированных систем для поиска и уничтожения морских мин в противоминных действиях флотов // Актуальные проблемы военной науки и политехнического образования. Межведомственная НТК. Рецензируемый сборник статей и докладов. № 1(20). – СПб: ВМПИ, 2018
7. Михалев О.А., Галимов А.Ф. Анализ беспилотных авиационных систем в качестве потенциальной платформы для размещения статей транслятора радиосигнала в интересах системы связи МО РФ // Сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». – 924 Государственный центр беспилотной авиации МО РФ, Коломна, 2016. С. 180 – 187
8. Ананьев А.В., Стафеев М.А., Макеев Е.В. Разработка способа организации связи с использованием беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Труды МАИ. 2019 Выпуск № 105
9. Д.Григорьев. В Кубинке военные покажут летающие ретрансляторы // Русское оружие [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rg.ru/2016/04/08/ministerstvo-oborony-pokazhet-novuiu-letaiushchuiu-platformu-sviasi.html>
10. Осадчий А.И., Поленин В.И. Роботизированная транспортная система с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов. // Информатика, вычислительная техника и управление. Информация и космос №2 2020, стр. 62-68

K. V. Granevsky, D. K. Korablev (Naval Polytechnic Institute VUNTS Navy "Naval Academy N. G. Kuznetsova"). **Complex application of geoinformation systems and robotic complexes in interest navy**

Abstract. The report provides an overview of the options for the integrated application of geoinformation technologies (GIT) and robotic systems (РТК) in the interests of the Navy. The described options can be implemented in the near future - the level of technology development allows, with a competent systematic approach, the will of the leadership and sufficient funding, to do this already now, significantly increasing the effectiveness of the activities of the Navy.

К. В. ГРАНЕВСКИЙ, Д. К. КОРАБЛЕВ
(Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНОГО РАЙОНА РАЗНОТИПНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

В докладе представлена имитационная модель оценки эффективности освещения надводного района разнотипными робототехническими комплексами (РТК). С помощью построенной имитационной модели можно получить вероятностно-временные показатели процесса освещения надводной обстановки в зависимости от входных параметров: количество робототехнических комплексов, их скорость, дальность обнаружения целей каждым РТК, площадь района освещения. Разработанная имитационная модель позволяет имитировать освещение заданного района с применением разнотипных РТК.

Введение. Актуальность освещения надводных районов лежит в области поиска объектов в случае необходимости. Это может быть поиск людей при кораблекрушениях, поиск браконьерских судов, обследование района в случае экологических катастроф и т.д. Однако, все эти случаи имеют в своей основе поиск объекта в требуемом районе.

РТК в настоящее время способны решать большой спектр задач, за счет своих неоспоримых преимуществ, таких как скрытность, малоразмерность, отсутствие человека непосредственно в самом аппарате, относительно невысокая стоимость энергопотребления в процессе эксплуатации. Эти качества, позволяют сделать вывод, что робототехнические комплексы по праву займут свою нишу в процессах освещения обстановки [1].

В силу выше изложенного, встает вопрос, а рационально ли применять РТК для освещения требуемого района и каких значений показателей эффективности (например: среднее время поиска, количество обнаруженных объектов к заданному времени, вероятность обнаружения к заданному времени и т.д.) можно достичь при применении разных видов РТК?

В данном случае, нам на помощь приходит имитационное моделирование, где разработанный или встроенный в средства имитационного моделирования моделирующий алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени. Это позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики моделируемой системы [2].

В данной статье, авторами разработана имитационная модель, которая способна получить вероятностно-временные характеристики процесса освещения, по которым можно оценить эффективность освещения требуемого района с применением разнотипных РТК.

Постановка задачи. По предварительно имеющимся данным, в заданном районе имеется объект освещения. Требуется разработать имитационную модель для оценки эффективности освещения заданного района с целью поиска требуемого объекта. Обозначим основные шаги при построении модели [3]:

1. Наименование – имитация освещения надводной обстановки с применением РТК.
2. Показатель эффективности – вероятность обнаружения объекта к заданному времени.
3. Перечень исходной информации – скорость РТК, дальность обнаружения РТК, количество РТК, площадь зоны освещения.
4. Перечень результатов (выходных данных) – выборка времени обнаружения объекта освещения.
5. Ограничения – объект поиска неподвижен, площадь зоны освещения - квадрат.

Описание программного средства имитации освещения надводной обстановки разнотипными РТК.

Входными данными для программы являются следующие параметры:

- скорость РТК,
- количество РТК,
- дальность обнаружения РТК,

- площадь района освещения,
- количество N итераций, имитирующих освещение (поиск) объекта.

Исходя из функционала имитационной модели, выходными данными будет являться выборка, состоящая из N значений машинного времени обнаружения объекта поиска.

Примем ряд допущений для имитационной модели:

1. Для построения разрабатываемой имитационной модели, будет применен хаотический способ поиска (освещения) – поиск с постоянной интенсивностью (барражирование) [4, 5, 6]. При данном виде поиска РТК двигаются по району хаотически и могут обследовать те районы, которые были уже обследованы ранее другими РТК.
2. Эшелонирование и создание поискового строя, а также связанные с этим виды поиска данной модели не учитываются.

Для разработки имитационной модели была выбрана среда программирования Delphi 7.

Интерфейс программы разработанной имитационной представлен на рисунке 1:

номер РТК	Скорость РТК,км/ч	Дальность обнаружения РТК,км
1	150	20
2	160	18
3	170	16
4	180	14

Рис. 1. Интерфейс программы имитационной модели

Описание работы имитационной модели. Исходя из количества N РТК заданного в первой строке формируется таблица, где количество строк равняется количеству РТК участвующих в поиске, рисунок 1.

Далее в сформированные ячейки соответственно заносятся значения скорости и дальности обнаружения каждым РТК. Так же создается освещаемая площадь района – S : формируется квадрат со сторонами квадратного корня из площади S .

После записи всех входных значений в таблицу при нажатии кнопки «загрузить данные с таблицы» происходит запись данных в сформированные массивы.

Затем вводим количество итераций поиска объекта: «количество прогонов».

Далее при нажатии кнопки «выполнить поиск цели, записать данные в массив» реализуется следующий сценарий: в заданный квадрат произвольно располагается точка (объект) поиска, рисунок 2. Затем, используя функцию «рандом» (команда языка DELPHI) «кидается» точка входа в район и точка выхода из района для первого РТК. Точка входа и точка выхода лежат на одной из граней квадрата S . Затем строится уравнение прямой по двум точкам. Предполагается, что РТК движется прямолинейно до тех пор, пока не достигнет точки выхода. Далее используем машинное время, по принципу: одна секунда – один шаг. РТК проходит путь x метров в секунду. На каждом шаге происходит проверка условия попадания точки поиска в уравнение окружности, которое описано исходя из дальности обнаружения РТК. Если при движении по заданной прямой не происходит обнаружения объекта, то РТК достигнув точки выхода производит разворот. Генерируется новая точка выхода. Текущей точке выхода присваивается позиция точки входа, строится новое уравнение прямой и происходит опять движение и поиск объекта на каждом шаге, до тех пор, пока объект не будет найден. Далее время поиска заносится в массив, равный количеству РТК. Затем процедура поиска повторяется для следующего РТК. И

данные его поиска так же заносятся в массив. Процедура поиска продолжается для каждого РТК. После прогона последнего РТК из массива выбирается минимальное значение, то есть это соответствует первому и самому раннему обнаружению объекта и это значение записывается в сформированный массив размерностью N – равный количеству прогонов. Заполнив весь массив N , выборка передается в файл EXCEL.

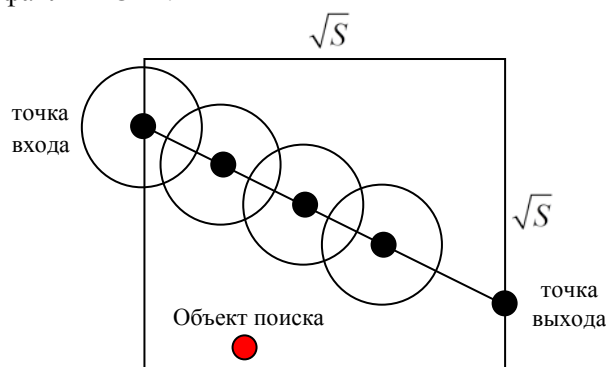


Рис. 2. Поиск цели в имитационной модели

В результате проделанных операций, мы получаем выборку размерностью N , которая содержит время нахождения объекта поиска при проведении N машинных испытаний. На основании данной выборки можно просчитать интересующий нас показатель эффективности в процессе освещения обстановки, а именно: вероятность обнаружения объекта к заданному времени. Оно численно будет равно отношению количества обнаружений к заданному фиксированному времени (из полученной выборки) к общему количеству экспериментов (прогонов) имитационной модели.

Заключение. Предложенная имитационная модель оценки эффективности освещения надводного района разнотипными робототехническими комплексами, исходя из входных данных: количество РТК, их скорость, дальность обнаружения цели и площади района освещения, позволяет получить выборку значений времени обнаружения требуемого объекта поиска. На основании этой выборки, мы можем получить вероятностно-временные показатели эффективности освещения заданного надводного района разнотипными РТК. Приведенная имитационная модель является упрощенным отображением реальных зависимостей, несмотря на это она позволяет выявить основные свойства сложной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кораблев Д.К., Кубенин Н.А., Трифанов В.А.** Модель обоснования состава сил поиска противника в море с привлечением беспилотных летательных аппаратов // Тенденции развития науки и образования, Выпуск №27/1, Самара, 2017.
2. **Наумов В. Н.** Элементы имитационного моделирования систем. Северо-Западный институт управления – филиал РАНХиГС, Санкт-Петербург, 2016.
3. **Лоптин К.К.** Научно-методические основы обучения компьютерному моделированию при подготовке в адъюнктуру офицерских кадров ВМФ. Модель – алгоритм – программа. Монография. ФГКВООУ ВО ВУНЦ ВМФ ВМА, Санкт-Петербург, 2019.
4. **Куватов В. И., Величко Г. А.** Исследование операций. СПб: ВМИРЭ, 2005.
5. **Вентцель Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология. КноРус, 2015.
6. **Попович В.В. и др.** Теория обнаружения и поиска подвижных объектов. Санкт-Петербург: Наука, 2016.

K. V. Granevsky, D. K. Korablev (Naval Polytechnic Institute VUNTS Navy "Naval Academy N. G. Kuznetsova"). **Simulation model estimates of the efficiency of the lighting of the above-water area by different type robotic complexes**

Abstract. The report presents a simulation model for assessing the effectiveness of illumination of a surface area with various types of robotic systems (RTC). With the help of the constructed simulation model, it is possible to obtain probabilistic-temporal indicators of the process of lighting the surface situation depending on the input parameters: the number of robotic systems, their speed, the range of target detection by each RTC, the area of the illumination area. The developed simulation model allows you to simulate the illumination of a given area using different types of RTC.

В.Е. КОЛПАКОВ, Ю.О. ФАДЕЕВА
(Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
Санкт-Петербург, г. Пушкин)

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ НА ПРИМЕРЕ СУДОВОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Обоснована необходимость совершенствования методов определения технического состояния судовых силовых установок, на примере вспомогательного двигателя. Приведен краткий анализ наиболее распространенных систем самодиагностики. Изложены особенности разработки и использования искусственного интеллекта для диагностики двигателей внутреннего сгорания. Изложен алгоритм проведения экспериментальных исследований для получения выборки диагностических признаков. Даны характеристики синтезированных нейронных сетей и приведена оценка точности определения технического состояния.

Введение. Повышение сложности технических систем, обусловленное развитием и совершенствованием техники приводит, в свою очередь, к повышению требований к квалификации персонала и качеству работ, связанных с эксплуатацией оборудования [1].

Это вызывает необходимость совершенствования методов и средств определения состояния технических систем, что позволяет повысить надежность и долговечность.

Определенный интерес представляют экспресс методы технической диагностики, основанные на принципах неразрушающего контроля, среди которых значимое место занимает комплексный подход с использованием тепловых полей. Таким образом, техническая диагностика, основанная на использовании информации теплового поля узлов и агрегатов силовых установок, в т.ч. судовых и стационарных, входящих в береговую инфраструктуру является одним из перспективных методов технического контроля объектов повышенной опасности.

Целью тепловой диагностики силовых установок морских объектов является оперативное определение технического состояния посредством инженерного экспресс аудита узлов и агрегатов с учетом уровня нагрузки, условий и сроков эксплуатации, перспектив ремонта и замены элементов оборудования. С этой точки зрения, экспресс диагностика представляет собой высокоэффективное средство снижения технологических и техногенных рисков.

Однако, такие методы требуют оперативной обработки массива параметров силовой установки, и как следствие не только соответствующего программного обеспечения, но и опытных высококвалифицированных инженеров-диагностов, наличие которых ограничено.

В связи с этим одним из рациональных способов решения данной проблемы является использование искусственного интеллекта, основанного на теории распознавания образов, в том числе на синтезе и использовании нейронных сетей.

Современные судовые *главные* двигатели имеют развитые системы диагностики и самодиагностики, например такие, как CEDC фирмы «Зульцер» (Швейцария), DETS фирмы «Норконтроль» (Норвегия), PED фирмы Пилстик (Франция), диагностический комплекс «Адмирал» (Россия) и др., обеспечивающие как непрерывное, так и дискретное измерение параметров рабочего процесса и анализ технического состояния [2].

В то же время вспомогательные двигатели, служащие для обеспечения функционирования генераторов судовых электростанций и прочего электрооборудования, необходимого для производства различных видов работ, например, компрессоров, насосов и имеющие значительно меньшие размеры, и мощность, отстают в развитии таких систем, что связано прежде всего с соображениями экономической целесообразности. Однако, от надежной работы вспомогательных двигателей зависит не только энергообеспечение корабля, но надежность его работы в целом.

Для вспомогательных двигателей с техно-экономической точки зрения значимый интерес представляют методы экспресс диагностики, основанные на измерении и математической обработке параметров тепловых полей, уровня шума и вибрации и прочих значимых факторов, позволяющие производить за короткое время оценку технического состояния силовой вспомогательной установки в целом. Это требует использование современного оборудования и синтеза нейронной сети определенной архитектуры, соответствующей конкретной силовой установке.

Методика экспериментального получения диагностических признаков для судового вспомогательного двигателя. Для оценки значимости диагностических признаков и создания нейронной сети может быть использованы известные стандартные пакеты программ, например такие как «STATISTIKA», «STATGRAF» и др.

В этом случае наибольшие трудности связаны с обучением нейронной сети, т.к. этот процесс требует наличие широких массивов диагностических параметров, соответствующих конкретным неисправностям силовой вспомогательной установки.

Таким образом, ключевой задачей является сбор и анализ статистической информации при эксплуатации, или моделирование неисправностей на экспериментальной лабораторной установке, что с технической точки зрения, значительно проще.

Для проведения экспериментальных исследований по оценке значимости диагностических признаков, используемых при реализации тепловибрационной экспресс диагностики судовых вспомогательных двигателей использована методика экспериментальных исследований зависимостей эксплуатационных тепловых и вибрационных показателей от режимов, разработанная в ВМПИ ВУНЦ ВМА «Военно-морская академия». В качестве объекта исследований использован дизель 3Д 6.

Лабораторные экспериментальные исследования позволяют решить следующие задачи:

1. Формирование экспериментальной лабораторной установки.
2. Экспериментальное определение эталонных значений температурных и вибрационных параметров при различных режимах работы дизеля.
3. Экспериментальное определение тепловых и вибрационных параметров в зависимости от технического состояния топливной аппаратуры (цикловая подача топлива; давление впрыскивания топлива; угол опережения подачи топлива) в нагрузочном и безнагрузочном режимах.
4. Экспериментальное определение количественных значений диагностических признаков для дальнейшего использования в моделях распознавания образов технического состояния объектов исследований.
5. По завершению разработки цели и задач экспериментального исследования производится планирование эксперимента, разрабатываются методики его проведения и выбор средств измерения.

Экспериментальная лабораторная установка состоит из дизеля 3Д6 с жидкостным охлаждением и гидротормоза с указателем нагрузки. Для измерения частоты вращения предусмотрен штатный тахометр. Для измерения температуры охлаждающей жидкости и масла использованы штатные термометры. Система газовыпуска дизеля препарирована хромелью алюмелевыми термопарами. При этом шесть термопар установлены внутри выпускного коллектора напротив каждого цилиндра. Термопара, установленная на поверхности коллектора позволяет проводить сравнение показаний с данными тепловизора.

Моделирование нейронной сети начинается с постановки классификационной задачи. С этой целью производится категорирование цели (принадлежность к первому, второму, или третьему классу технического состояния) и обозначение количества и параметров входных данных (значения температур и уровня вибрации). Одним из путей решения этой задачи является разделение массива данных на две или три подгруппы. Первая из которых – обучающая выборка, предназначена для обучения нейронной сети, т.е. анализа зависимости между входными и выходными данными, создания модели нейронной сети, предсказывающей с минимальной ошибкой. Вторая предназначена для экспертизы качества нейронной сети, используется в режиме тестирования. Третья – утверждающая, используется для окончательного контроля. Полученная нейронная сеть, предназначенная для определения технического состояния четырехцилиндрового дизеля содержит девять входов и три выхода (цели). Генерализация данных, отвечающая наибольшей точности определения, является приоритетом при моделировании нейронной сети. Значительное количество исходных данных (выборки) и, следовательно, наличие шума существенно осложняет задачу классификации.

Автоматизированные нейронные сети (ANS) в пакете *Statistica10* на начальной стадии моделирования позволила выбрать процентное соотношение обучающей контрольной выборок, коды для использования обучающей и контрольной выборок, тип нейронной сети, минимально и максимально допустимое количество нейронов во внутреннем слое. ANS по

завершении проверки работы нейронной сети указывает точность при обучении и тестировании и за счет каких алгоритмов и функций это достигнуто. Таким образом, построение эффективной нейронной сети сводится к множественному перебору разнообразных параметров сети в поиске оптимального решения.

При определении технического состояния двигателя смоделированы две нейронные сети, архитектура которых позволила получить точность определения принадлежности к одному из классов от 93,3 до 99,8 процентов в зависимости от рендомизации данных. Моделирование показало, что нейронная сеть *радиально базисного (RBF)* типа позволила достигнуть наибольшей точности. Достаточно точные результаты получились при использовании сети с десятью нейронами (9-10-3) при использовании алгоритма Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS), функции ошибок, основанной на применении *суммы квадратов (SOS)*, при использовании Гауссовской изотропной функции распределения и линейной активации нейронов в направлении выхода. Однако наилучшие результаты получены при использовании сети с тринадцатью нейронами внутреннего слоя (9-13-3) при использовании алгоритма BFGS, функции ошибок *крестовой энтропии (CE)*, активации внутренних слоев с использованием функции Гаусса, активации выходного слоя Softmax [2].

Заключение. Использование искусственного интеллекта при экспресс диагностике судовых вспомогательных двигателей является сложной, но перспективной научно-технической задачей, реализация которой может обеспечить высокий уровень надежности за счет определения неисправностей на ранних стадиях их возникновения. Разработанные методики в сочетании с тепловым методом диагностики двигателя внутреннего сгорания [3] позволяют синтезировать нейронные сети для определения технического состояния не только вспомогательных судовых, но и промышленных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Надеев А.И., Буй Хан Нгок, Свирипов Ф.Д.** Интеллектуальное управление судовыми двигателями внутреннего сгорания с учетом диагностики состояния оборудования Вестник государственного астраханского университета. 2011. №1. С. 45-50
2. **Колпаков В.Е.** Перспективы использования нейронных сетей для управления системой самодиагностики судовой энергетической установки «Управление в морских системах»/ материалы заседаний конференции УМС. СПб.: АО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2018, С. 41-46
3. **Колпаков В.Е.; Клишев В.Г.** Перспективы использования тепловых методов при диагностике судовых энергетических установок. Материалы межведомственной научно-технической конференции. Сборник статей и докладов. Часть II; СПб.: ВМПИ ВУНЦ «Военно-морская академия», 2017 С. 67-72.

V.E. Kolpakov, Yu.O. Fadeeva (Naval Polytechnic Institute VUNC Navy "Naval Academy", St. Petersburg). **Artificial intelligence in technical diagnostics on the example of a marine auxiliary diesel**

Abstract. The necessity of improving the methods for determining the technical state of ship power plants is substantiated, using the example of an auxiliary engine. A brief analysis of the most common self-diagnosis systems is presented. The features of the development and use of artificial intelligence for diagnostics of internal combustion engines are outlined. An algorithm for conducting experimental studies to obtain a sample of diagnostic signs is outlined. The characteristics of synthesized neural networks are given and an assessment of the accuracy of determining the technical condition is given.

А.В. ВАЛЯЕВ, Е.А. ЛУКИНА, Ю.С. ФЕДОСЕНКО
(Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СУДНА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УГРОЗЕ СКОРОТЕЧНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ

Предлагается концепция моделирования динамики посадки речного водоизмещающего судна для системы поддержки принятия решения о готовности к использованию штатных технических средств эвакуации и спасения пассажиров и экипажа при угрозе скоротечного затопления. В основу концепции положена имитация приема груза большого объема, склонного к смещению. Реализация концепции осуществляется путем непрерывного мониторинга динамики посадки судна в условиях запроектной аварийной ситуации, прогнозирования в реальном времени её развития и принятия капитаном упреждающих мер по эвакуации пассажиров и экипажа.

Введение. На этапе проектирования водоизмещающего судна проводится анализ его плавучести и остойчивости в конкретных аварийных ситуациях, согласно утвержденным методикам и правилам как морского, так и речного регистра.

Вместе с тем, при возникновении в процессе эксплуатации форс-мажорных обстоятельств и возможными по этим причинам изменениями проектных характеристик судна не исключено возникновение запроектной аварии с необратимыми для судна и фатальными для пассажиров и экипажа последствиями. К таким запроектным авариям относятся, в первую очередь, опрокидывание судна вследствие затопления отсеков, скопления пассажиров на одном борту; приема и смещения больших незакрепленных, сыпучих и других, склонных к смещению, грузов (суда технического, рыбопромыслового и грузового флота, паромы), приема на борт подвешенных тяжеловесов (крановые суда), аэродинамического воздействия ветра (на суда с развитой надстройкой). В качестве примеров подобных запроектных аварий укажем случаи, описанные, в работах [1, 2].

В процессе затопления судна происходит непрерывное изменение параметров его посадки и объемного водоизмещения. Соответственно капитан судна должен иметь возможность отслеживать динамику значений показателей, характеризующих его плавучесть и остойчивость в условиях конкретной аварийной ситуации, особенно в условиях комплексного внешнего воздействия.

Перспективным вариантом получения такой информации представляется дополнение оборудования судовой рубки цифровой системой поддержки принятия решений об использовании средств спасения при угрозе затопления водоизмещающего судна (далее СППР).

Функционирование СППР предполагает непрерывный мониторинг не только динамики посадки судна, но и выявление тенденций и прогнозирование развития опасной ситуации, принятие упреждающих мер по эвакуации пассажиров и экипажа.

В общем случае запроектную аварийную ситуацию в связи с затоплением судна концептуально можно определить как прием на борт большой массы груза (более 10% от водоизмещения судна), склонного к перемещению при наклонении корпуса. Усложняющими факторами при этом являются внешние кренящий и дифференцирующий моменты. Поэтому для определения характеристик судна дополнительно к классическим моделям и расчетным методам теории статики корабля необходимо привлекать модели и расчетные методы оценки динамических характеристик судов.

В докладе представляется математическая модель и результаты её вычислительных исследований, которые подтверждают возможность разработки программно-аппаратной системы поддержки принятия решений при угрозе скоротечного затопления путем непрерывной оценки динамики судна при различных внешних воздействиях, на практике оказывающихся комплексными.

Модель динамики посадки судна и результаты вычислительных исследований. Отмеченное выше определение запроектной аварийной ситуации в связи с затоплением судна и физический анализ действующих на корпус судна сил и моментов позволяют для описания динамики корпуса судна использовать систему дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned}
(m + \lambda_{33}) \frac{dv_{\zeta}}{dt} &= \rho g V - D - \sum_{i=1}^N P_i + R_{2\zeta} + R_{3\zeta}, \\
(I_{yy} + \lambda_{55}) \frac{d\omega_{\eta}}{dt} &= M_{\psi} - \rho g V \xi_{1c} + \sum_{i=1}^N P_i \xi_{1p_i} + M_{2\eta} + M_{3\eta}, \\
(I_{xx} + \lambda_{44}) \frac{d\omega_x}{dt} &= M_{\theta} - \rho g V \eta_{1c} + \sum_{i=1}^N P_i \eta_{1p_i} + M_{2x} + M_{3x}, \\
\xi_{1c} &= \xi_{3c} - \xi_{3g}, \quad \eta_{1c} = \eta_{3c} - \eta_{3g}, \\
\frac{d\zeta}{dt} &= v_{\zeta}, \quad \frac{d\psi}{dt} = \omega_{\eta}, \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega_x,
\end{aligned} \tag{1}$$

где $m, \xi, \theta, \psi, V, D$ – соответственно масса, вертикальные перемещения, углы крена и дифферента, объемное водоизмещение, весовое водоизмещение судна; $\lambda_{33}, \lambda_{44}, \lambda_{55}$ – присоединенные масса и моменты инерции воды; v_{ζ} – проекция скорости судна на ось ζ ; ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; $\sum P_i$ – суммарный вес принятых на судно грузов; $R_{2\zeta}, M_{2x}, M_{2\eta}$ – соответственно сила и моменты сопротивления воды перемещениям корпуса; $R_{3\zeta}, M_{3x}, M_{3\eta}$ – возмущающие вертикальная сила и моменты по крену и дифференту от действия волн; I_{xx}, I_{yy} – центральные моменты инерции массы судна относительно продольной и поперечной осей; ω_x, ω_{η} – угловые скорости при крене и дифференте; ξ_g, η_g – абсцисса и ордината центра тяжести; ξ_{1c}, η_{1c} – абсцисса и ордината центра величины; ξ_{1p_i}, η_{1p_i} – абсцисса и ордината центра тяжести принятого груза; M_{θ} – кренящий момент внешних сил; M_{ψ} – дифферентующий момент внешних сил.

Вычислительные исследования системы (1) при различных аварийных ситуациях выполнялись в среде программной системы TKOST [3] на данных пассажирского трехпалубного речного судна массового проекта 26-37.

По результатам проведенных исследований установлены характерные точки диаграммы статической остойчивости, соответствующие моментам начала развития всех трех типов [4] связанных с потерей остойчивости аварий, а именно:

- а) скоротечной (её продолжительность заведомо меньше расчетной длительности спасательной операции);
- б) конечной продолжительности (соразмерной с расчетной длительностью спасательной операции);
- в) продолжительной (её продолжительность заведомо больше расчетной длительности спасательной операции).

Как очевидно, в двух последних случаях имеется потенциальная возможность своевременно оценить опасность возникшей аварийной ситуации, выполнить анализ характеристик плавучести и остойчивости и эффективно организовать спасательную операцию.

Заключение. Предлагаемая в рамках концепции приема на борт большой массы груза математическая модель динамики посадки судна и результаты выполненных её вычислительных исследований позволяют рекомендовать к разработке программно-аппаратную систему поддержки принятия решений об использовании средств спасения при угрозе затопления водоизмещающего судна.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор №13574ГУ/2018 24.07.2018) и гранта Правительства Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники (договор № 12 от 14 декабря 2018)

ЛИТЕРАТУРА

1. Крушение южнокорейского парома [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=1485039> (дата обращения: 11.08.2020).
2. Завершено расследование уголовного дела о крушении траулера «Дальний Восток» в 2015 году [Электронный ресурс]. — URL: <https://sledcom.ru/news/item/1082970> (дата обращения: 11.08.2020).
3. **Ваганов А.Б., Краснокутский И.Д.** Свидетельство о государственной Регистрации программы для ЭВМ, №2014612390 «Расчет гидростатических характеристик и диаграмм остойчивости судовых корпусов сложной геометрической формы при произвольной посадке».
4. **Александров М.Н.** Безопасность человека на море. Л.: Судостроение, 1983. – 209 с.

A.V.Valyayev, E.A.Lukina, Yu.S.Fedosenko (Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod). **Vessel dynamics modeling for a decision support system in the threat of rapid flooding**

Abstract. A concept is suggested for modeling the dynamics of the fit of a displacement river vessel for making decisions about the readiness to use technical means of evacuation and rescue of passengers and crew in the event of a rapid flooding threat. The concept is based on the imitation of obtaining a large load, prone to displacement. The concept is implemented through continuous monitoring of the ship fitting dynamics in a beyond design basis emergency, real-time forecasting of its development, and the captain taking proactive measures to evacuate passengers and crew.

А.В. ЛОПАРЕВ, О.В. ЗАЙЦЕВ, Д.В. АНТОНОВ
(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УГЛА КАЧКИ КОРАБЛЯ

Разработаны адаптивные к параметрам волнения моря алгоритмы прогноза угла качки корабля, оценивающие ее медленноменяющуюся составляющую в реальном времени. В качестве таких алгоритмов рассмотрены алгоритм квадратичного прогноза с учетом ограничений на величину и производную медленноменяющейся составляющей качки корабля, искусственная нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью и полиномиальный фильтр. С использованием натурных данных проведен сравнительный анализ рассмотренных алгоритмов, при этом в качестве показателя эффективности принята среднеквадратическая погрешность прогноза.

Введение. Решение задачи прогнозирования углов качки корабля актуально при посадке авиационной техники на корабль в условиях волнения [1-4]. Для повышения безопасности посадки самолета может быть проведена модернизация комбинированной системы гиросtabilизации глissады для посадки на палубу путем внедрения в программное обеспечение алгоритмов прогноза углов качки корабля.

Одним из самых распространенных современных подходов к прогнозированию считается подход на основе искусственных нейронных сетей (НС). Известен метод обучения модели НС с помощью генетического алгоритма [5], требующий значительных вычислительных ресурсов. Ускорение работы алгоритма может быть достигнуто за счет экстремального машинного обучения [6], однако здесь требуется задание точных начальных значений скрытых узлов. Метод [7] решает задачи предсказания и восстановления процесса с помощью усечения спектра без привлечения вероятностного подхода. Большое распространение получили методы на основе модели авторегрессии (АР) [8]. В то же время приемлемое качество алгоритмов, построенных на моделях АР, может быть достигнуто только при использовании моделей высокого порядка, что сильно замедляет работу алгоритма [9].

Широкое разнообразие подходов, которые могут быть привлечены к прогнозированию качки, тем не менее, не ограничивает поиск новых методов.

Постановка задачи. Несмотря на то, что задача прогнозирования качки не является новой [10-12], она до сих пор плохо формализована. В рамках настоящего доклада будем полагать, что исследуемый процесс представляет собой измерения угла наклона палубы корабля $g(t_k)$ относительно плоскости горизонта, поступающие от инерциальной навигационной системы с дискретностью $\Delta t = 0,05$ с. Качка представляет собой узкополосный процесс с преобладающим периодом 10 с и переменной амплитудой. Принимая во внимание скорость затухания выборочной корреляционной функции, полученной по тестовой реализации, будем осуществлять прогноз на время, не превышающее половину периода качки. Таким образом, горизонт прогноза медленноменяющейся составляющей угла качки примем равным $n\Delta t = 5$ с.

Алгоритмы прогноза качки. В настоящей работе сравниваются между собой три алгоритма прогноза качки: алгоритм квадратичного прогноза на основе фильтра Калмана с учетом ограничений на величину и производную оцениваемого процесса (КПО), нейросеть с долгой краткосрочной памятью (Long-short-term-memory – LSTM) и полиномиальный фильтр (ПФ).

LSTM-нейросеть. При использовании нейронной сети применялась модель, отличающаяся способностью к обучению долговременным зависимостям [13]. Особенностью этой сети является наличие цепочки LSTM-модулей, которые фактически представляют собой память НС. Модель сети состоит из одного входного слоя, одного выходного слоя и 200 скрытых слоев, а при ее обучении используется метод градиентного спуска.

В работе на вход алгоритма обучения нейронной сети подаются ранее записанные данные об угле качки корабля, количество отсчетов сигнала определяется экспериментальным образом.

После обучения сети ее выходная последовательность сравнивается с исходными данными обучения. В качестве функции ошибки используется квадратичная функция.

По завершении процедуры обучения НС определяются следующие параметры:

- весовые коэффициенты фильтров ячеек скрытых слоев НС, которые определяют необходимость забывания состояния ячейки;
- размер вектора значений предполагаемых состояний ячейки для замены;
- состояния входных фильтров ячеек;
- выходные сигналы ячеек.

Поскольку LSTM – рекуррентная сеть, полученные на каждом шаге значения выходных параметров используются на протяжении всего времени работы сети.

Квадратичный прогноз с ограничениями. Алгоритм КПО [14, 15] предполагает представление медленноменяющейся составляющей угла качки в виде полинома второго порядка, при этом накладываются ограничения как на величину искомого угла качки, так и на ее первую производную. Задача оценивания сводится к нахождению оценок коэффициентов полинома b_i , $i = 1, \dots, 3$, минимизирующих квадратичную форму специального вида [16,17]. Аппроксимация угла качки осуществляется на интервале, совпадающем по длительности с горизонтом прогноза. Искомая экстраполированная оценка определяется по формуле

$$\hat{g}_{k+n} = \hat{b}_0 + 2n\hat{b}_2 + 4n^2(\hat{b}_1 - \hat{b}_0 - \hat{b}_2). \quad (1)$$

Полиномиальный фильтр. Алгоритм ПФ предполагает его настройку на динамическую модель, формирующую квазигармонический процесс, частота которого претерпевает медленные изменения (описывается процессом с экспоненциальной корреляционной функцией):

$$\begin{aligned} x_{1k} &= x_{1k-1} \cos \omega_0 \Delta t + x_{2k-1} \sin \omega_0 \Delta t - x_{1k-1} x_{3k-1} \sin \omega_0 \Delta t + x_{2k-1} x_{3k-1} \cos \omega_0 \Delta t + w_{1k}, \\ x_{2k} &= -x_{1k-1} \sin \omega_0 \Delta t + x_{2k-1} \cos \omega_0 \Delta t - x_{1k-1} x_{3k-1} \cos \omega_0 \Delta t - x_{2k-1} x_{3k-1} \sin \omega_0 \Delta t + w_{2k}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$x_{3k} = dx_{3k-1} + \sigma_\omega \Delta t \sqrt{1-d^2} w_{3k},$$

где ω_0 – преобладающая частота качки; σ_ω – среднеквадратическое отклонение частоты от преобладающего значения; $d = e^{-\Delta t/\tau_\omega}$, τ_ω – интервал корреляции процесса, описывающего изменение частоты (x_{3k}); w_{ik} – некоррелированные между собой дискретные белые шумы. Здесь переменная x_{1k} задает непосредственно качку объекта, x_{2k} – квадратурная компонента.

Оценивание состояния модели (3) производится ПФ [18]; далее осуществляется прогноз качки на время $n\Delta t$ в соответствии с соотношением

$$\hat{g}_{k+n} = \hat{x}_{1k+n} = \hat{x}_{1k} \cos(n(\omega_0 \Delta t + \hat{x}_{3k})) + \hat{x}_{2k} \sin(n(\omega_0 \Delta t + \hat{x}_{3k})), \quad (7)$$

где \hat{x}_{ik} , $i = 1, \dots, 3$ – оценки, полученные ПФ.

Результаты обработки натурных данных. В качестве натурных данных использовались зафиксированные с частотой 20 Гц выходные данные корабельной ИНС, функционирующей в условиях морской качки. Все алгоритмы апробировались на выборке из 30 реализаций. В ходе обучения НС (по отдельной выборке) определялись коэффициенты, которые в дальнейшем использовались при прогнозе. Настройка алгоритма КПО также проводилась по отдельной выборке, в результате чего определялись значения параметров, задающих ограничения на уровень угла качки и его первую производную. На рис. 1 приведены СКП прогноза, полученные путем осреднения квадратов невязок и соответствующие каждому из рассмотренных алгоритмов.

Стоит отметить, что в случае НС, в отличие от других рассматриваемых алгоритмов, снижение дискретности измерений с 20 Гц до 2 Гц способствовало увеличению точности прогноза на время 2-5 с примерно в 2 раза (максимальная СКП прогноза снижается с 30% до 15% от максимальной амплитуды реализации в выборке). Это обусловлено тем, что при меньшей дискретности измерений на вход сети подается такое же количество точек и модель сети обучается на большем интервале времени. В то же время объем данных для обучения фиксирован и ограни-

чен, с одной стороны, возможностями переобучения модели, а с другой – необходимостью получения приемлемой точности прогноза.

Прогноз с использованием алгоритма КПО эффективен лишь на время в пределах 1 с, что обусловлено отличием используемой модели качки в виде полинома второго порядка от реального процесса изменения угла качки, близкого к гармоническому. Полученные результаты для алгоритма с ограничениями согласуются с [15], где он апробировался на модельных данных в виде гармонического сигнала со случайными начальными фазами и шумами.

Для полиномиального фильтра максимальная СКП прогноза на рассматриваемом горизонте прогноза не превышает 20%, что, однако, уступает показателям НС. В то же время следует отметить, что алгоритм ПФ при работе на длительных интервалах времени не требует перезапуска (переобучения) в отличие от двух других рассмотренных алгоритмов.

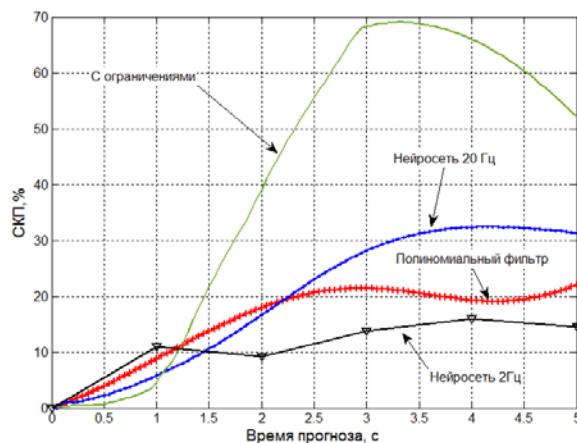


Рис. 1. СКП прогноза, полученные по результатам обработки натурных данных

Заключение. По результатам анализа трех алгоритмов прогноза качки корабля установлено, что наибольшую эффективность продемонстрировал алгоритм на основе нейронной сети, предполагающий поступление измерительной информации с дискретностью 2 Гц. При необходимости работы на длительных интервалах времени может быть рекомендован алгоритм полиномиальной фильтрации. Дальнейшее совершенствование методов прогноза может быть направлено на комплексирование рассмотренных алгоритмов с изменением весов в зависимости от горизонта прогноза.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ № 18-0801101А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов П.Н., Харин Е.Г., Поликарпов В.Г., Ясенюк А.В., Копылов И.А., Копелович В.А., Паденко В.М. Технология проведения траекторных измерений для оценки взлета и посадки самолета на корабль с использованием комплекса бортовых траекторных измерений // Новости навигации №2 – 2013 – С. 22-29
2. Гузеев А.Е. Способ определения пространственного и углового положения воздушного судна и параметров качки авианосца на этапе палубной посадки – Успехи современной радиоэлектроники №7 – 2019г.
3. Медынский Ю.В. Построение систем управления летательными аппаратами при посадке на подвижное основание – дисс. 2006
4. Икрянов И.И. Моделирование системы визуальной посадки вертолета на палубу корабля – дисс. 2009
5. Khan, A. & Bil, Cees & Marion, Kaye. (2005). Ship motion prediction for launch and recovery of air vehicles. 2005. 2795 - 2801 Vol. 3. 10.1109/OCEANS.2005.1640198.
6. Xianjun, Liu & Wang, Q. & Huang, Y. & Song, Q. & Zhao, L.. (2017). A prediction method for deck motion of aircraft carrier based on particle swarm optimization and kernel extreme learning machine. Sensors and Materials. 29. 1291-1303. 10.18494/SAM.2017.1588.
7. Dokuchaev N.G. A closed equation in time domain for band-limited extensions of one-sided sequences // 2018. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 66, No. 1, pp. 215-223.
8. Zhuang Lin, Qiang Yang, Zhiqun Guo, Jun Li An Improved Autoregressive Method with Kalman Filtering Theory for Vessel Motion Predication // 2011. International Journal of Intelligent Engineering and Systems, Vol.4, No.4, pp. 11 – 18
9. X. Zhao, R. Xu, C. Kwan, Ship-motion prediction: algorithms and simulation results // 2004. Acoustics, Speech, and Signal Processing, , pp. 125 – 128.
10. Крылов А.Н. Качка корабля – Собрание трудов – т. XI – издательство АН СССР – 1951
11. Бородай И.К. Нецветаев Ю.А. Качка судов на морском волнении – изд. «Судостроение» - Ленинград – 1969

12. **Пелевин А.Е.**, Прогноз угла наклона палубы корабля, Гироскопия и навигация. Том 24, № 4 (95), стр. 122-132, 2016.
13. **Sherstinsky A.**, Fundamentals of Recurrent Neural Network (RNN) and Long Short-Term Memory (LSTM) network, Physica D: Nonlinear Phenomena. Elsevier, march 2020.
14. **Зайцев О.В.** Прогноз дифференциальных поправок глобальных навигационных спутниковых систем с учетом ограничений // Известия Тульского Государственного Университета. Технические науки. 2019. №6. – С. 245-258.
15. **Зайцев О.В.** Оценивание квазидетерминированных процессов с учетом ограничений на их величину и производную в задачах спутниковой навигации. Диссертация на соискание уч. ст. к.т.н. – СПб, 2019.
16. **Дмитриев С.П., Кошаев Д.А.** Оценивание непрерывно дифференцируемого сигнала с учетом ограничений // Автоматика и телемеханика, 2011. № 7. С. 7-14.
17. **Кошаев Д. А.** Методы оценивания сигналов навигационных систем на основе многоальтернативного и неполного стохастического описания. Диссертация на соискание уч. ст. д.т.н. — СПб, 2010.
18. **Hernandez-Gonzalez, M., Basin, M., and Stepanov, O.** “Discrete-time State Estimation for Stochastic Polynomial Systems over Polynomial Observations”. International Journal of General Systems. Vol. 47(5). Pp. 512-528, 2018.

A.V. Loparev, O.V. Zaitsev, D.V. Antonov (Concern CSRI Elektropribor, JSC; ITMO University, Saint-Petersburg). **The use of adaptive algorithms for ship rolling angle predicting**

Abstract. The algorithms for predicting the rolling angle of the ship, that are adaptive to the sea waves parameters, have been developed. They allow to estimate slowly varying component of rolling angle in real time. As such algorithms, a quadratic prediction algorithm with constraints on the magnitude and the first derivative of the slowly varying component of the ship's rolling, an artificial neural network with long short-term memory, and a polynomial filter are considered. Using field data, a comparative analysis of the considered algorithms was carried out, while the root mean square error was taken as an indicator of efficiency.

А.В. ДЫШКАНТЮК
(НТЦ ТБ, Санкт-Петербург)

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ВВТ ВМФ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В основе проблемы управления жизненным циклом (ЖЦ) ВВТ лежит несоответствие, заключающееся в отсутствии системного описания всех сторон ЖЦ, а так же методологии управления им как теоретической основы такого описания, что не позволяет в настоящее время реализовать в полной мере потенциал образцов ВВТ в рамках ЖЦ, т.е. необходимо теоретическое обоснование методов и моделей управления ЖЦ, а так же облика самой СУ ЖЦ.

Актуальность темы статьи обусловлена повышением требований к уровню тактико-технических характеристик ВВТ ВМФ, что связано с возрастанием сложности их разработки и производства, увеличением стоимости жизненного цикла (далее – ЖЦ), в особенности на стадии эксплуатации, которая для ВВТ ВМФ может достигать нескольких десятков лет.

В этих условиях весьма важными являются мероприятия, направленные на обоснование, достижение и поддержание заданных в ТТЗ значений характеристик ВВТ ВМФ, в первую очередь эффективности, надежности, технической готовности, а также решения задач оптимизации характеристик ВВТ, параметров системы эксплуатации в рамках жизненного цикла, что составляет основное содержание управления ЖЦ ВВТ ВМФ.

Кроме того, Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. N 603 и ряд других документов регламентируют необходимость создания системы управления (далее – СУ) ЖЦ.

Проблема создания СУ ЖЦ имеет многоаспектный характер. Наиболее важными из них являются:

- методы, модели и технологии управления ЖЦ, которые составляют основное содержание методологии управления ЖЦ;
- обоснование облика самой СУ ЖЦ, т.е. решение задачи синтеза структуры системы управления и определения ее функций.

При рассмотрении первого аспекта основное внимание необходимо уделять так называемому пространственному исследованию ЖЦ в рамках системного анализа и технологии конфигурационного управления [1,2]. Схема пространственного исследования ЖЦ представлена на рис. 1.

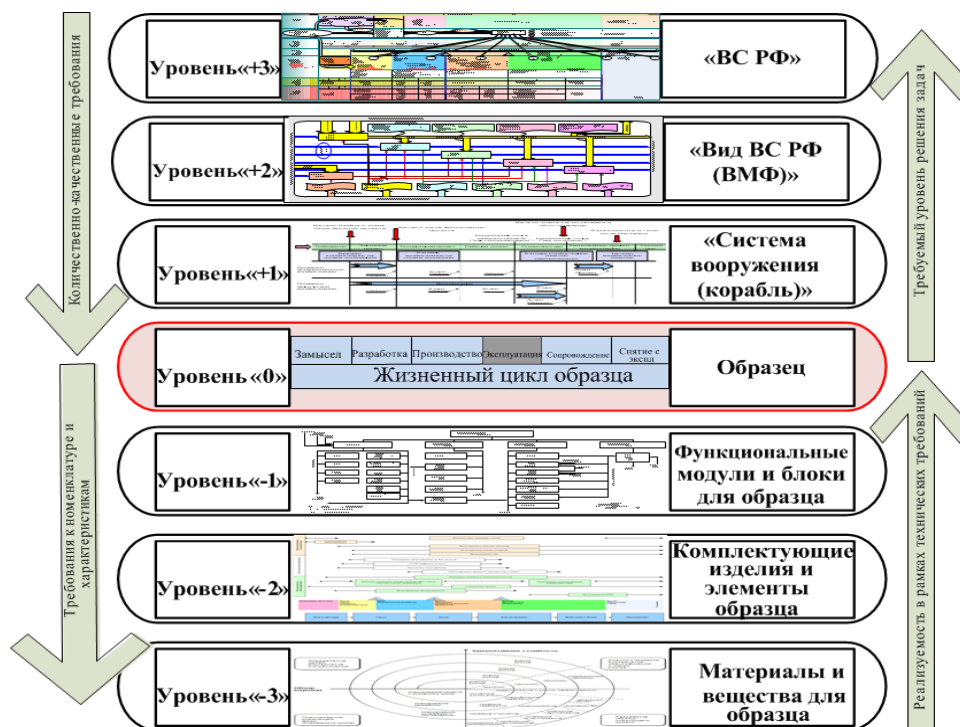
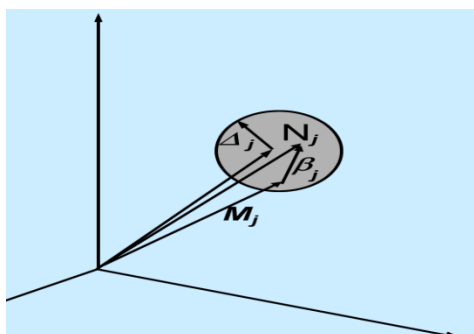


Рис.1 Схема пространственного исследования ЖЦ

Исследование ЖЦ образца по представленной схеме позволило разработать математическую модель управления ЖЦ (рис.2) на основе технологии управления конфигурацией.

Математическая интерпретация управления требованиями состоит в следующем (рис.3).



R_j - вектор требований,
 M_j - вектор характеристик образца,
 N_j - вектор характеристик аналога,
 Δ - допустимая величина отклонения требований (допуск),
 β - величина отклонения от аналога.

Рис. 2 Геометрическая интерпретация управления требованиями в рамках управления конфигурацией

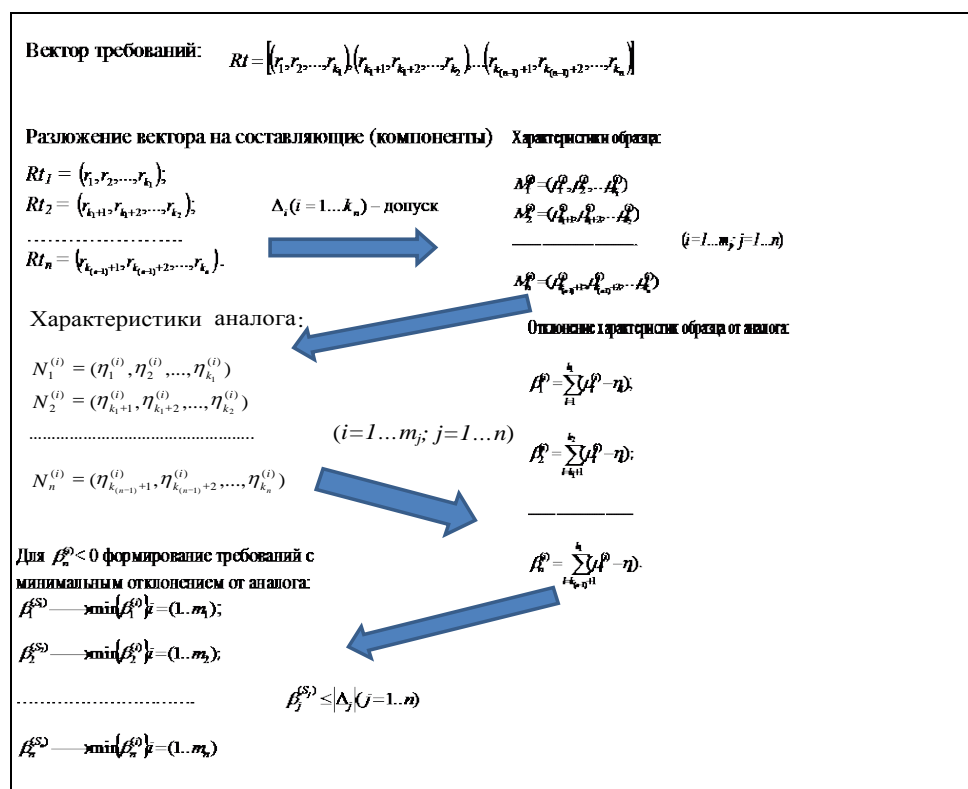


Рис.3 Математическая интерпретация управления требованиями в векторной форме

Решение задачи в такой постановке целесообразно использованием параметрической модели оценки технического уровня (рис. 4), реализующей метод отношений.

Если вектор характеристик образца (M_j) лежит в области допустимых значений по отношению к вектору требований (R_j), то образец требованиям соответствует, если нет – то необходима реализация управляющего воздействия, с целью приведения вектора характеристик в область допустимых значений (Δ), в чем и заключается смысл управления требованиями. При формировании вектора требований учитываются и характеристики аналога N_j и, при необходимости, вектор характеристик противоборствующей системы (образца).

Рассмотрение второго аспекта проблемы произведем в математической постановке задачи обоснования облика СУ ЖЦ в теоретико-множественном виде.

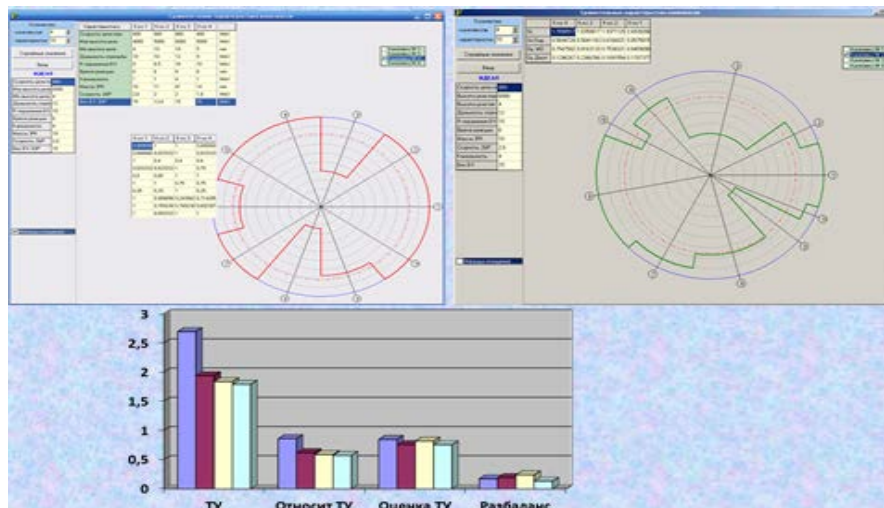


Рис.4 Результаты оценивания характеристик образца с применением метода отношений
(Свидетельство о регистрации № 2019665233)

Дано:

$W = \{ \langle x_i, \xi_{ij} \rangle \mid j \in \overline{1, I_j}, i \in \overline{1, I} \}$ - множество возможных вариантов облика,

$x_i = \begin{cases} 1 - i\text{-я функциональная подсистема включена в структуру облика системы} \\ 0 - i\text{-я функциональная подсистема не включена в структуру облика системы} \end{cases}$

$\xi_{ij} = \begin{cases} 1 - j\text{-й тип элемента включен в состав } i\text{-й функциональной подсистемы} \\ 0 - j\text{-й тип элемента не включен в состав } i\text{-й функциональной подсистемы} \end{cases}$

$R_{ЦХ} = \langle R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$ - требования к образцу (параметры);

$L = F(\tau_{ЖЦ}, \omega_{ЖЦ}, \gamma_{ЖЦ})$ - параметры ЖЦ образца (или его аналогов);

$H_{об} = \{H_1, H_2, \dots, H_k\}$ - множество параметров сопряженных систем;

$G = F(R_{ЦХ}, L, H_{об})$ - параметры системы управления ЖЦ.

Ограничения:

$C \leq C_{зАд}$ - ограничения по стоимости;

$V \leq V_{зАд}$ - ограничения по целесообразным параметрам системы (структурные ограничения);

$M \geq M_{тРЕБ}$ - ограничение по качеству (эффективности) функционирования системы;

$T \leq T_{зАд}$ - ограничение по временным параметрам системы ($t_p, K_T, K_{ог}, \dots$).

Найти:

такой рациональный вариант системы, при котором будут достигаться требуемые значения ее эффективности, при минимальных затратах на ее функционирование:

$$W^* = \arg \min_{G(W) \in G^{тРЕБ}} C(W), \text{ где}$$

C – стоимость функционирования системы;

W – вариант облика системы;

$G(W)$ – функциональные параметры системы, определяющие ее эффективность (включая параметры образца);

$G^{тРЕБ}$ – требуемый уровень параметров системы, позволяющий реализовать функциональность образца в рамках ЖЦ.

Решение задачи в такой постановке позволит создать современную СУ ЖЦ. Для этого необходимо обосновать вариант облика, в котором элементы системы должны соответствовать решаемым задачам. Далее, полученный облик можно оптимизировать, а оптимальный облик си-

стемы автоматизировать. Только такая последовательность позволит создать СУ ЖЦ с требуемыми характеристиками. К сожалению, на сегодняшний день облик СУ ЖЦ ВВТ не определен.

Таким образом, решение проблемы управления ЖЦ ВВТ ВМФ видится в реализации двух составляющих: создании методологии управления ЖЦ с использованием рассмотренных технологии и метода управления, а так же обоснование облика СУ ЖЦ на основе математической постановки, рассмотренной выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53195.2-2008: Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем.
 2. ГОСТ Р ИСО 10007-2007 Менеджмент организации. Руководящие указания по управлению конфигурацией.
-

A.V. Dyshkantuk (Limited Liability Company «Scientific and Technical Center «Technologies of Security»). **The problem of managing the life cycle of military equipment of the navy and ways to solve it**

Abstract. At the heart of the problem of managing the life cycle of weapons of military equipment lies a discrepancy, which consists in the absence of a systematic description of all aspects of the life cycle, as well as a methodology for managing it as a theoretical basis for such a description, which is currently being fully implemented as a sample of weapons of military equipment within the framework of the life cycle that is, a theoretical substantiation of the methods and models of life cycle management is necessary, as well as the appearance of the life cycle management system itself.

Э. С. ГОРКУНОВ, А. М. ПОВОЛОЦКАЯ, С. М. ЗАДВОРКИН, Е. А. ПУТИЛОВА, А. Н. МУШНИКОВ
(ИМАШ УрО РАН, Екатеринбург)

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ СТАЛИ 08Г2Б ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦИКЛИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Приведены результаты изучения влияния циклического нагружения по схеме отнулевого растяжения с амплитудой, примерно соответствующей условному пределу текучести, и последующего статического упругого растяжения вдоль того же направления на поведение магнитострикции и дифференциальной магнитной проницаемости горячекатаной стали 08Г2Б. Характер изменения исследованных магнитных характеристик при статическом растяжении свидетельствует об усилении напряжений сжатия, обусловленных предварительным циклическим нагружением, в направлении действия циклической нагрузки.

Введение. Зависимости магнитных свойств ферромагнетиков от параметров их напряженного состояния дают возможность создания методик магнитного контроля напряженно-деформированного состояния изделий из таких материалов. С другой стороны, в ряде случаев необходимо минимизировать влияние напряжений на намагниченность объекта. Несмотря на попытки создания моделей, описывающих поведение магнитных свойств от деформаций, проблема еще не решена, что обусловлено особенностями поведения магнитострикции железа и его сплавов под действием магнитных полей различной напряженности и механических напряжений.

Усталость материала является одной из основных причин разрушения элементов конструкций, поэтому изучение возможностей магнитной структуроскопии применительно к оценке уровня усталостной деградации конструкционных сталей является весьма важной задачей. Кроме того, при диагностике напряженно-деформированного состояния изделий из ферромагнитных конструкционных материалов в процессе эксплуатации необходимо принимать во внимание предысторию материала, поскольку текущее состояние металлоконструкций, как правило, существенно отличается от заложенного в проектной документации и при выпуске с завода-производителя. С учетом того, что в течение своего жизненного цикла изделия подвергаются чаще всего циклическим нагрузкам, представляет интерес также изучение поведения магнитных характеристик в условиях статического деформирования, осуществляемого после предварительного циклического нагружения.

Предлагаемый доклад посвящен исследованию влияния отнулевого циклического растяжения и последующего статического упругого одноосного растяжения горячекатаной стали 08Г2Б на закономерности изменения ее магнитных характеристик, таких как дифференциальная магнитная проницаемость и магнитострикция.

Результаты и их обсуждение. Плоские образцы (сечение и длина рабочей части $6 \times 34,6$ мм и 100 мм) подвергались циклическим испытаниям по схеме отнулевого растяжения с амплитудой 300 МПа, что немного выше значения условного предела текучести, с частотой 3 Гц. Количество циклов n варьировали, в результате были получены образцы после 0, 30, 50, 100 и 300 тысяч циклов. Затем циклически деформированные образцы подвергали упругому одноосному растяжению с одновременным измерением их магнитных характеристик.

На рис. 1 приведены полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{диф}}(H)$ для образцов, испытанных на отнулевое циклическое растяжение с различным количеством циклов n . Для образца в недеформированном состоянии на полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости наблюдается один пик, в то время как на циклически нагруженных образцах можно наблюдать наличие двух максимумов (в отрицательных и положительных полях). С увеличением количества циклов высота пика в отрицательных полях на полевой зависимости уменьшается, а его локализация смещается в сторону более сильных полей. В то же время на кривых $\mu_{\text{диф}}(H)$ для циклически нагруженных образцов с ростом количества циклов пик, расположенный в положительных полях, становится более выраженным, а его расположение также смещается в сторону более сильных полей.

Формирование двух пиков на зависимостях $\mu_{\text{диф}}(H)$ у циклически деформированных образцов связано с особенностями перераспределения обратимых и необратимых процессов пере-

магничивания и разделением вкладов в процессы перемагничивания 90- и 180-градусных доменных границ.

По наличию, положению и высоте пика в области положительных полей на зависимости дифференциальной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля можно судить о величине деформации, накопленной в изделии при циклическом нагружении.

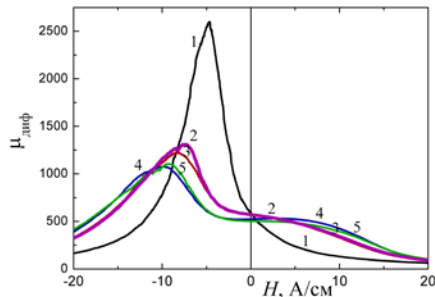


Рис. 1. Полевые зависимости дифференциальной магнитной образцов, циклически деформированных на различное количество циклов n .
Кривая 1 – $n = 0$; 2 – 30; 3 – 50; 4 – 100; 5 – 300 тыс. циклов.

На рис. 2а приведены полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{диф}}(H)$ для образца, подвергнутого предварительно на отнулевое циклическое растяжение на 100 тыс. циклов, при различных значениях статических растягивающих напряжений. С увеличением растягивающих напряжений высота пика $\mu_{\text{диф макс}}$ в отрицательных полях на полевой зависимости для образца, предварительно циклически деформированного на 100 тыс. циклов, увеличивается, в то же время пик на кривых $\mu_{\text{диф}}(H)$, расположенный в положительных полях, с ростом приложенных напряжений становится менее выраженным и при значениях 80-100 МПа пик совсем пропадает.

На рис. 2 (б) представлены зависимости величины максимума дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{диф макс}}$ от приложенных напряжений для образцов, предварительно циклически нагруженных на различное количество циклов. Как видно из рисунка, в диапазоне растягивающих напряжений от 0 до 100 МПа $\mu_{\text{диф макс}}$ изменяется монотонно.

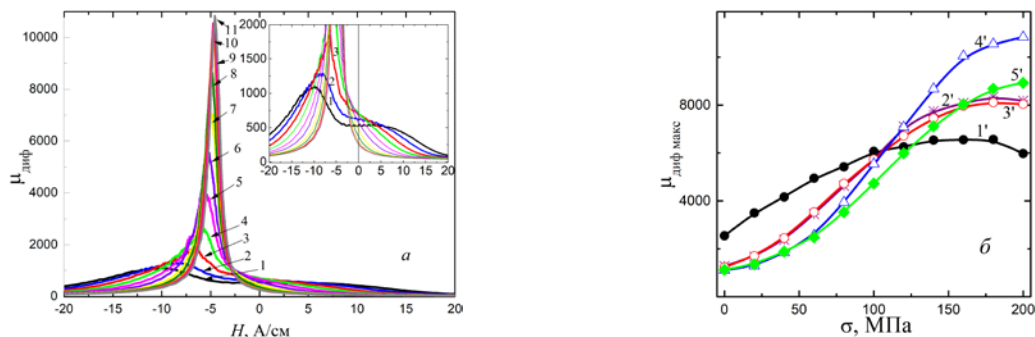


Рис. 2. (а) – зависимости $\mu_{\text{диф}}(H)$ для образца, предварительно циклически деформированного на 100 тыс. циклов, при различных величинах приложенных растягивающих напряжений σ : кривая 1 – $\sigma = 0$; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80; 6 – 100; 7 – 120; 8 – 140; 9 – 160; 10 – 180; 11 – 200 МПа; (б) – зависимости $\mu_{\text{диф макс}}(\sigma)$ для образцов, предварительно циклически деформированных на различное количество циклов. Кривая 1' (●) – $n = 0$; 2' (*) – 30 тыс.; 3' (○) – 50 тыс.; 4' (Δ) – 100 тыс.; 5' (◆) – 300 тыс. циклов.

На рис. 3 (а, б и в) приведены полевые зависимости продольной магнитострикции λ при растягивающей нагрузке различной величины для образцов из стали 08Г2Б, испытанных на отнулевое циклическое растяжение с количеством циклов 0, 30 тыс. и 100 тыс. циклов соответственно. Чем выше уровень приложенных сжимающих напряжений в стали, тем больше площадь положительного участка полевой зависимости магнитострикции и величина ее максимума. Сравнивая кривые 1 на рис. 5 (а, б и в), соответствующие состоянию образцов до деформирования статическим растяжением, можно видеть увеличение положительного участка с ростом количества циклов предварительного циклического нагружения. Это подтверждает вывод о возрастании уровня остаточных напряжений сжатия, наведенных предварительным циклическим нагружением, с увеличением количества циклов.

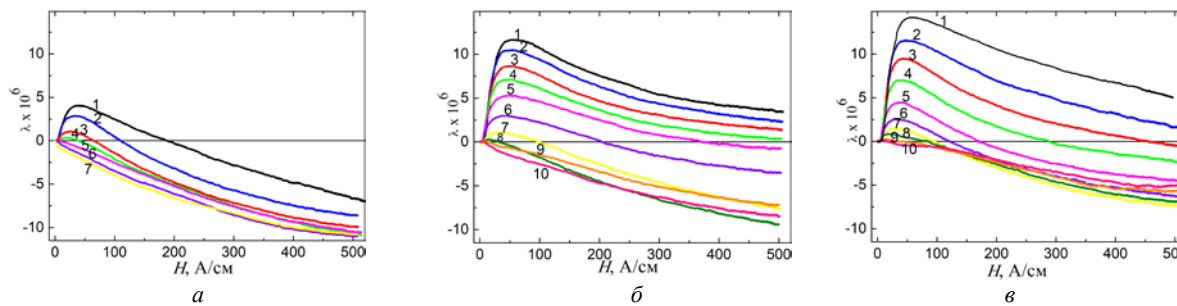


Рис. 3. Зависимости $\lambda(H)$ при различных значениях растягивающих напряжений для образцов, предварительно циклически нагруженных на различное количество циклов. а – 0; б – 30 тыс.; в – 100 тыс. циклов. Кривая 1 – $\sigma = 0$; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80; 6 – 100; 7 – 120; 8 – 140; 9 – 160; 10 – 180 МПа.

С ростом приложенных напряжений величина максимума магнитострикции уменьшается, а при определенной величине напряжений магнитострикция, начиная с нулевого значения магнитного поля, принимает только отрицательные значения. Для образца, не подвергнутого циклическому нагружению, это происходит уже при нагрузке 100 МПа, для образца, предварительно циклически нагруженного на 30 тыс. циклов – в диапазоне растягивающих напряжений от 160 до 180 МПа, для 100 тыс. циклов – выше 180 МПа.

Изменение характера полевой зависимости продольной магнитострикции под действием упругого одноосного нагружения определяет особенности поведения магнитных характеристик под действием тех же нагрузок. В результате изменения типа магнитной текстуры в диапазоне растягивающих напряжений, где произошла смена знака магнитострикции, на зависимостях $\mu_{\text{диф макс}}(\sigma)$ формируются максимумы.

Заключение. На примере стали 08Г2Б показано, что предыстория в виде предварительного циклического нагружения по схеме отнулевого растяжения с амплитудой, соответствующей условному пределу текучести, сказывается на последующих закономерностях изменения магнитных параметров материала при его упругом деформировании. Данное обстоятельство следует учитывать при разработке магнитных методик оценки параметров напряженно-деформированного состояния элементов стальных конструкций. Поведение дифференциальной магнитной проницаемости и магнитострикции при статическом растяжении свидетельствует об усилении напряжений сжатия, обусловленных предварительным циклическим нагружением, в направлении действия циклической нагрузки.

Исследования магнитострикции образцов из стали 08Г2Б, подвергнутых предварительному циклическому растяжению, показали, что последующее деформирование статическим растяжением на определенном этапе приводит к исчезновению положительного участка на полевых зависимостях магнитострикции, при всех значениях магнитного поля магнитострикция принимает отрицательные значения. Диапазоны растягивающих напряжений, в которых происходит смена знака магнитострикции, а, значит, и типа магнитной текстуры, примерно соответствуют диапазонам напряжений, в которых формируются экстремумы на зависимостях максимумов дифференциальной магнитной проницаемости от растягивающей нагрузки.

Установлено, что величина максимума дифференциальной магнитной проницаемости образцов из стали 08Г2Б, подвергнутых циклическому нагружению на разное количество циклов, при последующем статическом растяжении изменяется однозначно в диапазоне напряжений от 0 МПа до 100 МПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-48-660035_p_a.

E. S. Gorkunov, A. M. Povolotskaya, S. M. Zadvorkin, E. A. Putilova, A. N. Mushnikov (IMASH UB RAS, Yekaterinburg). **Change of magnetostriction and differential magnetic permeability of hot-rolled steel 08G2B under the action of cyclic and static deformations**

Abstract. The results of studying the effect of cyclic loading according to the scheme of zero tension with an amplitude approximately corresponding to the conventional yield stress and subsequent static elastic tension along the same direction on the behavior of magnetostriction and differential magnetic permeability of hot-rolled 08G2B steel are presented. The nature of the change in the investigated magnetic characteristics under static tension indicates an increase in compression stresses due to preliminary cyclic loading in the direction of the cyclic load.

Е. М. БЕЗНОСЕНКО П. Н. ВОЛГИН,
(ВУНЦ «ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова»)

ПОДСИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СОСТАВЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ОБСТАНОВКИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Рассматривается необходимость создания интегрированной системы мониторинга морской обстановки Арктического региона. Определяются целесообразные варианты построения ее подсистемы сбора и обработки информации, физическую основу которой могут составлять программно-аппаратные комплексы, использующие современные информационные технологии и выполняющие роль главных системообразующих элементов интегрированной системы мониторинга в целом.

Введение. Информационные системы мониторинга морской обстановки различных министерств и ведомств, как правило, включают в свой состав следующие основные подсистемы [1]: подсистему добывания информации, информационно-телекоммуникационную подсистему, подсистему сбора и обработки информации, подсистему управления и подсистему обеспечения. Важную, системообразующую и интегрирующую роль в реализации требований к информационному обеспечению органов управления различных министерств и ведомств в Арктическом регионе играет подсистема сбора и обработки информации интегрированной системы мониторинга морской обстановки.

Интегрированная система мониторинга морской обстановки, общие понятия. Системы мониторинга морской обстановки относятся к сложным пространственно-распределенным динамическим системам. Реализуемые в них процессы, носят сложный, динамичный, как правило, случайный и масштабный характер. Важнейшими особенностями, характерными для условий принятия решения, и, прежде всего, в сфере мониторинга морской обстановки, являются: острый дефицит времени, необходимость обработки значительных объемов разнородной информации, тесное взаимодействие с другими информационными системами, наличие активной конкурирующей стороны [2]. С учетом условий Арктического региона целесообразно идти по пути создания и развития единой интегрированной системы мониторинга морской обстановки, функционирующей в интересах различных министерств и ведомств: Пограничной службы ФСБ России, Министерства обороны РФ, Министерства транспорта РФ, Администрации Северного морского пути, МЧС РФ и других, включая различных хозяйствующих субъектов РФ.

Под интегрированной системой мониторинга морской обстановки Арктического региона будем понимать совокупность организационно, технически и информационно взаимосвязанных органов, систем и средств, функционирование которых согласовано по целям, времени и в пространстве и направлено на реализацию процесса обеспечения информацией о морской обстановке в Арктике заинтересованных структур различных министерств, ведомств и хозяйствующих субъектов [1].

Подсистема сбора и обработки информации. Подсистема сбора и обработки информации состоит из совокупности центров информации, функционирующих в интересах полноценного информационного обеспечения данными о морской обстановке органов управления различных министерств и ведомств, осуществляющих свою деятельность в Арктическом регионе. В процессе своего функционирования подсистема сбора и обработки информации, все её центры информации должны решать необходимый объем информационно-управленческих задач. Информационно-технической основой центров информации, обеспечивающей требуемую их функциональность, являются соответствующие системы, автоматизирующие процесс (реализующие в автоматическом режиме) решение свойственных им задач. Примером подобных систем, например, является программно-аппаратные комплексы «Онтомап», автоматизирующие процесс информационного обеспечения военно-морской деятельности [3].

Базисной основой автоматизации деятельности операторов центров информации любых систем мониторинга морской обстановки стали технологии геоинформационных систем (ГИС), в

которые интегрируются другие, более специфические информационно-расчетные, аналитические программные средства поддержки принятия решений. Одной из важнейших возможностей, предоставляемых геоинформационными технологиями при их использовании в системе мониторинга обстановки, являются пространственная и временная интеграция используемых данных, а также необходимый уровень визуализации контролируемого процесса. Источники картографических данных ГИС отличаются широким разнообразием (рисунок 1).

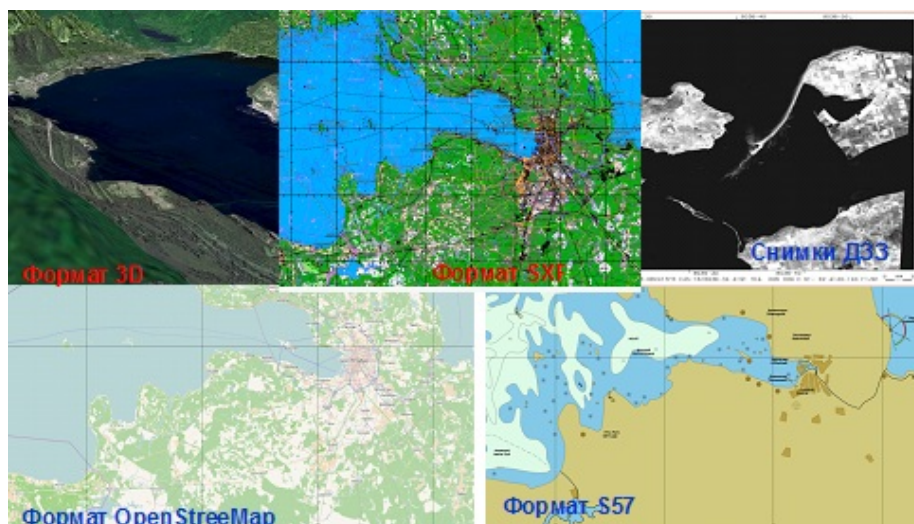


Рис. 1. Источники картографических данных

Совокупность информационно-расчетных, аналитических программных средств поддержки принятия решений в составе программного обеспечения программно-аппаратные комплексы центров информации, обеспечивающих автоматизацию информационно-управленческой деятельности в структуре системы мониторинга морской обстановки, должна быть ориентирована на реализацию следующих функциональных возможностей:

- Сбор, обработка, хранение и документирование информации о морской обстановке, поступающей от средств обнаружения подсистемы добывания информации и взаимодействующих систем (рисунок 2).

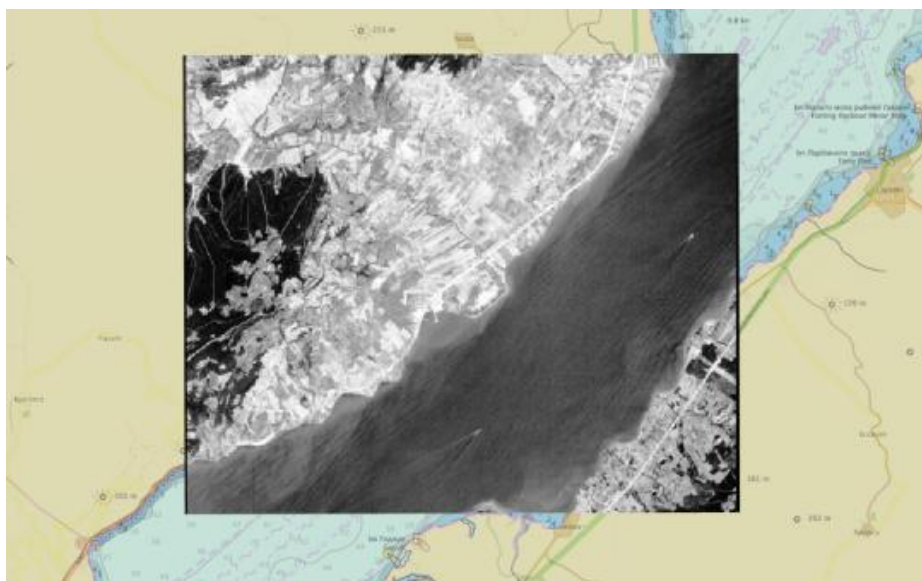


Рис. 2. Отображение спутникового снимка на картографической основе

- Сбор, обработка, хранение и документирование информации о гидрометеорологической обстановке, поступающей от средств обнаружения подсистемы добывания информации и взаимодействующих систем.

- Сбор, хранение, отображение и документирование информации по состоянию и технической готовности радиоэлектронных средств кораблей и судов РФ, находящихся в зоне ответственности центра информации.
- Сбор, хранение и отображение информации о текущем состоянии технических средств подсистемы добывания информации и информационно-телекоммуникационной подсистемы, функционирующих в Арктическом регионе.
- Отображение на экранах средств отображения информации индивидуального пользования (СОИ ИП) и средств отображения информации коллективного пользования (СОИ КП) динамической карты морской обстановки (при необходимости и воздушной) в соответствии с заданными временными характеристиками (рисунок 3).

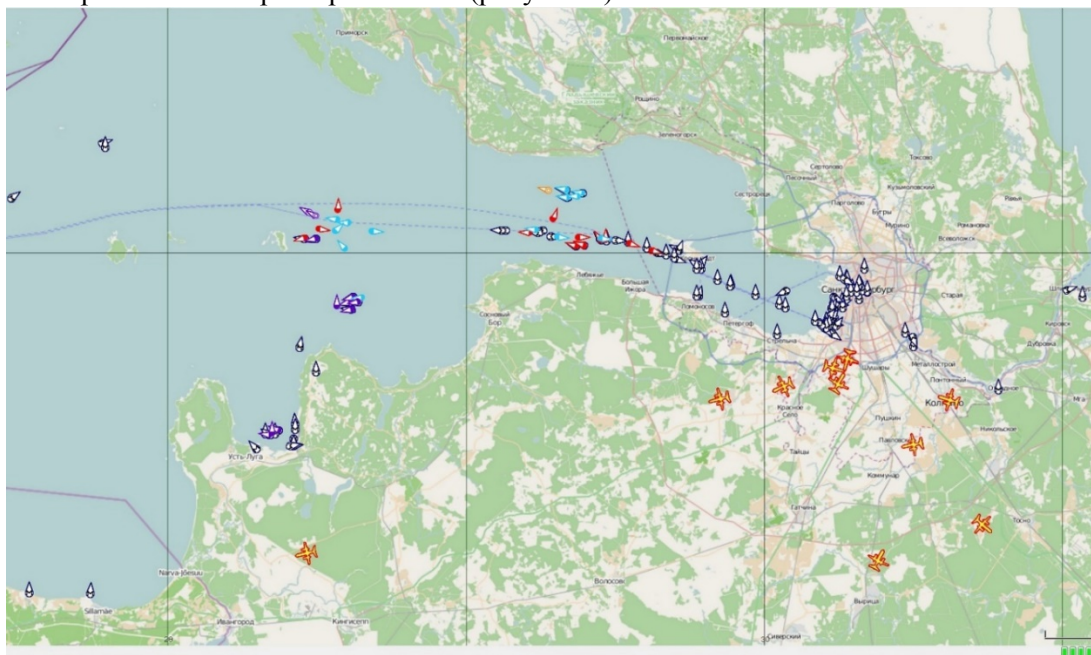


Рис. 3. Контроль морской и воздушной обстановки на основе интеграция информации от различных источников

- Обеспечение навигационного ориентирования кораблей и судов, выработка необходимых данных для наведения маневренных сил на обнаруженные морские объекты с учетом навигационной обстановки в районе ответственности центра информации.
- Оповещение в нормативные сроки и передача необходимой информации соответствующим органам управления при возникновении нештатных ситуаций.
- Автоматизированный обмен информацией между различными уровнями управления внутри интегрированной системы мониторинга морской обстановки и взаимодействующими системами.

Расширение состава и содержания решаемых интегрированной системой мониторинга морской обстановки, на основе ГИС, задач позволяют ей реализовать возможность интеллектуальной поддержки деятельности операторов по анализу и контролю за совокупностью пространственных и временных данных, характеризующих текущую и прогнозируемую обстановку в контролируемом районе (зоне ответственности), что особенно важно для условий Арктического региона.

Заключение. Условия функционирования подсистемы сбора и обработки информации интегрированной системы мониторинга морской обстановки Арктического региона в современных условиях требуют, а уровень развития математических методов моделирования и информационных технологий делают возможным, применение этих методов в интересах управления системой мониторинга обстановки в обычных условиях, при возникновении чрезвычайных ситуаций и различных угроз, для выполнения функций информационного обеспечения всех заинтересованных органов управления министерств, ведомств и хозяйствующих субъектов в Арктическом регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безносенко Е.М., Волгин П.Н., Коновалов В.Е., Михальчук А.В. Информационно-телекоммуникационная подсистема в составе интегрированной системы мониторинга морской обстановки Арктического региона. // СПб.: Морская радиоэлектроника № 1 (71) март 2020 г., с 8–11.
2. Попович В.В., Волгин П.Н., Гучек В.И., Ермолаев В.И. Системы мониторинга на основе ИГИС. // СПб, журнал Оборонный заказ, № 2 (21) 2012, с.58-61.
3. Интернет ресурс goe.ru, сайт Рособоронэкспорта

E. M. Beznosenko P. N. Volgin (VUNC "Navy" VMA them. N. G. Kuznetsova). Subsystem of collection and processing of information as a part of the integrated system for monitoring the marine situation in the arctic region

Abstract. The need to create an integrated monitoring system for the marine environment in the Arctic region is considered. Reasonable options for constructing its subsystem for collecting and processing information are determined, the physical basis of which can be software and hardware complexes that use modern information technologies and play the role of the main backbone elements of an integrated monitoring system as a whole.

А. О. ВЕДЯКОВА
(Санкт-Петербургский Государственный Университет)

А. А. ВЕДЯКОВ
(Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

ЗАДАЧА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКОГО СУДНА ПОД ВЛИЯНИЕМ МУЛЬТИГАРМОНИЧЕСКОГО ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩЕНИЯ

В работе рассмотрена задача динамического позиционирования под действием внешних мультигармонических возмущений для нелинейной модели надводного судна. Предложен многоцелевой закон управления, позволяющий настраивать нелинейный наблюдатель, блок управления с обратной связью, динамический корректор и устройство оценивания частот внешнего возмущения независимо друг от друга.

Экономичный режим управления судном достигается настройкой динамического фильтра на основную частоту внешнего возмущения. Для построения оценок частот мультигармонического внешнего возмущения используется подход, позволяющий получить оценки параметров за конечное время даже при невыполнении условия незатухающего возбуждения.

Введение. Одной из наиболее значимых задач теории управления является разработка систем динамического позиционирования (ДП). Системы ДП широко используются в различных практических приложениях: гидрография, морское строительство, исследование затонувших судов, прокладка подводных кабелей и т. д. [1–4]. Наиболее актуальными, по мнению авторов, работами, связанными с вопросами проектирования систем ДП, являются [1–3, 5]. В работах [1, 3, 5] описана структура закона управления ДП на основе нелинейного асимптотического наблюдателя, позволяющего независимую настройку составляющих компонент регулятора. В работе [1] этот подход расширен с использованием теории многоцелевого управления [6–7], за счет чего получен экономичный режим рулевого управления судном.

Целью работы является синтез многоцелевого закона управления, решающего задачу ДП с учетом влияния мультигармонического внешнего возмущения и обеспечивающего экономичный режим работы исполнительных механизмов. Для экономичного режима управления судном динамический фильтр, входящий в состав регулятора, настраивается на основную частоту внешнего возмущения. В отличие от [1], где предполагается, что значение основной частоты внешнего возмущения известно, в данной работе оно оценивается за конечное время с применением метода Динамического Расширения и Смешивания Регрессора (ДРСР) [8, 9]. В данной работе внешнее возмущение, действующее на судно, представляется в виде мультигармонического сигнала с неизвестными параметрами. Оценки частот внешнего возмущения, получаются за конечное время с использованием модифицированного подхода, предложенного в [10].

Постановка задачи. Рассмотрим математическую модель движения судна в горизонтальной плоскости с тремя степенями свободы [3]:

$$\begin{aligned} M\dot{v}(t) &= -Dv(t) + \tau(t) + d(t), \\ \dot{\eta}(t) &= R(\eta)v(t), \\ y(t) &= \eta(t) + \eta_{\omega}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $v = [u, v, r]^T$ — векторная функция обобщенных скоростей, относительно связанной с судном системой координат; $\eta = [x, y, \psi]^T$ — векторная функция обобщенных состояний относительно базовой земной системы координат; компоненты (x, y) описывают положение судна; ψ — угол поворота; u, v — линейные скорости; r — угловая скорость по курсу; $\tau \in \mathbb{R}^3$ — управляющее воздействие; $y \in \mathbb{R}^3$ — вектор измеряемых величин; $d, \eta_{\omega} \in \mathbb{R}^3$ — внешние возмущения; $M_{3 \times 3}, D_{3 \times 3}$ — положительно определенные матрицы с постоянными элементами, причем $M = M^T$, $R(\eta)$ — ортогональная матрица поворота.

Требуется синтезировать закон управления $\tau(t)$, обеспечивающий замкнутой системе единственное положение равновесия, соответствующее $v(t) \equiv 0$, $\eta(t) \equiv \eta^*$ при отсутствии внешних возмущений $d(t) \equiv 0$, $\eta_{\omega}(t) \equiv 0$, где $\eta^* = [x^*, y^*, \psi^*]^T \in \mathbb{R}^3$ — постоянный вектор,

определяющий желаемое позиционирование судна; глобальную асимптотическую устойчивость положения равновесия; фильтрующее действие относительно возмущающих воздействий d и η_ω .

Структура динамического регулятора. Построим нелинейный динамический закон управления в виде [1]:

$$\begin{aligned} M\dot{\hat{v}}(t) &= -D\hat{v}(t) + \tau(t) + R^T(y)K_1(y(t) - \hat{\eta}(t)), \\ \dot{\hat{\eta}}(t) &= R(y)\hat{v}(t) + K_2(y(t) - \hat{\eta}(t)), \\ \tau_{dp}(t) &= -K_d\hat{v}(t) - R^T(y)K_p(\hat{\eta}(t) - \eta^*), \\ \dot{p}(t) &= \alpha p(t) + \beta \hat{\eta}(t), \\ \tau_f(t) &= \gamma p(t) + \mu \hat{\eta}(t), \\ \tau(t) &= \tau_{dp}(t) + \tau_f(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\hat{v}, \hat{\eta} \in \mathbb{R}^3$ — оценки векторов состояния v и η модели (1); $p \in \mathbb{R}^l$ — вектор состояния динамического регулятора; τ_{dp} — часть закона управления, обеспечивающая глобальную асимптотическую устойчивость желаемого положения равновесия замкнутой системы; τ_f — динамический регулятор, подавляющий внешние возмущения; $K_1, K_2, K_p, K_d, \alpha, \beta, \gamma, \mu$ — постоянные матрицы соответствующих размерностей, $\alpha_{l \times l}$ — матрица Гурвица.

При выборе матриц K_1, K_2, K_p и K_d в соответствии с работами [3, 5], гарантируются условия глобальной асимптотической устойчивости ошибок оценивания $\tilde{v}(t) := v(t) - \hat{v}(t)$ и $\tilde{\eta}(t) := \eta(t) - \hat{\eta}(t)$ и положения равновесия $v(t) \equiv 0, \eta(t) \equiv \eta^*$ замкнутой системы (1), (2) при $\tau(t) = \tau_{dp}(t)$ и отсутствии внешних возмущений d и η_ω . Рассмотрим вопрос построения динамического регулятора $\tau_f(t)$, обеспечивающего желаемую динамику замкнутой системы под действием внешних возмущений.

Построим динамический регулятор $\tau_f(t)$ с передаточной матрицей $F(s)$, удовлетворяющий условиям:

$$\begin{aligned} F(0) &= -(D + K_d)R^T(\psi^*)K_2 - R^T(\psi^*)(K_p + K_1), \\ F(j\omega_0) &= -P_2^{-1}(j\omega_0)P_1(j\omega_0), \\ P(s) &= C(\eta)(\mathbb{E}_{6 \times 6}s - A(\eta))^{-1}B(\eta) + D = [P_1(s) \quad P_2(s)], \\ A(\eta) &= \begin{bmatrix} -M^{-1}(D + K_d) & -M^{-1}R^T(\eta)K_p \\ R(\eta) & \mathbb{O}_{3 \times 3} \end{bmatrix}, \quad B(\eta) = \begin{bmatrix} -M^{-1}R^T(\eta)K_1 & M^{-1} \\ K_2 & \mathbb{O}_{3 \times 3} \end{bmatrix}, \\ C(\eta) &= [-K_d \quad -R^T(\eta)K_p], \quad D = [\mathbb{O}_{3 \times 3} \quad \mathbb{E}_{3 \times 3}], \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_1(s)_{3 \times 3}$ и $P_2(s)_{3 \times 3}$ — блоки матрицы $P(s)_{3 \times 6} := [P_1(s) \quad P_2(s)]$ и выполнено условие $\det P_2(j\omega_0) \neq 0$; $\mathbb{O}_{3 \times 3}, \mathbb{E}_{6 \times 6}$ — нулевая и единичная матрицы соответствующих размерностей.

Построенный динамический регулятор $\tau_f(t)$ с передаточной матрицей $F(s)$ из соотношения (3) обеспечивает фильтрующее действие для постоянного или медленно меняющегося возмущения $d(t)$ и для центральной частоты ω_0 морского волнения $\eta_\omega(t)$.

Оценивание частот гармонического возмущающего воздействия. В качестве внешнего возмущения, действующего на судно, рассматривается мультигармонический сигнал вида:

$$\eta_\omega(t) = \sum_{i=1}^n A_{\omega i} \sin \omega_i t, \quad (4)$$

где $\omega_i \in \mathbb{R}_+$ — частоты сигнала, $A_{\omega i} \in \mathbb{R}_+$ — стационарные амплитуды, $i = \overline{1, n}$, n — число гармоник сигнала $\eta_\omega(t)$. Параметры $\omega_i, A_{\omega i}$ считаются неизвестными.

Требуется построить оценки $\hat{\omega}_i(t)$ частот ω_i , обеспечивающие сходимость ошибки оценивания $\tilde{\omega}_i(t) = \omega_i - \hat{\omega}_i(t)$ к нулю за определенное конечное время $t_{ft} > 0$, т. е. $\tilde{\omega}_i(t) \equiv 0$ при $t \geq t_{ft}$. Далее будем предполагать, что известна верхняя граница $0 < \omega_i < \bar{\omega}$ для частот сигнала (4) при $i = \overline{1, n}$.

В качестве основной частоты, участвующей в настройке динамического регулятора (3), положим максимальную из полученных оценок $\hat{\omega}_i(t)$, т. е. $\hat{\omega}_0(t) = \max_i \hat{\omega}_i(t), \quad \forall t > t_{ft}$.

Для выделения внешнего возмущающего воздействия, действующего на судно, рассмотрим разность между измеряемым сигналом $y(t) = \eta(t) + \eta_\omega(t)$ модели (1) и вектором состояния $\hat{\eta}(t)$ нелинейного наблюдателя:

$$\tilde{y}(t) := y(t) - \hat{\eta}(t) = \tilde{\eta}(t) + \eta_\omega(t) = \sum_{i=1}^n A_{\omega_i} \sin \omega_i t + \varepsilon(t), \quad (5)$$

где $\varepsilon(t)$ — экспоненциально затухающая функция, связанная с переходными процессами. Начиная с некоторого момента времени, влиянием экспоненциально затухающего слагаемого можно пренебречь и использовать сигнал $\tilde{y}(t)$ для построения оценок $\hat{\omega}_i(t)$.

Замечание. При продолжительном переходном процессе рекомендуется учитывать экспоненциально затухающее слагаемое при построении регрессионной модели.

Построим линейную регрессионную модель порядка n , включающую измеряемые сигналы и вектор неизвестных параметров, зависящий от частот ω_i . Для этого рассмотрим оператор запаздывания $[Z(\cdot)](t)$ с величиной запаздывания $h \in \mathbb{R}_+$, удовлетворяющей условию $h < \frac{\pi}{2\bar{\omega}}$.

Применим оператор запаздывания $[Z(\cdot)](t)$ к измеряемому сигналу (5). Заметим, что сигналы с кратным h запаздыванием, в силу ассоциативного закона, могут быть записаны следующим образом

$$y(t - kh) = Z[Z[\dots[Zy(t)]\dots]] = Z^k y(t), \quad \forall k = \overline{1, 2n}. \quad (6)$$

Утверждение. Соотношение

$$[Z^2 + 1 - 2Zc_1] \cdot \dots \cdot [Z^2 + 1 - 2Zc_n]y(t) = 0 \quad (7)$$

справедливо для любого $n = 1, 2, \dots$ и $t \geq 2nh$, где $c_i = \cos \omega_i h$ при $i = \overline{1, n}$.

На основе выражения (7) получим регрессионную модель:

$$\psi(t) = \varphi^T(t)\theta, \quad (8)$$

где $\psi \in \mathbb{R}^1$ — зависимая функция, $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T \in \mathbb{R}^n$ — регрессор, $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]^T \in \mathbb{R}^n$ — вектор неизвестных параметров.

В результате применения метода ДРСР получим n независимых регрессионных моделей первого порядка, позволяющих синтезировать оценки параметров θ_i независимо друг от друга:

$$\Psi(t) = \Delta(t)\theta, \quad (9)$$

где $\Psi(t) := \text{adj}\{\varepsilon\Phi_f(t)\}\varepsilon\Psi_f(t) = [\Psi_1(t), \Psi_2(t), \dots, \Psi_n(t)]^T$, $\Delta(t) := \det\{\varepsilon\Phi_f(t)\}$, $\varepsilon \in \mathbb{R}_+$ — масштабирующий коэффициент, $\Psi_f = [H^1\{\psi\}, H^2\{\psi\}, \dots, H^n\{\psi\}]^T \in \mathbb{R}^{n \times 1}$, $\Phi_f(t) = [H^1\{\varphi\}^T, H^2\{\varphi\}^T, \dots, H^n\{\varphi\}^T]^T \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $[H(\cdot)](t)$ — оператор запаздывания аналогичный $[Z(\cdot)](t)$ с величиной запаздывания $d \in \mathbb{R}_+$.

Для оценивания параметров регрессионных моделей (9) воспользуемся методом стандартного градиентного спуска:

$$\dot{\hat{\theta}}_i(t) = \gamma_i \Delta(t) (\Psi_i(t) - \Delta(t) \hat{\theta}_i(t)), \quad i = \overline{1, n}, \quad (10)$$

где $\hat{\theta}_i \in \mathbb{R}$ — оценка параметра θ_i , $\gamma_i \in \mathbb{R}_+$ — настраиваемые параметры $i = \overline{1, n}$.

Тогда справедливы следующие соотношения

$$\begin{aligned} \theta_i - \hat{\theta}_i(t) &= \theta_i W(t) - \hat{\theta}_i(t) W(t), \quad i = \overline{1, n}. \\ \hat{\theta}_i^{ft}(t) &:= \frac{1}{1-W(t)} (\hat{\theta}_i(t) - \hat{\theta}_i(0) W(t)), \quad t \geq t_{ft}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\hat{\theta}_i^{ft}$ — оценка параметра θ_i за конечное время, $W(t) := e^{-\gamma_i \int_0^t \Delta^2(r) dr}$.

На основе $\hat{\theta}_i^{ft}(t)$ находятся оценки частот $\hat{\omega}_i^{ft}(t)$. Окончательно значение основной частоты, участвующей в настройке динамического регулятора τ_f , примет значение $\hat{\omega}_0(t) = \max_{i=\overline{1, n}} \hat{\omega}_i(t)$.

Заключение. Синтезирован многоцелевой закон управления для нелинейной модели судна, решающий задачу динамического позиционирования и обеспечивающий экономичный режим работы исполнительных механизмов под действием внешних гармонических возмущений. Предлагается специализированная структура нелинейного закона управления, позволяющая настраивать нелинейный наблюдатель, блок управления с обратной связью, динамический корректор и устройство оценивания частот внешнего возмущения независимо друг от друга. Использован метод построения оценки основной частоты, участвующей в настройке регулятора, за конечное время. Предложенный подход ориентирован на реализацию закона управления на борту судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Veremey E. I. Separate filtering correction of observer-based marine positioning control laws // *International journal of control*. 2017. Vol. 90, no. 8. P. 1561–1575.
2. Sørensen A. J. Marine control systems propulsion and motion control of ships and ocean structures lecture notes. — 2012.
3. Fossen T. I., Strand J. P. Passive nonlinear observer design for ships using lyapunov methods: full-scale experiments with a supply vessel // *Automatica*. 1999. Vol. 35, no. 1. P. 3–16.
4. Dynamic positioning with active roll reduction using voith schneider propeller / Philipp Koschorrek, Charlotte Siebert, Adel Haghani, Torsten Jeinsch // *IFAC- PapersOnLine*. 2015. Vol. 48, no. 16. P. 178–183.
5. Loria A., Fossen T. I., Panteley E. A separation principle for dynamic positioning of ships: Theoretical and experimental results // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2000. Vol. 8, no. 2. P. 332–343.
6. Veremey E. I. Optimization of filtering correctors for autopilot control laws with special structures // *Optimal Control Applications and Methods*. 2016. Vol. 37, no. 2. P. 323–339.
7. Veremey E. I. Special spectral approach to solutions of siso lti h-optimization problems // *International Journal of Automation and Computing*. 2019. Vol. 16, no. 1. P. 112–128.
8. Aranovskiy, S. V., Bobtsov, A. A., Ortega, R., & Pyrkin, A. A. (2016). Improved transients in multiple frequencies estimation via dynamic regressor extension and mixing. *IFAC-PapersOnLine*, 49(13), pp. 99–104.
9. Wang, J., Gritsenko, P. A., Aranovskiy, S. V., Bobtsov, A. A., Pyrkin, A. A. (2017). A method for increasing the rate of parametric convergence in the problem of identification of the sinusoidal signal parameters. *Automation and Remote Control*, 78(3), pp. 389–396.
10. Gromov V. S. et al. First-order frequency estimator for a pure sinusoidal signal // *2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*. IEEE, 2017. pp. 7–11.

A. O. VEDIKOVA (St. Petersburg State University), **A. A. VEDIKOV** (ITMO University, St. Petersburg). **Dynamic positioning of a sea vessel under the influence of a multiharmonic external disturbance**

The problem of dynamic positioning under the influence of external multiharmonic disturbances for nonlinear model of a vessel is considered. The multipurpose control law allows to adjust the nonlinear observer, the feedback control, the dynamic corrector and the estimator of external disturbances frequencies independently from each other is offered.

Economical ship control mode is achieved by tuning the dynamic filter to the main external perturbation frequency. A finite time approach to construct estimates of multiharmonic external disturbance frequencies is used.

М.Б.РОЗЕНГАУЗ
(АО «Концерн «ЦНИИ Электроника», Санкт-Петербург)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ИНСТРУМЕНТОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ

В докладе рассмотрена методика расчета комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), позволяющая одновременно использовать несколько критериев, таких как стоимость, вес, объем, для получения оптимального комплекта ЗИП. Многокритериальная задача сводится к скалярной с помощью метода свертки. Применение методики рассмотрено на конкретном примере.

Введение. При работе любой технической системы, в том числе навигационных комплексов, требуется устранение отказов и неисправностей. Для того, чтобы восстановить исправное состояние изделия необходимо создать комплект ЗИП. В данном докладе рассматривается одиночный комплект ЗИП (ЗИП-О). Проведен анализ существующих методик. В основных из них [1,2,3] математические модели расчета комплекта ЗИП построены на методе наискорейшего покоординатного спуска, который является эффективным решением задачи однопараметрической оптимизации. В [4] представлены методики, которые отличаются добавлением многоуровневой системы ЗИП и позволяющие рассчитать комплект ЗИП, исходя из критерия надежности. Недостатком этих методик является сложность вычислений и отсутствие универсальных моделей. Следует отметить методику американского стандарта [5], которая основана на принципе прогнозирования работ по восстановлению и использует эмпирический подход по известным значениям времени восстановления для конкретных систем (изделий-аналогов). При этом принимается, что время, затрачиваемое на восстановление данной составной части, остается таким же для любого другого компонента системы. Это допущение далеко не всегда справедливо, например, для навигационных систем. Основным недостатком подхода, изложенного в [1] является невозможность применения одновременно несколько ограничений, т.е. только после расчета, используя одно ограничение, можно проверить, удовлетворяет ли комплект остальным требованиям. В связи с этим и возникает задача многокритериальной методики расчета ЗИП.

Предлагаемый доклад посвящен многокритериальной методике расчета комплекта ЗИП. В качестве такой методики предлагается использовать многопараметрическую оптимизацию на основе метода свертки критериев [6]. Он позволяет свести многокритериальную задачу к скалярной форме путем введения обобщенного критерия посредством нормализации. Причина выбора этого метода, а не нейронных сетей состоит в том, что задача расчета комплекта ЗИП проводится на определенной номенклатуре составных частей и не может быть обобщена для обучения нейронной сети [7].

Применение предлагаемого подхода рассмотрено на конкретном примере и сделан вывод о том, что предлагаемая методика применима для расчета комплектов ЗИП изделий, которые имеют не менее 2-х ограничений (объему, весу, стоимости и др.).

Традиционная методика. В соответствии с [1] коэффициент готовности ЗИП-О вычисляют по формуле:

$$K_{ГЗИП-О} = \prod_{i=0}^N K_{ГЗiО} \quad (1)$$

где: N – количество типов запасных частей (ЗЧ) в комплекте ЗИП-О; $K_{ГЗiО}$ – коэффициент готовности запаса i -типа в комплекте ЗИП-О.

Целевая функция для расчета комплекта ЗИП-О в этом случае заключается в расчете требуемого коэффициента готовности при минимальных затратах:

Метод покоординатного наискорейшего спуска реализуется в виде алгоритма «пошаговой» оптимизации, при которой на каждом следующем «шаге» расчета добавляется только одна запасная часть и только в тот запас, увеличение которого на этом «шаге» дает наибольший прирост показателя достаточности. Отличительной особенностью метода покоординатного спуска

является то, что на каждом шаге процесса разрешено движение лишь в одной из осей координат, по которой наблюдается наибольшее относительное приращение.

Постановка задачи для многокритериальной методики. Как показал анализ [8], адаптивная многопараметрическая оптимизация на основе метода свертки критериев [6] позволяет использовать сразу несколько критериев. Метод свертки дает возможность привести многокритериальную задачу к скалярной форме путем введения обобщенного критерия посредством нормализации, а затем сводится в одну целевую функцию. Целевая функция $H(L_1 \dots L_n)$ в этом случае может быть записана в следующем виде:

$$H(L_1 \dots L_n) = \begin{cases} \max_{L_1 \dots L_n} R(L_1 \dots L_n) \\ \min_{L_1 \dots L_n} \sum_{i=1}^n C_{icp} L_i \leq C_{cpTpe} \end{cases} \quad (2)$$

$$C_{icp} = \frac{C_{1i}}{C_{1icp}} K + \frac{C_{2i}}{C_{2icp}} (K-1); 0 \leq K \leq 1;$$

$$C_{cpTpe} = \frac{C_{1mpeb}}{C_{1icp}} K + \frac{C_{2mpeb}}{C_{2icp}} (K-1); 0 \leq K \leq 1;$$

где: R – промежуточный расчетный показатель надежности; L_i – уровень запаса i -го типа в ЗИП; C_{1mpeb} (C_{2mpeb}) – показатель затрат, используемый в качестве ограничения; C_{1i} (C_{2i}) – затраты (стоимость, объем, вес и т.п.) на одну запасную часть i -го типа в комплекте ЗИП; C_{1icp} (C_{2icp}) – усредненный показатель затрат для представленной номенклатуры изделия; K – «весовой» коэффициент для затрат.

Нормализация критериев происходит за счет расчета усредненного показателя для каждого из критериев, исходя из данных номенклатуры составных частей изделия. Так, для нормализации критерия стоимости, находим среднее значение стоимости для составных частей всего изделия и затем находим отношение стоимости составной части к средней стоимости, получая тем самым нормализованный критерий стоимости. После нормализации определяется экспертным путем весовой коэффициент. Поскольку рассматриваются два критерия, то весовой коэффициент выставляется в процентном соотношении относительно степени влияния ограничения на конечный результат расчета, к примеру, 65% для первого критерия (стоимости) и 35% для второго критерия (веса). Такая методика, за счет введения дополнительного весового коэффициента, позволяет производить расчет оптимального комплекта ЗИП, учитывая сразу два ограничения (критерия).

ПРИМЕР. В качестве примера рассмотрим расчет комплекта ЗИП для изделия типа «Ильмень». В качестве ограничений для комплекта ЗИП будут выступать цена 3000000 руб. и вес 45 кг. Исходные данные для расчета представлены в таблице 1:

Т а б л и ц а 1

Исходные данные для расчета

Обозначение	Наименование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч	Количество в изделии	Стоимость, руб.	Вес, кг
ЮКСУ.467450.008	БТ23-205	10.000	3	250000	0.7
ЛРДА.436647.013	Модуль БТРС-010	10.000	3	450000	0.9
КУНИ.426479.003-05	БТ21-001Д	10.000	3	196000	1.2
ГФКП.467100.068	ТЕ1-6UV-4N-М	10.000	6	216000	1.4
ЮКСУ.467123.001	БТ23-410	10.000	6	300000	1.5
ЮКСУ.467123.006	БТ23-410	10.000	3	300000	1.5
ДНИЯ.435111.017	Прибор ПП-6	9.927	14	18000	2.1
ДНИЯ.468242.006	Прибор ПРЗ-1	0.315	8	10000	0.95
ДНИЯ.469673.030-02	Прибор ПГУ	100.0	2	55000	3.2
ДНИЯ.468313.017	Прибор ПКУ	22.5	2	70000	2.7

ЮКСУ.467120.006	ТСВМ	0.2	8	5000	3.4
-----------------	------	-----	---	------	-----

Период планового пополнения равен 5000 ч.; заданный коэффициент готовности – 0.95.

Результаты расчета с использованием однокритериального метода оптимизации (по цене и весу) представлены на рисунках 1 и 2 соответственно. На рисунке 3 представлены результаты расчета при использовании многокритериального метода оптимизации.

Полученные результаты показывают, что не всегда возможно достигнуть требуемых значений комплекта ЗИП, удовлетворяющих всем поставленным требованиям. Однако, при использовании многопараметрической оптимизации можно получить нужный комплект ЗИП.

Заключение. Предлагаемая многокритериальная методика расчета на основе метода свертки критериев позволяет учитывать сразу несколько критериев. Анализируя полученные результаты пробного расчета, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая многокритериальная методика может быть применена для расчета комплектов ЗИП изделий, к которым применяется одновременно более одного ограничения (цене, весу, объему и др.).

Расчет ЗИП изделия ильмень-71						
обозначение	наименование	где применяется	интенс. отказов 1/ч	К-во изд	цена, руб.	кол-во ЗИП-О K=1 Rзад=0.9500 T=5000 Rпол=0.9515
1	2	3	4	5	6	7
ЮКСУ.467450.008	БТ23-205	ПУТ	10.000	3	250000.000	1
ЛРДА.436647.013	БТРС-010	ПУТ	10.000	3	450000.000	1
КУНИ.426479.003-05	БТ21-001Д	ПУТ	10.000	3	196000.000	1
ГФКП.467100.068	ТЕ1-6UV-4N-M	ПУТ	10.000	6	216000.000	2
ЮКСУ.467123.001	БТ23-410	ПУТ	10.000	6	300000.000	2
ЮКСУ.467123.006	БТ23-410	ПУТ	10.000	3	300000.000	1
ДНН.435111.017	прибор ПП-6		9.927	14	18000.000	4
ДНН.468242.006	прибор ПРЗ-1		0.315	8	10000.000	1
ДНН.469673.030-02	прибор ПГУ		100.000	2	55000.000	5
ДНН.468313.017	прибор ПКУ		22.500	2	7000.000	3
ЮКСУ.467120.006	ТСВМ		0.200	8	5000.000	1

Рис. 1. Расчет комплекта ЗИП с оптимизацией по цене. Суммарная цена – 2800000 руб.; вес – 46,95 кг

Расчет ЗИП изделия ильмень-71						
обозначение	наименование	где применяется	интенс. отказов 1/ч	К-во изд	вес, кг	кол-во ЗИП-О K=1 Rзад=0.9500 T=5000 Rпол=0.9572
1	2	3	4	5	6	7
ЮКСУ.467450.008	БТ23-205	ПУТ	10.000	3	0.700	2
ЛРДА.436647.013	БТРС-010	ПУТ	10.000	3	0.900	2
КУНИ.426479.003-05	БТ21-001Д	ПУТ	10.000	3	1.200	2
ГФКП.467100.068	ТЕ1-6UV-4N-M	ПУТ	10.000	6	1.400	2
ЮКСУ.467123.001	БТ23-410	ПУТ	10.000	6	1.500	2
ЮКСУ.467123.006	БТ23-410	ПУТ	10.000	3	1.500	2
ДНН.435111.017	прибор ПП-6		9.927	14	2.100	3
ДНН.468242.006	прибор ПРЗ-1		0.315	8	0.950	1
ДНН.469673.030-02	прибор ПГУ		100.000	2	3.200	3
ДНН.468313.017	прибор ПКУ		22.500	2	2.700	2
ЮКСУ.467120.006	ТСВМ		0.200	8	3.400	0

Рис. 2. Расчет комплекта ЗИП с оптимизацией по весу. Суммарная цена 3793000 руб.; вес – 42,65 кг

Расчет ЗИП изделия				ИЛЬМЕНЬ-71			
Обозначение	Наименование	Где применяется	ИНТЕНС. отказов	IK- IBO	кол-во ЗИП-О	IK- IBO	кол-во ЗИП-О
			11*1000000	1/4	1	1	1
					0.9500		
					T= 5000		
					Rпол=		
					0.9557		
1	2	3	4	5	6	7	8
ЮКСУ.467450.008I	БТ23-205I	ПУТИ	10.000I	3I	1I		
ЛРДА.436647.013I	БТРС-010I	ПУТИ	10.000I	3I	1I		
КУНИ.426479.003-05I	БТ21-001DI	ПУТИ	10.000I	3I	1I		
ГФКП.467100.068I	ТЕ1-6UV-4N-MI	ПУТИ	10.000I	6I	2I		
ЮКСУ.467123.001I	БТ23-410I	ПУТИ	10.000I	6I	2I		
ЮКСУ.467123.006I	БТ23-410I	ПУТИ	10.000I	3I	2I		
ДННН.435111.017I	прибор ПП-6I		9.927I	14I	5I		
ДННН.468242.006I	прибор ПРЗ-1I		0.315I	8I	1I		
ДННН.469673.030-02I	прибор ПГУI		100.000I	2I	3I		
ДННН.468313.017I	прибор ПКУI		22.500I	2I	2I		
ЮКСУ.467120.006I	ТСВМI		0.200I	8I	2I		

Рис.3. Расчет комплекта ЗИП с оптимизацией по 2-м критериям: цена и вес. Весовой коэффициент цены к весу - 50%/ 50% Суммарная цена 2943000 руб.; вес - 44,85 кг.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 27.507-2015. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. М.: Стандартинформ, 2016, 49 с.
- Ушаков И.А. Курс теории надежности систем. М: Дрофа, 2008, 240 с.
- Pan G., Luo Q., Li X., Wang Y. Model of spare parts optimization based on GA for equipment. 3-rd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics. 2018. Pp 44-47. doi: <https://doi.org/10.2991/msam-18/20188.10>
- Черкесов Г.Н. Оценка надежности с учетом ЗИП. СПб: БХВ, Петербург, 2012, 480 с.
- MIL-HDBK-472. Maintainability prediction. Washington D.C.: Department of defense, 1966. 298 p.
- Савин К.Н., Хамханова Д.Н. Аттестация алгоритмов определения весовых коэффициентов показателей качества. Современные проблемы науки и образования, 2012, №6, С.7
- Burkov A. The Hundred-Page Machine Learning Book. 2019, 159 p.
- Полесский С.Н., Паньковский Б.Е. Методика расчета показателей достаточности системы ЗИП электронных средств. Системы управления, связи и безопасности, №4, 2018, С. 35-44

M.B.Rozengauz (State Research Center of the Russian Federation - Concern CSRI Elektropribor JSC, Saint-Petersburg).
Multi-criteria design procedure of optimal maintenance package

Abstract. The design procedure of maintenance package (SPTA package) allowing to use several criteria such as price and weight at the same time for calculating optimal SPTA package is considered in the report. The multi-criteria problem reduces to a scalar one using convolution method. Application of the procedure have been considered on the concrete example.

В. А. ОДИНАЕВ, В. А. ДОЛГОВ
(ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» г. Санкт-Петербург)

УПРАВЛЕНИЕ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА

В статье представлены критерии и алгоритмы для управления гребной электрической установкой перспективного атомного ледокола. Рассмотрена математическая модель пространства состояний единой электроэнергетической системы. Алгоритмы принятия решений реализуются поиском точек и траекторий в многомерном пространстве, оптимальных по сформулированным критериям.

Введение. Гребная электрическая установка перспективного атомного ледокола входит в состав единой электроэнергетической системы судна (ЕЭЭС) и относится к числу сложных технических систем. Основными качественными (количественными) показателями сложности ЕЭЭС являются разнообразие (количество разных) элементов, протекающих физических процессов, вариантов коммутационного состояния, вариантов электрических схем соединения элементов, вариантов технического состояния. Взаимосвязанные совокупности однородных элементов ЕЭЭС, объединенных слабыми связями системного характера (кабели, выключатели, распределительные устройства) придают электроэнергетической системе свойства техноценоза. Для ЕЭЭС используется многоуровневая многофункциональная и распределенная в пространстве система управления.

Критерии и алгоритмы управления. Судовая электроэнергетическая система представляется графом [1, 2]. Каждое ребро графа служит для обозначения одного или нескольких последовательно соединенных элементов ЕЭЭС. Такими элементами являются источники и преобразователи электроэнергии, кабели и выключатели основной силовой сети. Вершины графа соответствуют источникам и потребителям энергии, а также узлам соединения элементов ЕЭЭС.

В графе ЕЭЭС с общим истоком [1, 2] все вершины – источники энергии объединены в одну вершину – общий источник тока. По ребрам графа протекают токи, равные токам соответствующих элементов ЕЭЭС. Стоки находятся в вершинах – потребителях энергии. Потребляемый от шин распределительного устройства ток равен току, который потребляется в соответствующей вершине. Пропускная способность ребер графа определяются предельно-допустимым значением токов соответствующих элементов.

Граф модифицируется с учетом технического состояния элементов ЕЭЭС. Связывающее дерево графа технического состояния является образом сети коммутации электроэнергии, в которой источники электроэнергии работают раздельно и нет параллельно включенных линий передачи электроэнергии [1, 2].

В [2] доказывается следующее основное положение: каждому связывающему дереву графа технического состояния соответствует точка в линейном непрерывном пространстве размерности n , где n – циклический ранг графа технического состояния. Следствиями этого основного положения являются следующие утверждения:

1. Каждому коммутационному состоянию, в котором источники электроэнергии работают раздельно и нет параллельно включенных линий передачи электроэнергии, соответствует точка в линейном непрерывном пространстве размерности n , где n – циклический ранг графа технического состояния.

2. Параллельная работа двух источников электроэнергии или параллельное включение двух линий передачи электроэнергии соответствует прямой линии в линейном непрерывном пространстве размерности n .

3. Если в ЕЭЭС включены все источники и линии передачи электроэнергии, то токи в линиях являются функциями координат точки в линейном непрерывном пространстве размерности n .

В общем случае токи ребер графа технического состояния определяются следующими выражениями:

$$I_{pi} = I_{Ai} + \sum_{j \in N} W_{ij} \times I_j, \quad I_{pi} = I_{Ai} + \sum_{j \in N} W_{ij} \times I_j, \quad (1)$$

где: I_{pi} – ток i -го ребра; I_{Ai} – ациклический ток ребра i (ток ребра в связывающем дереве графа технического состояния); I_j – циклический ток j (циркуляция тока в цикле, образовавшемся после присоединения хорды j к связывающему дереву графа технического состояния); $W_{ij} = 1$, если циклический ток I_j и ациклический ток I_{Ai} совпадают по направлению на ребре i ; $W_{ij} = -1$, если циклический ток I_j и ациклический ток I_{Ai} не совпадают по направлению на ребре i ; $W_{ij} = 0$, если циклический ток I_j не проходит по ребру i ; N – множество хорд; Z – множество ребер графа технического состояния.

Каждой переменной I_j поставим в соответствие одну ось в линейном непрерывном пространстве размерности n . Число переменных равно числу хорд, которое равно n , где n – циклический ранг графа технического состояний. Тогда токи ребер являются функциями координат точки в линейном непрерывном пространстве размерности n .

Для создания современных систем управления ЕЭЭС необходимо: 1) на основе анализа деятельности операторов определить критерии оптимальности принимаемых решений; 2) разработать методы принятия оперативных решений на основе математической модели пространства состояний ЕЭЭС.

На практике решение, принимаемое оператором, состоит из четырех последовательно формируемых частей.

P0. Решение о полноте и достоверности информации о ситуации в ЕЭЭС. Оценка ситуации по прямым и косвенным данным.

P1.1. Решение о составе действующих источников электроэнергии.

P1.2. Решение о коммутационном состоянии, в которое необходимо перевести ЕЭЭС.

P2. Траектория исполнения решения: последовательность операций по переводу ЕЭЭС из начального состояния в конечное.

Если информация о ситуации в ЕЭЭС полная и достоверная, то решение по п.Р0 считается принятым. В противном случае информация о ситуации в ЕЭЭС пополняется и уточняется настолько, насколько это позволяют временные и пространственные ограничения.

Анализ деятельности оператора показывает, что для принятия решений по пп.Р1 и Р2 для большинства ситуаций используются перечисленные ниже критерии.

Критерии для выбора состава действующих источников электроэнергии

1. Включенный резерв мощности генераторных агрегатов (ГА) должен быть максимальным при ограничениях на минимальную загрузку каждого генератора:

$$C_{1ном} = \sum_{i \in D} P_i - \sum_{i \in D} P_i \rightarrow \max, \quad M_{|P \geq P_{\min}|} \neq \emptyset \Rightarrow P_i \geq P_{\min}, \quad \forall i \in D, \quad (2)$$

где: $P_i(P_{ном})$ – мощность (номинальная мощность) i -го ГА, планируемого в состав действующих; D – множество ГА, планируемых в состав действующих; $M_{|P \geq P_{\min}|}$ – множество таких вариантов состава действующих ГА, для которых выполняется условие $P_i \geq P_{\min}, \quad \forall i \in D$.

2. Минимальный ресурс действующего генераторного агрегата должен быть максимально возможным:

$$C_2 = \min_{i \in D} R_i \rightarrow \max, \quad (3)$$

где: R_i – ресурс i -го ГА, планируемого в состав действующих.

3. При исполнении решения число перезапусков генераторных агрегатов должно быть минимальным:

$$C_3 = Pz \rightarrow \min, \quad (4)$$

где: Pz – число перезапусков ГА, необходимых при исполнении принятого решения.

Критерии для выбора коммутационного состояния ЕЭЭС

4. Каждая исправная секция шин главного распределительного щита (ГРЩ), которая связана с назначенным к действию источником электроэнергии хотя бы одной исправной линией передачи электроэнергии, должна быть под напряжением:

$$C_4 = Su \rightarrow \max, \quad (5)$$

где: Su – число исправных секций ГРЩ, находящихся под напряжением.

5. Каждая действующая секция шин ГРЩ неотключаемой нагрузки (НН), которая связана с аккумуляторной батареей (АБ) хотя бы одной исправной линией передачи электроэнергии,

должна автоматически переводиться на электропитание от АБ при внезапном отказе основного/резервного источника электроэнергии:

$$C_5 = S'u \rightarrow \max, \quad (6)$$

где: $S'u$ – число действующих секций ГРЩ НН, которые могут переключиться на электропитание от АБ.

6.1. Общая протяженность наиболее важных линий передачи электроэнергии, находящихся под напряжением, должна быть минимальной (при ограничениях, определяемых пропускными способностями линий):

$$C_{6.1} = \sum_{i \in L} s_i \times w_i \rightarrow \min, \quad I_i + I_{икв} \leq I_{ном}, \quad (7)$$

где: L – множество линий передач электроэнергии первичной электрической силовой сети, планируемых в состав действующих; s_i – длина i -й линии передачи электроэнергии; w_i – важность (приоритет [1]) i -й линии передачи электроэнергии; $I_i + I_{икв}$ – расчетное значение тока (I_i) i -й линии передачи электроэнергии с учетом кратковременно работающих потребителей электроэнергии ($+I_{икв}$); $I_{ном}$ – номинальное значение тока i -й линии передачи электроэнергии.

6.2. Максимальная загрузка источника (линии передачи) электроэнергии, приходящаяся на единицу оставшегося времени работы данного элемента ЭСК, должна быть минимальной:

$$C_{6.2} = \max_{i \in L} \frac{I_i}{I_{ном} * t_{ост.i}} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $t_{ост.i}$ – оставшееся расчетное время работы i -го источника (линии передачи) электроэнергии при токе $I_{ном}$.

7. Наибольший ущерб от обесточивания потребителей электроэнергии должен быть минимальным:

$$C_7 = \max_{i \in O} p_i \rightarrow \min, \quad (9)$$

где p_i – количественная мера ущерба кораблю от обесточивания i -го потребителя электроэнергии; O – множество обесточиваемых потребителей электроэнергии.

8. Число операций управления (O_y) при переводе ЕЭЭС из начального коммутационного состояния в конечное должно быть минимальным:

$$C_8 = O_y \rightarrow \min. \quad (10)$$

Задача поиска оптимального по выбранным критериям решения формулируется следующим образом – в пространствах состояний, соответствующих заданной ситуации и разным вариантам состава действующих источников электроэнергии, найти оптимальную по выбранным критериям траекторию, которая отвечает следующим условиям:

1) начальная точка траектории соответствует текущему коммутационному состоянию ЕЭЭС при текущем составе действующих источников электроэнергии;

2) конечная точка траектории соответствует одному из оптимальных коммутационных состояний при одном из оптимальных составов действующих источников электроэнергии.

Критерии применяются в лексикографическом порядке, но только до тех пор, пока имеется хотя бы один вариант решения. Если на некотором шаге выясняется, что нет ни одного варианта решения, удовлетворяющего очередному критерию, то порядок применения критериев может быть изменен в соответствии конкретной ситуацией.

Формально в этих случаях производится модификация пространства за счет изменения состава источников электроэнергии, переключения потребителей электроэнергии на резервное электропитание, отключения потребителей электроэнергии (если нет других возможностей).

Заключение. Система критериев для управления позволяет получать оптимальные решения в пространстве состояний гребной электрической установки перспективного атомного ледокола. Вычислительная сложность поиска кратчайшей траектории и вычислительная сложность перемещения из исходной точки пространства в оптимальную определяется выражением $O(n!)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Одинаев В.А.** Комбинаторные задачи в корабельной электроэнергетике. СПб: ВМПИ, 2016, 276 с.
2. **Одинаев В.А.** Математическая модель пространства состояний корабельной электроэнергетической системы. Принятие оперативных решений. Судостроение, 2003, вып. № 5. С.42-44
3. **Басакер Р., Саати Т.** Конечные графы и сети. М: Наука, 1974, 366 с.

V. A. Odinaev, V. A. Dolgov (VMPI VUNC Navy "Naval Academy", St. Petersburg). **Propeller electric unit control advanced nuclear icebreaker**

Abstract. The article presents the criteria and algorithms for controlling the electric propulsion system of a promising nuclear icebreaker. A mathematical model of the state space of a unified electric power system is considered. Decision-making algorithms are implemented by searching for points and trajectories in a multidimensional space that are optimal according to the formulated criteria.

Секция 3

СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ

В.Н. СНЕТКОВ, К.А. СЕМЕНОВА, Ю.В. ДОРОВСКАЯ
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

**ПРАВОВОЙ РЕЖИМ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Данное исследование направлено на изучение особенностей правового режима континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации. В результате проведенного исследования, авторами сделан вывод о том, что правовой режим континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации является сложным и комплексным понятием, включающим в себя различные виды режимов - режим освоения природных ресурсов континентального шельфа, режим рыболовства, режим проведения научных исследований на континентальном шельфе, режим обеспечения экологической безопасности на континентальном шельфе и др.

Введение. Несмотря на общепризнанную значимость арктических пространств, включая континентальный шельф, для экономической, военной, политической жизни государств, вопрос о правовом режиме континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации остается до конца не изученным и требующим детального анализа. Отдельные научные исследования посвящены нормативному правовому регулированию осуществления деятельности на континентальном шельфе, тем не менее, достаточно мало изучен вопрос о правовом режиме арктического континентального шельфа.

Особенность данного исследования состоит в его междисциплинарности, основанной на сочетании анализа международных и национальных нормативных правовых актов, закрепляющих правовой режим континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации в сочетании с общетеоретическим подходом к установлению содержания понятия правового режима.

Предлагаемый доклад посвящен комплексному анализу содержания понятия континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации, а также его основных элементов.

Основная часть доклада. Задачей данного исследования является установление содержания понятия континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации, а также проведение комплексного и всестороннего анализа данного понятия. Для решения обозначенной задачи необходимо установить содержание понятия правового режима, выявить и проанализировать международные и национальные нормативные правовые акты, регулирующие правовой режим арктического континентального шельфа, определить составные элементы правового режима арктического континентального шельфа Арктической зоны России.

В целях установления содержания правового режима континентального арктического шельфа под правовым режимом целесообразно понимать «...порядок правового регулирования общественных отношений, выраженный в определенном сочетании правовых средств, обуславливающих определенный порядок возникновения и формирования содержания прав и обязан-

ностей субъектов права, их осуществление, специфику санкций, способов их реализации, направленных на достижение поставленных целей и задач» [1].

Континентальный шельф является территорией со смешанным правовым режимом, нормативное регулирование которого осуществляется как на международном, так и на внутригосударственном уровне.

На международном уровне правовой режим континентального шельфа, в том числе шельф Северного Ледовитого океана, определяется такими международными документами как Конвенция ООН по морскому праву 1982 года, Женевской конвенцией о континентальном шельфе 1958 года.

Согласно положениям Конвенции ООН по морскому праву 1982 года, «континентальный шельф прибрежного государства включает в себя морское дно и недра подводных районов, простирающихся за пределы его территориального моря на всем протяжении естественного продолжения его сухопутной территории до внешней границы подводной окраины материка или на расстояние 200 морских миль от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря, когда внешняя граница подводной окраины материка не простирается на такое расстояние» [3]. Также, согласно положениям данной конвенции, исключительным правом прибрежного государства является осуществление своих суверенных прав на континентальном шельфе «... в целях его разведки и разработки его природных ресурсов» [3]. Положениями ст. 76 Конвенции ООН по морскому праву установлен порядок закрепления суверенных прав на континентальный шельф за пределами 200 морских миль [3]. В 2019 году подкомиссия ООН подтвердила обоснованность заявки России на установление границ континентального шельфа в Арктике за пределами 200 морских миль [4], что обуславливает особую актуальность конкретизации и закрепления правового режима данного вида территории Арктической зоны России.

Россия, являясь самым крупным арктическим государством, осуществляет суверенные права на значительном по протяженности шельфе Арктики и над его ресурсами.

Распределение суммарных ресурсов углеводородов континентального шельфа по акваториям России (в %)



Рис. 1 [2]

Для России, участницы Конвенции ООН по морскому праву 1982 года, правовой режим континентального шельфа, в том числе Арктической зоны, определяется нормами международного морского права и российского законодательства.

На национальном уровне общие положения о правовом режиме континентального шельфа России определяется Федеральным законом «О континентальном шельфе Российской Федерации» [5].

Правовой режим континентального шельфа является комплексным понятием, включающим в себя режим освоения природных ресурсов континентального шельфа, режим рыболовства, режим проведения научных исследований на континентальном шельфе, режим обеспечения экологической безопасности на континентальном шельфе и др.

Несмотря на наличие специального закона, закрепляющего правовой режим континентального шельфа, существует множество других нормативных правовых актов, детализирующих

порядок осуществления деятельности в пределах российского шельфа. Так, например, требования к лицам, которым могут предоставляться участки недр континентального шельфа России, к особенности освоения минеральных ресурсов шельфа устанавливаются положениями Федерального закона «О недрах» [6]. Осуществление рыболовства на континентальном шельфе России определяются в соответствии с Федеральным законом «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» [7], платежи за пользование ресурсами континентального шельфа устанавливаются Налоговым кодексом Российской Федерации.

Обеспечением правового режима континентального шельфа России занимаются различные органы исполнительной власти в зависимости от своей компетенции: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования Российской Федерации, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное агентство морского и речного транспорта и др.

Особенность правового режима континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации обуславливается большим интересом международного сообщества к арктическим пространствам и отсутствием международного соглашения, закрепляющего статус Арктики.

Согласно положениям Указа Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 года № 164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» в качестве основных задач России в отношении арктического континентального шельфа является «сохранение взаимодействия с арктическими государствами по вопросу разграничения континентального шельфа в Северном Ледовитом океане с учетом национальных интересов Российской Федерации, на основе норм международного права и достигнутых договоренностей» [8].

Заключение. Правовой режим континентального шельфа Арктической зоны Российской Федерации – сложное понятие, включающее в себя различные виды режимов, таких как: режим природопользования, режим проведения научных исследований, налоговый, административный и другие виды режимов. Особенность правового режима континентального шельфа Арктической зоны России обусловлена отсутствием определенности на межгосударственном уровне в установлении правового статуса Арктики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демина М.А. Категория «Правовой режим»: теоретические подходы к понятию. *Проблемы экономики и юридической практики*. 2017. № 3. С. 77-81.
2. Официальный сайт «Экономический портал»//<https://institutiones.com/strategies/3423-arkticheskii-shelf-kak-strategicheskii-region-razvitiya.html> (дата обращения 06.08.2020).
3. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву 1982 года// «Собрание законодательства РФ», 01.12.1997, N 48, ст. 5493,
4. Официальный сайт «Коммерсантъ»// <https://www.kommersant.ru/doc/3932172> (дата обращения 06.08.2020).
5. Федеральный закон «О континентальном шельфе Российской Федерации» от 30.11.1995 № 187-ФЗ // «Российская газета» от 7 декабря 1995 г., N 237.
6. Закон РФ «О недрах» от 21 февраля 1992 г. N 2395-1 // «Российская газета» от 5 мая 1992 г. N 102
7. ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»// «Российская газета» от 23 декабря 2004 г. N 284
8. Указ Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 года № 164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года»//«Собрание законодательства РФ», 09.03.2020, N 10, ст. 1317

V.N.Snetkov, K.A.Semenova, Yu.V. Dorovskaya (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University). **Legal regime of the continental shelf of the Arctic zone of the Russian Federation**

Abstract. This study is aimed at studying the features of the legal regime of the continental shelf of the Arctic zone of the Russian Federation. As a result of the study, the authors concluded that the legal regime of the continental shelf of the Arctic zone of the Russian Federation is a complex concept, which includes various regimes - the regime of using the natural resources of the continental shelf, the fishing regime, the regime of scientific research on the continental shelf, regime for ensuring environmental safety on the continental shelf, etc.

Н.В. БАЛАНДИНА, В.В. КОРОЛЕВА, И.С. ХРАМОВА
(Астраханский государственный университет)

КОЛЛАБОРАЦИЯ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА НА МОРСКОМ И ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ ПРИКАСПИЙСКИХ ГОСУДАРСТВ

Доклад посвящен одной из актуальных и в то же время малоизученных в современной науке тем. Максимальное внимание сосредоточено на анализе нормативных правовых актов, регламентирующих организацию экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте в государствах Прикаспийского региона. Выявлены положительные и отрицательные проявления функционирующих механизмов, предложены варианты корректировки национальных правовых основ, а также создание обособленного международного правового акта и международной организации стран Прикаспия, целью которого будет являться осуществление надзорной экологической деятельности на морском и внутреннем водном транспорте стран Прикаспия в рамках охраны окружающей среды Прикаспийского региона

Введение. При современных темпах развития добычи и транспортировки углеводородного сырья в Каспийском бассейне, вылова биоресурсов и развертывания туристической деятельности, в условиях отсутствия единого механизма функционирования экологического контроля в Прикаспийском регионе по причине реализации национального законодательства каждого составного институционального элемента – государства, входящего в Прикаспийскую зону, складывается проблематика сохранения качества окружающей среды на водных объектах. Особую сложность правовой материи иллюстрирует тот факт, что детально проработанного алгоритма осуществления экологического контроля на внутреннем водном и морском транспорте не содержит даже национальное законодательство. Лица, осуществляющие контроль, пользуются общими основаниями и шаблонным инструментарием, в процессе реализации экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте. Указанные обстоятельства не позволяют сформировать эффективный механизм охраны окружающей среды через призму осуществления экологического контроля в рассматриваемой области. По этой причине тема предлагаемого доклада «Коллаборация правового регулирования экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте Прикаспийских государств» является актуальной и своевременной. Исследование позволит выявить как положительные, так и отрицательные проявления организации и функционирования механизма экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте в странах Прикаспия и сформировать маршрутную карту гармонизации национальных правовых основ контроля в общей связке жизни Каспийского моря с учетом транспортной деятельности на морских и внутренних водных артериях Прикаспийского бассейна.

Праворегуляторы экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте в Прикаспийских государствах. Центральной задачей исследования представляется детальный анализ правовых основ рассматриваемого вида экологического контроля в Прикаспийских государствах.

К странам Прикаспийского региона относятся Российская Федерация, Азербайджан, Иран, Туркмения, Казахстан. Все государства имеют стройную систему нормативных актов, при этом четыре из пяти являются наследниками советского государства, что породило определённое единство принципов построения структурных институциональных блоков, в том числе механизма экологического контроля. Несмотря на общие признаки проявления процесса экологического контроля, содержательные элементы, полномочия должностных лиц и последствия нарушений установленных предписаний разнятся.

В России к правовым регуляторам, определяющим основы для осуществления контроля в целом, являются федеральные законы: Кодекс торгового мореплавания от 30.04.1999г. №81-ФЗ, Кодекс внутреннего водного транспорта от 07.03.2001г. №24-ФЗ, О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля от 26.12.2008г. № 294-ФЗ, О лицензировании отдельных видов деятельности от 04.05.2011г. № 264-ФЗ и другие. У наших соседей по Каспийскому мо-

рю действует ряд нормативных актов в рассматриваемой сфере. В Республике Казахстан: Экологический кодекс от 9 января 2007 года №212, Кодекс Республики Казахстан от 29.10.2015г. №375-V ЗРК «Предпринимательский Кодекс Республики Казахстан». В Азербайджанской Республике: Закон Об охране окружающей среды от 08.06.1999г. № 678-IQ, Закон Об экологической безопасности от 08.06.1999г. №677- IQ. В Туркменистане: Закон Об охране природы от 01.03.2014г. № 40-V, Закон Об экологической информации от 14.03.2020г. №227-V, Закон Об экологической безопасности от 03.06.2017г. №567-V. Справедливости ради, стоит отметить отсутствие специализированных документов, направленных на регламентацию экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте. Кроме того, полномочия по осуществлению контроля имеет ряд органов. На примере России, этой деятельностью заняты и Росприроднадзор, и Ространснадзор, и Росехнадзор, и Роспотребнадзор с Росздравнадзором (в условия распространения COVID-19 наиболее активных органов, проявляющих функции по контролю в максимальном количестве видов деятельности), которые руководствуются уже названными нормативно-правовыми актами, в тоже время применяют и ведомственные документы. Разумеется, размытость функциональной нагрузки не позволяет сформировать эффективный механизм экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте.

С учетом того, что в государствах Прикаспийского региона складывается аналогичная ситуация, предполагается, что система экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте нуждается в выработке согласованных подходов к содержательной и организационной составляющих этой деятельности. При этом указанная проблематика должна быть решена не только в рамках редакции отечественного законодательства, но и путем международно-правового сотрудничества.

Совместные усилия государств Прикаспия по практическому осуществлению комплекса работ обеспечивающих экологическую безопасность на морском и внутреннем водном транспорте должны быть выстроены на основе единого и систематизированного подхода к идентификации опасностей, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации транспортных средств на всех этапах технологического процесса перевозки. При анализе риска должен использоваться обоснованный согласованный между государствами метод, позволяющий выявлять и четко описывать все источники опасностей и сценарии их возникновения. Осуществляя данные расчеты, следует исходить из определения рисков опираясь на анализ статистических данных об опасных природных и техногенных явлениях и результатов взаимодействия с окружающей средой.

Заключение. Проведенное исследование позволило сформировать принципиальные направления в развитии механизма экологического контроля на внутреннем водном и морском транспорте. Организованный анализ коллаборации правового регулирования проиллюстрировал необходимость модернизации механизма. В этих условиях единственно верным критерием процесса модернизации будет не только гармонизации законодательства стран Прикаспия, регламентирующего процесс экологического контроля на внутреннем водном и морском транспорте, но и создание единого международного документа, подписанного исключительно государствами Прикаспийского региона.

Кроме того, в рамках функционирования предлагаемого документа представляется разумным сформировать специализированную структурную единицу в виде межгосударственного объединения, надгосударственного органа, целью существования которого стала бы ориентация на улучшение качества окружающей среды в целом и водных ресурсов Прикаспийского бассейна в частности. В структуре организации необходимо предусмотреть организовать специализированный орган, уполномоченный на проведение экологического контроля, в частности на внутреннем водном и морском транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс торгового мореплавания от 30.04.1999г. №81-ФЗ. <http://ivo.garant.ru/#/document/12115482/paragraph/870816/highlight/Кодекс%20торгового%20мореплавания:1>
2. Кодекс внутреннего водного транспорта от 07.03.2001г. №24-ФЗ. <http://ivo.garant.ru/#/document/12122218/paragraph/351025/highlight/Кодекс%20внутреннего%20водного%20транспорта:3>

3. Федеральный закон РФ О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля от 26.12.2008г. № 294-ФЗ. <http://ivo.garant.ru/#/document/12164247/paragraph/192559/highlight/O%20защите%20прав%20юридических%20лиц%20и%20индивидуальных%20предпринимателей%20при%20осуществлении%20государственного%20контроля%20и%20надзора%20и%20муниципального%20контроля:5>
4. Федеральный закон РФ О лицензировании отдельных видов деятельности от 04.05.2011г. № 264-ФЗ. <http://ivo.garant.ru/#/document/12185475/paragraph/5637/highlight/O%20лицензировании%20отдельных%20видов%20деятельности:7>
5. Экологический кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 года №212. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=15027
6. Предпринимательский Кодекс Республики Казахстан от 29.10.2015г. №375-V ЗПК. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=80123
7. Закон Азербайджанской Республики Об охране окружающей среды от 08.06.1999г. № 678-IQ. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=2679
8. Закон Азербайджанской Республики Об экологической безопасности от 08.06.1999г. №677- IQ. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=98114
9. Закон Туркменистана Об охране природы от 01.03.2014г. № 40-V. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=66022
10. Закон Туркменистана Об экологической информации от 14.03.2020г. №227-V, https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=123175
11. Закон Туркменистана Об экологической безопасности от 03.06.2017г. №569-V. https://base.spininform.ru/show_doc.fwx?rgn=98114

N.V. Balandin, V.V. Koroleva, I. S. Khramov (Astrakhan State University, Astrakhan). **Collaboration of legal regulation of environmental supervision on marine and inland water transport of the caspian states**

Abstract. The report is devoted to one of the topical and at the same time little-studied topics in modern science. Maximum attention is focused on the analysis of regulatory legal acts governing the organization of environmental control in sea and inland water transport in the states of the Caspian region. The positive and negative manifestations of the functioning mechanisms were identified, options for adjusting the national legal framework were proposed, as well as the creation of a separate international legal act and an international organization of the Caspian countries, the purpose of which would be to carry out supervisory environmental activities on the sea and inland water transport of the Caspian countries within the framework of environmental protection of the Caspian region

Г.В. АРСЕНЬЕВА, И.С. ХРАМОВА
(Астраханский государственный университет)

РЕТРОСПЕКТИВА ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ НАДЗОРЕ НА МОРСКОМ И ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Доклад посвящен одному из приоритетных направлений эволюции современной юридической науки. Внимание к экологическим проблемам обусловлено необходимостью сохранения экосистемы, что требует формирования фундаментальной правовой основы. Исследованы историко-правовые акты, призванные регламентировать экологический надзор на морском и внутреннем водном транспорте. Предложены перспективы развития правового и прикладного элементов механизма экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте.

Введение. Морской и водный транспорт выступает источником загрязнения морских вод и вод внутреннего речного бассейна. История отечественного законодательства в области экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте не продолжительна. Вопросами экологии мировая общественность озадачилась только в середине прошлого века. Поиск путей решения большинства экологических проблем осуществляется на уровне отдельных государств и экономик; для объединения усилий разных стран целесообразно изучить опыт регламентации экологического надзора отдельных национальных правовых систем. Тема доклада – «Ретроспектива законодательства об экологическом надзоре на морском и внутреннем водном транспорте» - малоизучена и актуальна. Исследование исторических аспектов законодательства об экологическом надзоре на морском и внутреннем водном транспорте позволит избежать многих ошибок в будущем. Правовые основы экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте берут начало в законодательстве советского периода. Способы построения нормативного правового регулирования экологического надзора в современной правовой действительности, безусловно, не может складываться без принципиального воздействия рассматриваемых в рукописи основ. Механизм экологического надзора в России базируется на наследии инструментов советского периода.

Правовое регулирование экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте в советской России. Основными задачами исследования являются изучение истории законодательства об экологическом контроле на морском и внутреннем водном транспорте, выявление преемственности советского и современного российского законодательства, формирование предложений в области совершенствования действующего законодательства.

Советский законодатель не уделял должного внимания вопросам экологического надзора. Нормативные акты союзного и республиканского уровней, позволявшие раскрыть заявленную тему, условно подразделялись на две группы: акты, учреждавшие и регламентировавшие деятельность соответствующих государственных органов и акты, регламентировавшие использование водных объектов. К первой группе нормативных актов следует отнести: Постановление ЦИК и СНК СССР от 7 июня 1934 г. «Об организации водных транспортных судов и водной транспортной прокуратуры» (на основе Постановления создана транспортная прокуратура ряда морских бассейнов, в частности, Каспийского и Черноморского, а также речных бассейнов – Днепровского, Нижне-Волжского, Средне-Волжского, Верхне-Волжского); Постановление ЦИК и СНК от 10 октября 1934 г. «О водных транспортных судах и водной транспортной прокуратуре РСФСР» (в соответствии с Постановлением образован сектор водной транспортной в составе Прокуратуры РСФСР); Постановление ЦИК и СНК от 7 апреля 1936 г. «О передаче всех водных транспортных судов и всей водной транспортной прокуратуры в непосредственное подчинение Верховного Суда Союза ССР и Прокуратуры Союза ССР» (в соответствии с Постановлением водная транспортная прокуратура учреждалась в каждом морском и речном бассейне при непосредственном подчинении соответствующим союзным органам); Постановление Совета Министров СССР от 25 июля 1953 г. № 1596 «О мероприятиях, связанных с объединением линейных судов железнодорожного и водного транспорта, а также железнодорожной коллегии и водно-транспортной коллегии Верховного Суда СССР» (в соответствии с Постановле-

нием была проведена реформа структуры транспортной прокуратуры); Указ Президиума Верховного Совета СССР от 3 марта 1960 г. «Об упразднении транспортных прокуратур» (в соответствии с Указом функции союзных транспортных прокуратур передавались прокурорским органам республик, входящим в состав СССР) и т.д. Нормативные акты содержат положения о надзоре за выполнением законодательства, в том числе организациями, эксплуатирующими морской и речной транспорт. Например, п. 6 ст. 5 Постановления ЦИК и СНК СССР от 7 июня 1934 г. «Об организации водных транспортных судов и водной транспортной прокуратуры» предусматривал надзор за соблюдением правил судоходства и судовождения, ремонтов судов, содержания пути, способствовавших предотвращению аварий (в том, числе, влекших загрязнение вод). Аналогичные положения содержали и другие акты, регламентировавшие прокурорский надзор в морских и водных бассейнах.

Вторая группа нормативных актов представлена Законом РСФСР от 27 октября 1960 г. «Об охране природы», Постановлением Совета Министров РСФСР от 31 декабря 1964 г. № 1646 «О мерах по прекращению загрязнения неочищенными сточными водами рек Волги и Дона», Постановлением Совмина СССР от 23 сентября 1968 г. «О мерах по предотвращению загрязнения Каспийского моря»; Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик от 10 декабря 1970 г. № 564-VIII, Водным кодексом РСФСР от 30 июня 1972 г. и т.д. Большинство актов регламентировали общие вопросы использования водных (и других природных) объектов, например, государственное управление в области использования и охраны вод (ст. 15 Законом РСФСР от 27 октября 1960 г. «Об охране природы», ст.ст. 7-8 Основ 1970 г., ст.ст. 8-10 Водного кодекса РСФСР 1972 г.), охрана вод от загрязнения и засорения (ст. 38 Основ 1970 г., ст.ст. 91-98 Водного кодекса РСФСР 1972 г.). Однако советские нормативные акты содержали и положения, непосредственно регламентировавшие использование морского и водного транспорта, с учетом экологических требований, например, обязательное оборудование транспортных судов и технического флота установками по сбору сточных вод (ст. 7 Постановления Совета Министров РСФСР от 31 декабря 1964 г. № 1646, ст. 12 Постановления Совмина СССР от 23 сентября 1968 г.).

Оценивая правовое регулирование экологического контроля на морском и внутреннем водном транспорте в советский период отметим: 1. функция экологического контроля со стороны государства на морском и внутреннем водном транспорте регламентировалась фрагментарно, большое внимание уделялось государственному управлению и контролю использования и охраны водных объектов; 2. отсутствовал базовый нормативный акт, регламентировавший эксплуатацию морского и внутреннего водного транспорта, в том числе, обеспечивавший экологические интересы государства.

Заключение. Проведенное исследование позволило сформулировать вывод – экологическая политика в России советского и постсоветского периодов формировалась с учетом требований конкретного времени. Эксплуатационные интересы в отношении природных объектов в целом и водных ресурсов в частности, всецело преобладали над природоохранными, экологоориентированными направлениями деятельности государства. Несмотря на это, сформированный механизм экологического надзора представлял собой довольно эффективную систему контроля экологического использования. Тем не менее, проблематичность его функционирования сохраняется и в настоящее время: наследие негативных тенденций в эконадзоре сохранилось в точном копировании проблем правового и реализационного механизма. По этой причине необходимым видится, основываясь на опыте прошлого, сформировать правовые основы функционирования экологического надзора на морском и внутреннем водном транспорте. Кроме того, следует наделить полномочиям, детализировав их содержание, отдельный государственный орган, создание которого сводилось бы к осуществлению экологического надзора именно на морском и внутреннем водном транспорте. К настоящему времени, к сожалению, указанные функции присутствуют лишь фрагментарно в функционале ряда институциональных структур, что не позволяет сформировать единый эффективный механизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление ЦИК и СНК СССР от 7 июня 1934 г. «Об организации водных транспортных судов и водной транспортной прокуратуры» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=31425#003684858453788231> (дата обращения: 09.08.2020).
2. Постановление ЦИК и СНК от 10 октября 1934 г. «О водных транспортных судах и водной транспортной прокуратуре РСФСР» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24493#022463652695806258> (дата обращения: 09.08.2020).
3. Постановление ЦИК и СНК от 7 апреля 1936 г. «О передаче всех водных транспортных судов и всей водной транспортной прокуратуры в непосредственное подчинение Верховного Суда Союза ССР и Прокуратуры Союза ССР» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=31952#09669048512080824> (дата обращения: 09.08.2020).
4. Постановление Совета Министров СССР от 25 июля 1953 г. № 1596 «О мероприятиях, связанных с объединением линейных судов железнодорожного и водного транспорта, а также железнодорожной коллегии и водно-транспортной коллегии Верховного Суда СССР» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=41232#06140059124503567> (дата обращения: 09.08.2020).
5. Закон РСФСР от 27 октября 19060 г. «Об охране природы» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=8501#05583285846202346> (дата обращения: 09.08.2020).
6. Указ Президиума Верховного Совета СССР от 3 марта 1960 г. «Об упразднении транспортных прокуратур» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=42961#06447724895800564> (дата обращения: 09.08.2020).
7. Постановление Совмина СССР от 23 сентября 1968 г. «О мерах по предотвращению загрязнения Каспийского моря» // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=37660#03124279662543832> (дата обращения: 09.08.2020).
8. Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик от 10 декабря 1970 г. № 564-VIII (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=ESU;n=37958#06246477813733711> (дата обращения: 09.08.2020).
9. Водный кодекс РСФСР от 30 июня 1972 г. (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3218/ (дата обращения: 09.08.2020).
10. Постановление Совета Министров РСФСР от 31 декабря 1964 г. № 1646 «О мерах по прекращению загрязнения неочищенными сточными водами рек Волги и Дона» (Документ утратил силу) // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=28134#032018975827616525> (дата обращения: 09.08.2020).

G.V. Arsenieva, I.S. Khramov (Astrakhan State University, Astrakhan). **Retrospective legislation on environmental supervision on marine and inland water transport**

Abstract. The report is devoted to one of the priority directions of the evolution of modern legal science. Attention to environmental problems is due to the need to preserve the ecosystem, which requires the formation of a fundamental legal framework. Historical and legal acts designed to regulate environmental supervision on sea and inland water transport are studied. Prospects for the development of legal and applied elements of the mechanism of environmental supervision in sea and inland water transport are proposed.

Е. ДОЛЖЕНКОВА, А.Ю. МОХОРОВА, А.В. ИСАЕВ
(Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого)

ВОПРОСЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В РАЗВИТИИ МОРСКОЙ ЛОГИСТИКИ

В настоящее время стандартизация находится перед такими вызовами, как дальнейший путь развития Искусственного Интеллекта и его применение в морской логистике; становление новых глобальных акторов, которые могут задавать новые цели развития данной отрасли. Таким образом, можно предположить, что по вопросам стандартизации в морской логистике основное направление будет задавать Китай. Безусловно, данное положение будет отвечать всем требованиям современного развития общества и освоения новых регионов.

Введение. Морская логистика является самым дешевым способом доставки различных грузов. Ее широкое распространение связано, прежде всего, с глобализацией рынка (развитие импорта и экспорта), с добычей и транспортировкой полезных ископаемых, а также с развитием военных судов. Те вопросы, которые сегодня ставят перед обществом глобальное изменение климата, развитие Искусственного Интеллекта – являются и вопросами стандартизации в различных отраслях в целом, и в морской логистике, в частности. Глобальное изменение климата диктует такие тренды, как развитие Арктического региона, и разработка средств добычи и транспортировки полезных ископаемых; изменение морского пути из Азии в Европу; зависимость экономики от морской энергетики и добычи в море. Также по данным Международной организации по стандартизации (ISO) [1], развитие стандартизации будет зависеть от запроса на строгие требования безопасности в море и защиту окружающей среды. А также от необходимости защиты интересов государства в море.

Рассматривая вопросы стандартизации в развитии морской логистики необходимо обратить внимание, какие государства задают тренды развития морской логистики – какие государства участвуют в развитии данной отрасли, как в технологической сфере, так и в сфере стандартизации. Так Технический комитет ISO/TC 8 «Корабли и морские технологии» [2] возглавляет Управление стандартизации Китая (SAC). Данный комитет разрабатывает стандарты проектирования, строительства морских судов. Также в работу данного комитета входит разработка стандартов по интерфейсу судно-берег, исследованию морской среды и пр. Членами данного комитета являются 26 стран [3], но рабочие группы представлены под руководством Норвегии – «Специальное морское сооружение и вспомогательные суда», Великобритании – «Морская безопасность», Японии – «Утилизация судов». **Рабочие группы [4] под руководством Китая** охватывают такие направления как «Полярные проблемы», «Умная доставка», «Земснаряды». **Рабочие группы под руководством США** – это «Суда на жидком и газовом топливе», «Водные виды проблем» и «Образование в морской сфере».

На основании информации по рабочим группам наблюдается распределение отраслей по странам. Здесь же, мы обращаем внимание на то, что китайская сторона является секретариатом в Техническом комитете ISO/TC 8. Таким образом, именно Китай является создателем стандартов в области международной логистики в целом – это и организация «цепочки» поставок, и создание технологий, оборудования, а также обладает возможностью наметить те или иные тенденции. И здесь необходимо помнить, что Китай, таким образом, может обеспечивать внутренние запросы в сфере морской логистики в целом и выводить на международный уровень, уже апробированные на внутреннем рынке стандарты, технологии, продукты. В рамках данного исследования следует обратить внимание и на актуальную сегодня область – Искусственный Интеллект (ИИ). Важно отметить, что рабочую группу в Комитете ISO/TC 8 по стандартизации в области компьютерных приложений возглавляет Китай. Соответственно, можно предполагать, что и стремление занять лидирующие позиции китайской стороны в области ИИ (как будет показано ниже) распространиться и на стандарты, применения ИИ в морской логистике. Мы сможем наблюдать развитие отрасли ИИ, и его внедрения в судостроении, оборудовании, развитии инфраструктуры морских портов, управление «цепочкой» поставок и пр. Здесь же следует отметить, что Китай сегодня зани-

мают лидирующие позиции в экспорте судового оборудования, морских судов, а также комплектующих.

Т.к. США возглавляют три рабочие группы в комитете и являются лидером в сфере ИИ, то необходимо рассмотреть их положения по стандартизации и работу в ISO.

Соединенные Штаты являются секретариатом Комитета по Искусственному интеллекту ISO/IEC JTC 1/SC 42 [5] – Американский национальный институт стандартов (ANSI) [6]. Национальный комитет по стандартам информационных технологий (INCITS) [7] США является технической консультативной группой в объединенном техническом комитете ISO и IEC по информационным технологиям (JTC1) [8]. INCITS принимает в ускоренном порядке в качестве «идентичных» американским стандарты ISO – таким образом, стандарты ISO принимаются, как американские национальные стандарты [9]. В JTC1 работа комитетов касается таких отраслей, как информационная безопасность, кибербезопасность, штрих-коды, управление услугами, искусственный интеллект и пр.

Позиция Китая «догнать и перегнать» США и стать безусловным лидером в области ИИ к 2030 г. [10]. ИИ рассматривается Китаем как инструмент, который позволит в будущем быть конкурентоспособным на международном рынке, обеспечивать национальную безопасность и расширение своих интересов за пределами собственных границ. Так Китай в 2018 г. презентовал «Белую книгу», в которой представлены стандарты в области ИИ, для последующего их принятия ISO. Как отмечает Л. Ковачич – это и есть начало гонки китайской стороной за лидерство в ИИ – «Китай пытается внедрить в технологии ИИ как можно больше собственных стандартов» [11]. Также в Китае происходит изменения в подходе национализации стандартов. В апреле 2020 г. SAC в целях адаптации к высококачественному экономическому и социальному развитию выпустил Руководство по дальнейшему совершенствованию управления отраслевыми стандартами [12]. Основная цель Руководства состоит в ускорении создания гармонизированной, простой и эффективной системы стандартов. Отраслевые стандарты постепенно превращаются в стандарты общественного интереса в рамках ответственности правительства, а количество отраслевых стандартов контролируется и сокращается в соответствии с требованиями реформы.

Китай является ведущей страной в развитии морской логистики. Данная характеристика имеет под собой основания потребности Китая в создании эффективной логистики в целом. Так Китай является крупнейшим экспортером и крупнейшим импортером, что влечет за собой потребность в обеспечении качественной, быстрой, дешевой, долговечной транспортной «цепочки». Также китайская сторона заинтересована в развитии Арктического региона и сегодня инвестирует в развитие данного региона, как в разработку и добычу полезных ископаемых, так и в сферу транспорта. Арктический регион также ставит перед стандартизацией такие задачи, как разработка стандартов специальных морских судов, оборудования, комплектующих, средств связи, технических характеристик покрытия судов и их частей, расхода топлива и предупреждения его разлива и пр.

Заключение. Как показало исследование ведущие государства в области морской логистики (Китай) и в области ИИ (США) стремятся к собственным разработкам в данных сферах, к созданию международных стандартов и к их последующему внедрению в национальную систему (здесь также прослеживается тенденция к упрощению данной процедуры). Т.к. данные государства стремятся к доминированию на международной арене в области технического оснащения, обладания передовыми технологиями, соответственно и в разработке стандартов, то стандартизация в области морской логистики будет стремительно развиваться в последующие годы. Что также будет обусловлено и запросом на использование ИИ (использование ИИ в морской логистике повлечет за собой и ее стремительное развитие). Также намечается тенденция к экспорту китайских технологий в области морской логистики, что повлечет за собой становление Китая, как государства, которое в данной сфере будет обладать передовыми технологиями и экспортировать их. Здесь также можем отметить и формирование запроса китайского научного сообщества в привлечении высококвалифицированных кадров, в том числе и иностранцев, с последующим упрощением условий трудоустройства непосредственно в Китае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Transport Trends *ISOfocus* September-October 2017 – ISSN 2226-1095 // URL: [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20\(2013-NOW\)/en/2017/ISOfocus_124/ISOfocus_124_EN.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISOfocus%20(2013-NOW)/en/2017/ISOfocus_124/ISOfocus_124_EN.pdf)
2. Technical committees ISO/TC 8 Ships and marine technology // URL: <https://www.iso.org/committee/45776.html>
3. Participation *Technical committees ISO/TC 8 Ships and marine technology* // URL: <https://www.iso.org/committee/45776.html?view=participation>
4. Working Groups *Technical committees ISO/TC 8 Ships and marine technology* // URL: <https://committee.iso.org/sites/tc8/home/about/working-groups.html>
5. ISO/IEC JTC 1/SC 42 Artificial intelligence // URL: <https://www.iso.org/committee/6794475.html>
6. American National Standards Institute (ANSI) // URL: <https://www.ansi.org/default>
7. INCITS // URL: <https://www.incits.org/standards-information/standards-101>
8. ISO and IEC Joint Technical Committee (JTC1) for information technology // URL: <https://jtc1info.org/#get-involved>
9. Catalog of Standards *INCITS* // URL: <https://www.incits.org/standards-information/catalog-of-standards>
10. Ковачич Л., Маркоткин Н., Черненко Е. Гонка технологий: перспективы искусственного интеллекта в России и Китае *Московский центр Карнеги* // URL: <https://carnegie.ru/2020/07/07/ru-pub-82171>
11. Ковачич Л. Китайский опыт развития отрасли искусственного интеллекта: стратегический подход *Московский центр Карнеги* // URL: <https://carnegie.ru/2020/07/07/ru-pub-82172>
12. New Roadmap for Industry Standards Development Plan SAC // URL: http://www.sac.gov.cn/sacen/Features/202006/t20200616_346758.htm

E. Dolzhenkova, A.Yu. Mokhorova, A.V. Isaev, (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University). **Issues of Standardization in the Development of Marine Logistics**

Abstract. Currently, standardization is facing such challenges as the further development of Artificial Intelligence and its application in maritime logistics; the formation of new global actors who can set new development goals for this industry. Thus, it can be assumed that China will be the main direction in matters of standardization in maritime logistics. Of course, this provision will meet all the requirements of the modern development of society and the development of new regions.

Ю.Э. КУЗНЕЦОВА

(Санкт-Петербургский государственный университет)

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ И НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРАВОВОЙ РЕЖИМ И РЕГУЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО СУДОХОДСТВА В КОНТЕКСТЕ ТЕКУЩЕЙ МИРОПОЛИТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

Главная роль в развитии российской арктической транспортной системы принадлежит Северному морскому пути (СМП). Проанализированы подходы к определению правового статуса СМП в соответствии как с российским, так и международным законодательством. Делается вывод о том, что целостность правового статуса СМП, а также его контроль со стороны РФ возможны, благодаря логистическому единству российской транспортной коммуникации и специфике Арктического региона. Показывается необходимость дальнейшего развития международного сотрудничества в Арктике и создания приарктическими государствами собственной нормативно-правовой базы.

Стратегическое значение Арктического региона для современного развития России и мира трудно переоценить. Долгое время рассматриваемая в качестве периферийного региона, сегодня Арктика постепенно превратилась в зону конкуренции стран за природные ресурсы и транспортные потоки международной важности. Ситуация осложняется внушительной ценой территориальных споров в данном регионе, который потенциально богат месторождениями нефти и газа, а также повышенным геополитическим интересом к такому ресурсу Арктики, как Северный морской путь (далее - СМП), который является частью Северо-Восточного прохода (см. рис.1) и обеспечивает межконтинентальные транспортные связи РФ со странами бассейнов Атлантического и Тихого океанов. Не будет преувеличением сказать, что СМП занимает особое место среди мировых океанских путей. Кроме того, данному транспортному коридору принадлежит главенствующая роль в развитии арктической транспортной системы России, в т.ч. потому, что он представляет собой *кратчайший* морской путь между европейской частью России и Дальним Востоком (см. рис.2). СМП позволяет снизить стоимость перевозок сжиженного природного газа и сократить срок поставки газа в Азию [1]. Увеличение привлекательности арктических судоходных маршрутов, в т.ч. СМП, также связано с сильным сокращением покрытых льдом территорий из-за глобального потепления и, как следствие, резким возрастанием проходимости СМП [2] – возможностью навигации там вне зависимости от погодных условий.



Рис 1. Арктические транспортные коридоры.

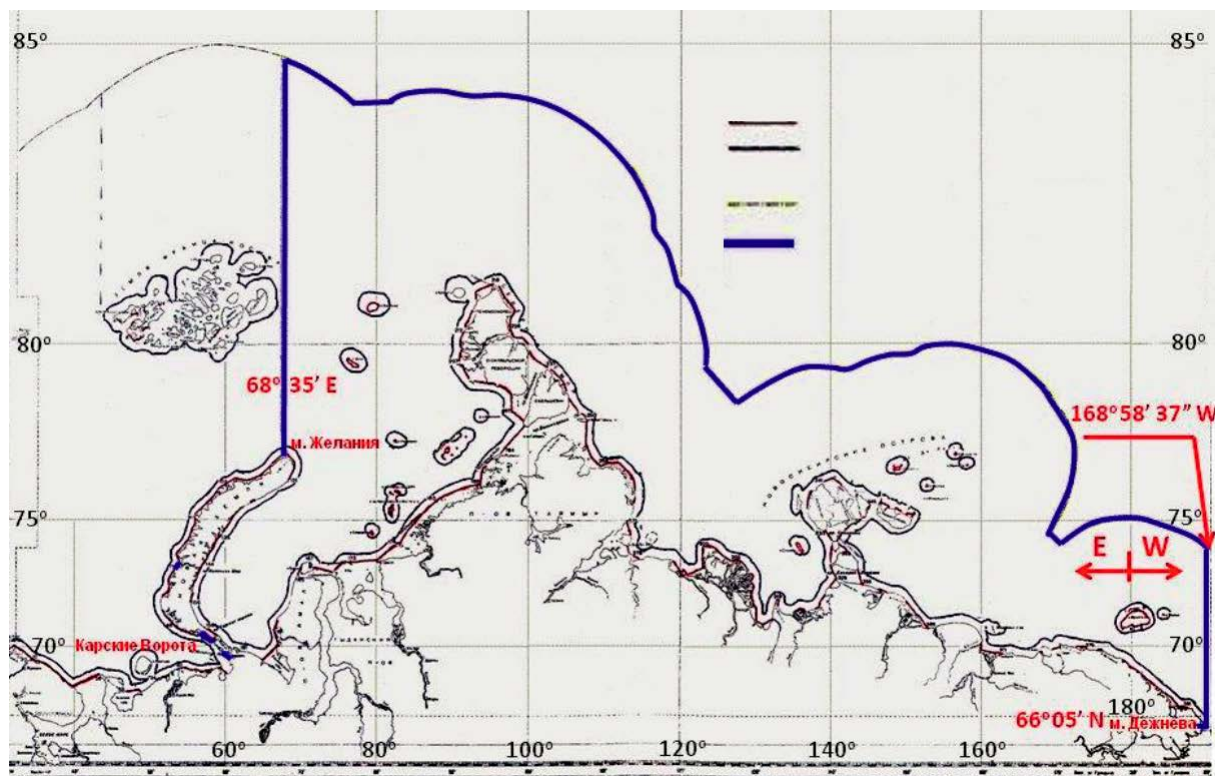


Рис. 2. Акватория Северного морского пути. Источник: Администрация Северного морского пути.

На арктической магистрали сегодня представлены четыре атомохода и атомный контейнеровоз «Севморпуть» - таким флотом не обладает ни одна страна мира. СМП обслуживает порты Арктики и крупных рек, являясь, ввиду отсутствия прямой связи с материком по автодороге или альтернативного транспорта, *единственным* логистическим решением и связующим звеном между многими северными городами и центральной частью нашей страны. Развитие приарктических российских регионов, обеспечение их безопасности без СМП не представляется возможным. На данном маршруте сосредоточены важнейшие оборонные, геополитические, экономические и экологические интересы России. К Арктическому региону проявляют интерес не только арктические государства, но и многие другие страны мира, в числе которых Китай, Япония, Индия, Южная Корея и Сингапур, ставшие в 2013 г. Странами-наблюдателями Арктического совета [3]. Согласно Основам государственной политики Российской Федерации в Арктике и Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации (далее – АЗРФ) и обеспечения национальной безопасности, использование СМП в качестве национальной единой транспортной коммуникации РФ является одним из ключевых *национальных интересов* нашей страны. В связи с этим, Российской Федерации необходим серьёзный потенциал сдерживания, способный пресечь попытки стран-конкурентов достигать своих геополитических целей в отношении данного региона силовыми методами [4].

Вопросы развития СМП и правового регулирования плавания в его акватории актуальны как в рамках интересов Российской Федерации, так и в международном контексте. ***Именно аспекту правового регулирования СМП будет посвящён данный доклад.*** Вопрос правового регулирования СМП является одним из самых значимых в проблематике научных арктических исследований и в практической деятельности российского государства и его политико-экономических отношениях, что подтверждает ***актуальность*** данного доклада.

Основным международным договором, применимым к Северному Ледовитому океану, является Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. Данная конвенция имеет стратегическое значение, т.к. устанавливает всеобъемлющий правовой режим мировых океанов и морей, регулирует все виды использования океанов и их ресурсов, а также выступает основой для национальных, региональных и международных действий и сотрудничества в морском секторе, в том числе и в Арктике. Среди иных международно-правовых актов следует обратить внимание на принятый Комитетом

безопасности мореплавания в 2015 г. и вступивший в силу в 2017 г. Международный кодекс для судов, эксплуатируемых в полярных водах [5], или Полярный кодекс.

Говоря же о российском правовом регулировании СМП, стоит, прежде всего, подчеркнуть, что оно имеет в России глубокие историко-правовые корни. Основным нормативным правовым актом РФ, в настоящий момент, является Федеральный закон от 28.07.2012 г. № 132-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути», который отразил базовые принципы российского видения правового статуса СМП и определения его границ. В данном случае речь прежде всего идет об утверждении новой редакции ст. 14 Федерального закона от 31.07.1998 г. № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» [6], которая определила СМП как *«исторически сложившуюся национальную транспортную коммуникацию РФ»* [7], навигация в акватории которой осуществляется в соответствии с общепризнанными принципами и нормами международного права, международными договорами России и положениями ее национального законодательства.

Проблему определения правового статуса СМП можно считать решённой применительно к частям СМП, проходящим через внутренние и территориальные воды РФ, т.к. на данные участки распространяется российский суверенитет, и их границы не оспариваются другими государствами мира. Поскольку данные воды являются частью территории России, наша страна имеет законное право самостоятельно устанавливать условия и правила осуществления на данном участке навигации российских и иностранных судов. Однако, если попытаться дать ответ на вопрос, идёт ли речь о возможности распространения данного режима на участки СМП, проходящие через исключительную экономическую зону (далее – ИЭЗ) России в Арктике и имеет ли Россия право регулировать судоходство по данным участкам иностранных кораблей и контролировать их навигацию, то не стоит торопиться и давать отрицательный ответ, ссылаясь на п.1 ст.58 Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. [8], т.к. при более тщательном рассмотрении данной проблемы, становится очевидно, что ситуация не является столь однозначной. Об этом свидетельствуют два фактора логистического (географического) и политико-правового характера. Как подчеркнул Л.М. Повал, нахождение плавучего транспортного средства на участках СМП, выходящих за пределы территории РФ, «невозможно без предварительного либо последующего пересечения... российских акваторий Северного Ледовитого океана, а также без ледокольно-лоцманской проводки и дедовой авиаразведки, потому регулирование пользования трассами этого пути вполне обоснованно составляет прерогативу РФ, как прибрежного к этой магистрали государства» [9]. Кроме того, как отметил А. Н. Вылегжанин, «главная географическая, климатическая и политико-правовая специфика морских районов Северно-Ледовитого океана состоит в том, что... безопасно осуществлять судоходство, рыболовство, проч. в экстремально суровых полярных районах неарктическое («нерегиональное») государство может только при согласии соответствующего прибрежного государства, при опоре на его береговую инфраструктуру и т.д.» [10]. Иными словами, целостность юридического статуса СМП и возможность контроля его со стороны Российской Федерации могут быть обоснованы логистическим единством данной транспортной артерии, а также спецификой региона, через который он прилегает, определяющей «лидирующую роль арктических прибрежных государств в определении правового режима морских районов Арктики» [10].

В научной литературе выделяют по крайней мере две категории аргументов в пользу правомерности признания СМП национальной коммуникацией России: а) ввиду исторически сложившейся практики контроля арктических шельфов со стороны России и заслуг России по его освоению; б) невозможность разделения СМП на какие-либо отдельные участки ввиду его единства как федеральной транспортной магистрали [11].

Проанализировав действующее российское законодательство, касающееся СМП, можно также сделать вывод о том, что наша страна, де-юре не распространяя свой суверенитет на всю акваторию СМП, де-факто взяла под свой полный контроль плавание по ней судов иностранных государств; причём это касается не только акваторий, в которых право такого контроля закреплено, в соответствии с действующим международным морским правом за любым прибрежным государством (внутренних вод и территориального моря), но и морских пространств, где, в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву 1982 г. и Конвенцией о тер-

риториальном море и прилежащей зоне 1958 г., должна быть обеспечена свобода судоходства (прилежащей зоны и ИЭЗ).

Именно поэтому, в качестве важнейших задач по реализации российской стратегии по развитию Арктики, в целом, и СМП, в частности, рассматривается, с одной стороны, необходимость «международно-правового оформления внешней границы континентального шельфа РФ в Северно-Ледовитом океане, недопущение пространственных потерь и ухудшения правовых условий деятельности РФ в Арктике» [12]. С другой стороны, важной задачей является совершенствование национальной «нормативно-правовой базы в сфере формирования основ государственного управления АЗРФ, законодательного закрепления её статуса... государственного регулирования судоходства по трассам СМП».

Таким образом, Северный морской путь – исторически сложившаяся национальная транспортная коммуникация Российской Федерации, в акватории которой осуществляют плавание суда под российским и иностранными флагами. В РФ плавание по СМП урегулировано в соответствии с общепризнанными принципами и нормами международного права, международными договорами РФ, Федеральным законом № 132-ФЗ и другими федеральными законами и издаваемым в соответствии с ними рядом других нормативных правовых актов. К сожалению, нельзя не отметить, что в условиях геополитической напряжённости, связанной с международной борьбой за Арктику и мирополитической ситуацией в целом, информационных войн и попыток изоляции России, темп развития инфраструктуры СМП снижается, как и интенсивность использования его трассы иностранными грузоотправителями, что, безусловно, негативно сказывается на российской экономике. В связи с этим, важно подчеркнуть необходимость дальнейшего развития регионального международного сотрудничества в Арктике и создания приарктическими государствами собственной международной нормативно-правовой базы. В общем и целом, приарктические государства и прочие акторы в рамках Арктического совета уже ведут, и с большим успехом, подобную работу в рамках Арктического совета и других форумов и организаций различного уровня, и, на мой взгляд, данным государствам стоит продолжать предпринимать усилия по углублению и расширению международного регионального сотрудничества в Арктике.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рягузова К.** Атомные ключи от Севморпути // Журнал ОСК. 2019. №1(37). С.7.
2. **Лукин Ю.Ф.** Анализ деятельности Северного морского пути // Вестник МГТУ. 2015. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-deyatelnosti-severnogo-morskogo-puti>. (дата обращения: 02.08.2020)
3. **Николаева А. Б.** Северный морской путь как коридор развития пространства Арктической зоны // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. С.19.
4. **Гольдберг О.** Северный путь развития // Морские вести России. 2015. № 15. С.13.
5. **Ходаренок М.** Битва за Арктику // Воздушно-космический рубеж. 2019. № 2(08). С. 7.
6. **Гуреев С. А., Бунник И. В.** К концепции проекта Федерального закона «О Северном морском пути» // Московский журнал международного права. 2005. № 1. С.8.
7. **Боброва Ю. В.** Северный морской путь: национальный правовой режим в меняющемся международном контексте // Аналитическая записка РСМД. 2016. № 9. С.11.
8. Конвенции ООН по морскому праву 1982 г.
9. **Повал Л.М.** Международно-правовые проблемы раздела экономических пространств Арктики // Арктика и Север. 2011. № 3. URL: <http://www.narfu.ru/upload/iblock/2cb/oguovfdvgcruvkollxzalvpg-jajivdeiccpquqn%20onpptdevohmkxv%20dvyqzfukopfjal%20ymddwmtitwlfqinmmjjyujhmd%20mjxwoxifnocockectoyyeb%20sclsnqthqocscys.pdf> (дата обращения: 29.07.2020)
10. **Вылегжанин А. Н.** Введение // Международное сотрудничество в области охраны
11. окружающей среды, сохранения и рационального управления биологическими ресурсами в Северном Ледовитом океане: материалы Международного научного симпозиума (Москва.4 сент.2012 г., РСМД). М., 2012. С. 6.
12. **Слипенчук М.** Национальный арктический транспортный коридор может стать новым геополитическим скрепом России [Электронный ресурс] // URL:https://www.korabel.ru/news/comments/mihail_slipenchuk_nacionalnyy_arkticheskiy_transportnyy(дата обращения: 31.07.2020)
13. **Плисецкий Е. Е.** Северный морской путь — ключ к развитию Арктики [Электронный ресурс] // PRO-ARCTIC.RU: информац. сайт. URL: <http://pro-arctic.ru/29/05/2015/expert/16543>(дата обращения: 23.07.2020).

Yu.E. Kuznetsova (Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg). **The ceveryn sea route of the arctic zone of the russian federation: international and national regulatory regime and regulation of the maritime in the world**

Abstract. The main role in the development of the Russian arctic transport system is dominated by the Northern Sea Route (NMP). Approaches to the determination of the legal status of the SMP have been analyzed in accordance with both Russian and international law. The conclusion is drawn that the integrity of the legal status of the CMP, as well as its control from the side of the Russian Federation, is possible, due to the logistic efficiency of the editorship It appears that there is a need for further development of international cooperation in the Arctic and the creation of a co-ordinate regulatory framework by the Arctic states.

О.В. БЕСЧАСТНОВА, Т.В. ГОВЕРДОВСКАЯ, Л.М. КРАЙНЮКОВА
(Астраханский государственный университет)

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

В современной морской индустрии ИТ-технологии становятся обязательным элементом систем управления на борту судов, в портах и терминалах. Между тем, внедрение информационных технологий и автоматизация процесса управления сопряжены со значительными рисками и угрозами кибербезопасности. Управление киберрисками невозможно осуществить исключительно технико-технологическими средствами. Необходим комплексный подход с применением адекватных политических и правовых решений, разработка общих стандартов и принятие соответствующих нормативных документов, как на национальном, так и на международном уровне.

Введение. Морской транспорт имеет ключевое значение для развития мировой экономики. В современной морской индустрии ИТ-технологии играют ключевую роль, становясь обязательным элементом систем управления на борту судов, в портах и терминалах. Между тем, внедрение информационных технологий и автоматизация процесса управления сопряжены со значительными рисками и угрозами кибербезопасности. Вопрос потенциальной защищенности и обеспечения информационной безопасности подобных систем на сегодняшний день остается открытым. Предлагаемый доклад посвящен обзору разработанных международных стандартов кибербезопасности морской отрасли, их анализу и оценке с позиций эффективности и достаточности. На основании проведенного исследования авторы приходят к выводу о наличии проблем и пробелов в правовом инструментарии. В связи с чем предложены рекомендации по разработке Международного Кодекса кибербезопасности морской отрасли.

Основной текст. Международные стандарты безопасности судоходства и портовых средств закреплены в ряде международных документов. Среди них: *Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974г. (SOLAS); Международная Конвенция ООН по морскому праву 1982г. (UNCLOS); Конвенция и Протокол о борьбе с незаконными актами, направленными против безопасности морского судоходства 1988, 2005 гг. (SUA);- Международный кодекс по управлению безопасностью 1993г. (ISM); Международный кодекс по охране судов и портовых средств (Кодекс ОСПС).* Указанные международные документы в совокупности формируют важную нормативную базу для решения одной из приоритетных задач – обеспечения безопасности морского судоходства. Несмотря на то, что ряд документов содержат общие стандарты и правила безопасности, которые благодаря «рамочной» формулировке могут быть применимы к вновь возникающим угрозам и рискам, конкретные положения, касающиеся информационной безопасности и противодействия киберугрозам, в них отсутствуют. Что диктует необходимость разработки дополнительного правового инструментария, соответствующего современным концепциям международной безопасности.

На сегодняшний день на международном уровне отсутствуют юридически обязательные нормативно-правовые положения в сфере кибербезопасности морской отрасли. Вместе с тем, Международная морская организация (ИМО), являясь универсальной площадкой для обсуждения широкого круга вопросов в области функционирования и развития морской индустрии, с 2017г. реализует политику, направленную на улучшение методов управления безопасностью и рисками и адаптацию существующих правовых, нормативных и регулирующих рамок. ИМО разработала и приняла ряд нормативных документов в этой сфере:

- *Руководство по управлению киберрисками в морской отрасли (Guidelines On Maritime Cyber Risk Management) MSC-FAL.1/Circ.3 от 5 июля 2017 [1]*

- *Резолюция MSC.428(98) Комитета по безопасности на море ИМО «Управление кибернетическими рисками в системах управления безопасностью» MSC 98/23/Add.1 от 30 июля 2017[2]*

Так, *Руководство ИМО по управлению киберрисками в морской отрасли* содержит одобренные на высоком уровне принципы и рекомендации в сфере обеспечения безопасности и за-

щиты международного судоходства от существующих и возникающих угроз кибербезопасности и снижения соответствующих факторов уязвимости. Руководство определяет «морские киберугрозы как риски технологическому ресурсу со стороны потенциальных обстоятельств или событий, которые могут привести к сбоям в перевозке грузов и пассажиров, безопасности мореплавания или безопасности судна, в связи с повреждением, утратой или компрометацией связанных с судоходством информации или систем» (п.1.1). В п. 2.1 приведен перечень судовых систем (не исчерпывающий), которые потенциально могут быть подвержены кибератакам. В целом, Руководство рекомендует подход к управлению киберрисками, основанный на уже существующих стандартах безопасности посредством естественного расширения применяемых практик и методов управления безопасностью судна и мореплавания (п. 2.1.8). В руководстве содержится пять функциональных элементов эффективного управления рисками в морской отрасли, включая **определение, защиту, обнаружение, реагирование и восстановление (п. 3.5)**. Для успешной реализации обозначенных элементов, Руководство отмечает необходимость их включения во всех аспектах деятельности судоходных компаний и управления персоналом.

Комитет ИМО по безопасности на море в своей *Резолюции 428(98) «об управлении киберрисками в рамках систем управления безопасностью»* настоятельно рекомендует администрациям судовой отрасли обеспечить учет киберрисков в существующих системах безопасности, не позднее, чем к моменту первой ежегодной верификации Документа о соответствии компании после 1 января 2021 года. Стоит отметить, что это первый обязательный срок, установленный в отношении практической реализации требований кибербезопасности морской отрасли. В преамбуле Резолюции отмечена срочная необходимость повышения «осведомленности» об угрозах и уязвимостях кибербезопасности. Резолюция отсылает к Международному кодексу управления безопасностью (ISM), отмечая при этом, что реализуемая система управления безопасностью должна учитывать управление киберрисками в соответствии с целями и функциональными требованиями Кодекса ISM.

Судоходная отрасль предпринимает активные усилия по внедрению соответствующих правил и практических руководств с целью интеграции управления киберрисками в существующую культуру обеспечения безопасности.

В 2016г. Ассоциация BIMCO (Балтийский и международный морской совет) совместно с отраслевыми компаниями разработала и опубликовала *Руководство по кибербезопасности на борту судов (The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships Version 3)* [3]. Эксперты компаний проанализировали потенциальные кибер-уязвимости для судов и их возможные последствия. Первоначально Руководство разрабатывалось как попытка систематизации и анализа наиболее полной информации об угрозах информационной безопасности морского судоходства. В 2017г. опубликовано второе издание Руководства, которое основывается на первой версии, но охватывает более широкий круг вопросов. Так, Второе издание включает практические указания по управлению киберрисками на море, а также подробную информацию по страховым вопросам, включая страховое покрытие после кибератак. В 2018г. опубликована пересмотренная третья версия «Руководства по кибербезопасности на борту судов». В документе содержатся рекомендации для судовладельцев и операторов о том, как оценивать уязвимости бортовых информационных систем и разрабатывать процедуры для повышения устойчивости киберрискам. Руководство BIMCO подлежит регулярному обновлению, чтобы отражать эволюцию угроз кибербезопасности и наметить новые меры по снижению противодействия кибернетическим рискам.

Таким образом, на основе анализа регулирующих положений и нормативной базы в сфере обеспечения кибербезопасности морской отрасли, можно сделать вывод о недостаточности и фрагментарном характере существующих на сегодняшний день правовых источников. Безусловно, проблема обеспечения информационной безопасности морского судоходства получает признание и закрепление на международном уровне, принимаются отдельные меры, разрабатываются стандарты и принципы. Между тем, отсутствует единый, системный и комплексный подход, унификация и стандартизация требований и правил.

В качестве рекомендаций и возможных перспектив развития представляется необходимым предложение по разработке Международного Кодекса кибербезопасности морской отрасли, что позволит создать единые стандарты кибербезопасности и обеспечит эффективный и целостный процесс управления морскими киберрисками. Кодекс позволит объединить многочисленные правила в едином контрольном документе, что значительно облегчит процесс пересмотра и об-

новления стандартов кибербезопасности, проверки соответствия и соблюдения установленных правил, практику правоприменения. План разработки Кодекса включает три этапа. Представляется, что первые два этапа уже пройдены. Так, первый этап включает формулировку проблемы: в 2014 г. ИМО выносит проблему киберрисков на публичное обсуждение Комитета по безопасности с целью повышения уровня осведомленности всех заинтересованных сторон. Вторым этапом – переговоров, реализован в процессе разработки и принятия Руководства по управлению киберрисками в морской отрасли. Несмотря на ключевое значение данного документа, стоит отметить, что это типовое рамочное соглашение, которое носит рекомендательный характер и не содержит юридически обязательных стандартов обеспечения кибербезопасности морской отрасли. Таким образом, очевидна необходимость реализации третьего этапа – разработки и принятия базового соглашения универсального характера, содержащего детальный набор юридически обязательных руководств по кибербезопасности. Для успешной реализации необходимо сотрудничество государств, правительств, представителей судоходной отрасли и других заинтересованных сторон, согласование общей стратегии и создание специализированной рабочей группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по управлению киберрисками в морской отрасли/ GUIDELINES ON MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT (MSC-FAL.1/Circ.3) от 5 июля 2017г. Международная морская организация: [сайт].- URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide_to_Maritime_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3\(Secretariat\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide_to_Maritime_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3(Secretariat).pdf) (дата обращения: 12.07.2020)
2. Резолюция MSC.428(98) Комитета по безопасности на море ИМО «Управление кибернетическими рисками в системах управления безопасностью» MSC 98/23/Add.1 от 30 июля 2017/ RESOLUTION MSC.428(98) (adopted on 16 June 2017) MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS Международная морская организация: [сайт].- URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Security/WestAfrica/Documents/Resolution%20MSC.428\(98\)%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20in%20Safety%20Management%20Systems.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Security/WestAfrica/Documents/Resolution%20MSC.428(98)%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20in%20Safety%20Management%20Systems.pdf) (дата обращения: 10.07.2020)
3. Руководство по кибербезопасности на борту судов (BIMCO, Международная ассоциация круизных линий (Cruise Lines International Association (CLIA), Международная палата судоходства (International Chamber of Shipping (ICS), Intercargo, Intertanko / THE GUIDELINES ON CYBER SECURITY ONBOARD SHIPS Version 3) Международная палата судоходства: [сайт].- URL: <https://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/safety-security-and-operations/guidelines-on-cyber-security-onboard-ships.pdf?sfvrsn=16> (дата обращения: 15.07.2020)

O.V. Beschastnova, T.V. Goverdovskaya, L.M. Kraynyukova (FSBEI HE "Astrakhan State University", Astrakhan)
International standards for ensuring cyber security in the marine industry

Abstract. In the modern maritime industry, IT technologies are becoming an indispensable element of control systems on board ships, in ports and terminals. Meanwhile, the introduction of information technology and the automation of the management process are associated with significant risks and threats to cybersecurity. Cyber risk management cannot be carried out solely by technical and technological means. An integrated approach is needed with the use of adequate political and legal decisions, the development of common standards and the adoption of appropriate regulatory documents, both at the national and international levels.

Е. А. КОРОЛЕВА, А. М. СУХАРЕВА
(Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации)

ОСОБЕННОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЗА ВНУТРЕННИМ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ С ПОЗИЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРАВА

В докладе рассмотрены основные положения государственного контроля за внутренним водным транспортом (в частности, маломерными судами). Выделен ряд правовых вопросов, включая налогообложение отдельных видов маломерных судов, которым дана оценка с позиции экономического анализа права.

Введение. У внутреннего водного транспорта есть отличительные преимущества перед остальными видами транспорта. К таким преимуществам можно отнести более низкую по сравнению с остальными видами перевозок себестоимость и высокий уровень безопасности. Для кого-то немаловажным фактором является экологичность водного транспорта. Это все делает внутренний водный транспорт одним из ведущих элементов транспортной системы Российской Федерации. В данном докладе сфокусируемся более детально на маломерных судах, правовом способе контроля их деятельности, а также дадим небольшую оценку этих вопросов с точки зрения относительно нового явления в юриспруденции – экономического анализа права.

Экономический анализ права в рамках государственного контроля за маломерными судами. Институт надзора (контроля) за внутренним водным транспортом регламентирован Кодексом внутреннего водного транспорта Российской Федерации (7.03.2001 года) (далее Кодекс), а именно статьей 4.1 данного Кодекса. На сегодняшний день Федеральная служба по надзору в сфере транспорта (далее Ространснадзор) — это основной субъект, занимающийся осуществлением надзора за внутренним водным транспортом. Правовой статус данного исполнительного органа власти закреплен Постановлением Правительства Российской Федерации «Вопросы Федеральной службы по надзору в сфере транспорта» (7.04.2004 г. № 184). Однако стоит отметить, что закрепление за данной федеральной Службой специальных контрольных и надзорных полномочий произошло тремя месяцами позднее, после принятия Правительством Российской Федерации Постановления «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере транспорта» (30.07.2004 года № 398). Таким образом, именно Постановлением №398 было окончательно установлено, что Ространснадзор является главным исполнительным органом власти на федеральном уровне, который выполняет функции по надзору в сфере внутреннего водного транспорта.

Кроме этого, в статье 4.1 Кодекса закреплена необходимость принятия специального нормативного правового акта, который бы регламентировал порядок осуществления государственного транспортного надзора на федеральном уровне. Согласно все той же статье 4.1 Кодекса данный нормативный правовой акт должен быть принят Правительством Российской Федерации, к сожалению, на сегодняшний день правовой акт до сих пор не принят. Таким образом, мы можем констатировать, что в данной сфере образовался некий правовой пробел. Чтобы разрешить данную ситуацию Ространснадзор в 2010 году издал свой Приказ (№ АК-692фс). Этим Приказом был утвержден Административный регламент. Особую роль в нашем вопросе данный Регламент имеет, потому что среди различных вопросов, он регламентирует порядок проведения проверок при осуществлении государственного надзора за соблюдением законодательства России о внутреннем водном транспорте. В данном Регламенте установлены перечень, а также последовательность необходимых административных процедур и сроки их проведения при проверке при осуществлении государственного надзора за лицами, которые осуществляют транспортировку грузов и людей по внутренним водным путям России.

На сегодняшний день в России по данным Ассоциации владельцев пассажирских судов Санкт-Петербурга государственную регистрацию прошли более полутора миллионов маломерных судов, и их число ежегодно растет. Контроль за ними осуществляет Государственная инспекция по маломерным судам Министерства чрезвычайных ситуаций России. Указанная инспекция следит за обеспечением безопасности на воде. В их ведении классификация и государственная регистрация маломерных судов, ведение реестра, аттестация судоводителей, а также спасение людей на водных объектах.

Как любой вид правового регулирования, система надзора (контроля) за внутренним водным транспортом, сталкивается порой с абсурдностью применения правовых норм. Отдельно следует отметить правовой вопрос маломерных судов, особенно актуальный для Санкт-Петербурга. Примером может служить требование (которое в настоящий момент не действует) некогда обязывающее лицо к постановке на государственный учет судна с любым установленным двигателем невзирая на его мощность, которое привело к абсурдной ситуации на практике. Государственная инспекция по маломерным судам постановило зарегистрировать резиновую лодку, хозяин которой использовал в качестве движителя аккумуляторную электродрель; учитывая, что по нормам, действующим тогда, для управления маломерным судном с двигателем менее пяти лошадиных сил удостоверение на право управления вообще не требовалось. Здравый смысл здесь найти сложно, однако все подчинено букве закона. Суть в том, что современная юриспруденция в большей своей части трактуется с позиции позитивизма: закон суров, но это закон [1]. Однако постепенно высказываются несмелые мысли о возможности альтернативного подхода к нормам права: рационального. Рациональный подход видит своей конечной целью эффективность конкретной нормы права, а также правовой системы в целом. Такое видение становится возможным при сочетании таких областей, как экономика и право. Эти отрасли давно идут бок и бок. Влияние права на экономику можно проследить по историческим моментам, например, несколько проигранных сражений хорошо оснащенного английского флота в Столетней войне, из-за предписаний английского военно-морского устава того времени нападать с наветренной стороны, из-за чего терялась дальность стрельбы [2].

В настоящее время экономика начинает проникать в исконно правовые области и существенно изменять их. Это направление получило свое название – экономический анализ права. Не имея четкого начала (некоторые рассуждения 17 века могут считаться исследованиями в этой области), экономический анализ права расцвел во время шлифовки антимонопольного законодательства США. В Российском юридическом мире на данный момент нет единого мнения по поводу нового подхода. Существующие исследования бессистемны, а факты разрознены. Однако имеющиеся разработки позволяют говорить о перспективности подхода [3].

Строго говоря, многие правовые доктрины основываются на интуитивных поисках эффективности. С точки зрения экономического анализа права можно говорить о подготовленном изменении в законе «О безопасности судоходства маломерных судов». В настоящее время необходимо регистрировать маломерное судно весом более 200 кг, при этом способ расчета массы не регламентирован законодателем, что вызывает множество вопросов владельцев. В предлагаемом проекте содержатся более точные критерии: не нужно регистрировать маломерные суда с длиной корпуса менее 5,5 метров и установленным двигателем менее 15 кВт. Однозначные требования упрощают выполнение норм для граждан, не несут путаницы и приводят к увеличению объема правомерного поведения, следовательно, к эффективности.

Экономический анализ права хорошо зарекомендовал себя в таких экономических отраслях права, как: антимонопольное регулирование, налоговое право, коммунальное хозяйство. В существующем налоговом регулировании маломерных судов присутствует ряд минусов. Одна из основных проблем налогообложения маломерных судов – большая разница ставки в зависимости от мощности мотора. В Санкт-Петербурге ставка налога для гидроциклов (достаточно популярный вид досуга в последнее время) на 2019 год составляет 250 рублей с лошадиной силы до 100 л.с., и 500 рублей с лошадиной силы для моторов мощностью более 100 л.с. В настоящее время, наиболее распространены гидроциклы с мощностью порядка 150 сил, следовательно, владелец должен заплатить 75 000 руб. за год использования (при этом необходимо учитывать, что период навигации для Санкт-Петербурга – 4-5 месяцев). Согласно Кодексу об административных правонарушениях России (п.3 ст.11.8), наказание за управлением незарегистрированным гидроциклом, представляет собой штраф в размере от 15 000 руб. до 20 000 руб. В этом случае многим владельцам проще будет заплатить штраф, чем регистрировать судно, что не эффективно для налоговой системы. Это классическая ситуация для экономического анализа права, когда субъект сравнивает вероятность наступления наказания и цену правомерного поведения [4]. В этом случае необходимо изменять систему налогообложения, что бы платить налог было выгоднее, чем ожидать санкции (снижение налоговой ставки, ужесточение наказания).

Заключение. Таким образом, экономический анализ права особенно хорошо зарекомендовал себя в «экономических отраслях» права, однако и в других областях обладает потенциалом для дальнейшего развития методологического аппарата и использования на практике, включая вопросы надзора за внутренним водным транспортом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамбовцев В. Л. Что выбираем: юридический позитивизм или экономический империализм? // Новая юстиция. Журнал судебных precedентов. - М., 2009, № 3 (4). - С. 30;
2. Шмаков А.В. Экономический анализ права : учеб. пособие. М. : Магистр : ИНФРА-М, 2011. – 320 с.
3. Сеницын С. А. Экономический анализ права и его место в цивилистической методологии // Право. Журнал Высшей школы экономики. 2017. № 2. С. 7;
4. Сморгун В.Л. Теория рационального выбора и сравнительная политология // Рациональный выбор в политике и управлении / Под ред. В.Л. Сморгунова. СПб., 1998. С. 3-35;

A.M. Sukhareva, E.A. Koroleva (Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg). **Features of state control of inland water by transport from the position of economic analysis of law**

Abstract. The report examines the main provisions of state control over inland water transport (in particular, small size vessels). A number of legal issues are highlighted, including taxation of certain types of small boats, which are assessed from the standpoint of economic analysis of law.

Ю.В. ДОРОВСКАЯ, Д.А. МОХОРОВ, В.В. ГОГОЛЕВА
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ КОРРУПЦИИ И ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МОРСКОЙ ДОКТРИНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

В настоящей статье анализируется на практическом примере реализация положений основополагающих документов в области морской деятельности Российской Федерации. Выделены проблемные аспекты, носящие признаки коррупционных, связанные с осуществлением государственно-частного партнерства при организации морских пассажирских перевозок – круизный туризм. Установлены направления правового регулирования, требующие дальнейшего совершенствования для исключения установленных проявлений коррупции при последующей реализации целей и задач, предусмотренных доктриной и последующими стратегиями для ее исполнения.

Основополагающим документом, определяющим государственную политику России в области морской деятельности - национальную морскую политику России является Морская доктрина Российской Федерации. В Морской доктрине указывается «строительство конкурентоспособных судов морского транспорта, ... "модернизация и развитие прибрежно-портовой инфраструктуры, развитие внутричерноморских паромных перевозок». Особо оговаривается транспортная доступность Крыма, развитие паромных линий в направлении Краснодарский край – Крым, строительство конкурентоспособных судов морского транспорта, обновление смешанного (река-море) плавания судов, модернизация и развитие прибрежно-портовой инфраструктуры, развитие внутричерноморских паромных перевозок [1].

В развитие Морской доктрины Российской Федерации принят ряд документов стратегического характера. Стратегия развития морской деятельности до 2030 г., которая фактически является новой редакцией одноименного документа с горизонтом планирования до текущего 2020 г. Стратегия направлена на обеспечение национальных интересов Российской Федерации в Мировом океане, формирование и реализацию эффективной социально-экономической политики Российской Федерации в области морской деятельности. Этими документами установлено, что основными приоритетами развития морской деятельности Российской Федерации на долгосрочный период являются в числе прочего развитие морского транспорта Российской Федерации на уровне, гарантирующем транспортную независимость и экономическую безопасность государства [2].

Базовые принципы правового регулирования государственно-частного партнерства сформулированы в федеральном законе «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [3], принятом, как и Морская доктрина Российской Федерации в 2015 г., которым предусматриваются такие объекты соглашений как суда (морские, речные, воздушные).

В Стратегии развития туризма горизонтом планирования до 2020 г. упоминается перспектива для Южного федерального округа «подключение портов Азово-Черноморского бассейна к средиземноморским круизным маршрутом, а Стратегией развития туризма Российской Федерации до 2035 дается определение множества туристских продуктов, в том числе приводятся определение «круизного туризма» - «путешествие на круизном судне по обозначенному маршруту в культурно-познавательных, досугово-рекреационных, оздоровительных, профессионально-деловых и других целях» [4].

Коррупция - явление многогранное. Понятие «коррупции», «коррупционного правонарушения» и сферы их проявления, противодействие коррупции авторами рассматривалась в статьях и в монографии, посвященной этой теме [5, 6]. В данной статье мы будем исходить из формализованного определения «коррупции» и ее проявлений, закрепленных в федеральном законе «О противодействии коррупции» [7].

Специализированным органом, осуществляющим функции государственного надзора в сфере транспорта, является Федеральная служба по надзору в сфере транспорта «Ространснадзор»

Министерства транспорта Российской Федерации, применительно к водному транспорту – Управления государственного морского и речного надзора - Официальное сокращенное наименование – Госморречнадзор, структурного подразделения центрального аппарата Федеральной службы по надзору в сфере транспорта (Ространснадзор). Следует отметить, что морские перевозки относятся к лицензируемой сфере.

Целью настоящей статьи является показать на примере проблемные аспекты, связанные с осуществлением государственно-частного партнерства, касающегося морских пассажирских перевозок, связанных с круизным туризмом, приводящем как к нарушению безопасности морских перевозок, обману потребителей туристских услуг, убыточным проектам для государства с репутационными потерями, для исключения установленных проблем при последующем исполнении Доктрины и стратегий горизонтами планирования до 2035 г.

Президентом Российской Федерации В.В. Путиным было дано Поручение № Пр-1970 ГС от 13.10.2016 г. об организации регулярного морского сообщения, морских круизов между Сочи и городами, расположенными на территории Крымского полуострова, начиная с курортного сезона 2017 г. Ответственным за исполнение данного поручения был назначен Председатель Правительства Д.А. Медведев. Во исполнение этого поручения Дмитрий Медведев дал указания, а именно (резолуция от 26 октября 2016 года №ДМ-П9-6411), где Минтрансу России (М.Ю. Соколову), Минэкономразвития России (А.В. Улюкаеву), главе администрации (губернатору) Краснодарского края В.И. Кондратьеву, главе Республики Крым С.В. Аксёнову и врио губернатора города Севастополя Д.В. Овсянникову были даны указания – «решить вопрос об организации регулярного морского сообщения, морских круизов, ... между Сочи и городами, расположенными на территории Крымского полуострова. Срок был поставлен до 01 февраля 2017 г. Представляется, что гарантом исполнения этого поручения выступил Президент РФ.

В рамках исполнения поручения было закуплено очень старое судно (пассажирско-автомобильное), постройки 1971 года, списанное, которое было приобретено у израильского бизнесмена и покрашенное в Турции в синий цвет, на борту судна просматривалось его старое название на иврите, а сверху краской написано «Князь Владимир». Оценочное суждение «старое» подтверждается не только годом постройки, характеристикой «списанное», но и изучением соответствующих специализированных материалов [8].

Стратегия развития морской деятельности прямо указывает в качестве основной проблемы развития морской деятельности Российской Федерации в качестве стратегической цели «удовлетворение потребностей государства и бизнеса в современной продукции отечественного судостроения, кораблестроения» и в качестве стратегической задачи ставит «увеличение производства отечественной промышленностью конкурентоспособных судов гражданского назначения...». Ответственный исполнитель – Минпромторг России. Результатом реализации стратегии должно стать «создание благоприятной организационной и экономической среды, способствующей развитию и поддержанию судового состава ..., которые обеспечат сокращение транспортных издержек, увеличение доли судов, плавающих под Государственным флагом Российской Федерации в объеме..., каботажных и транзитных ... пассажирских перевозок до уровня, гарантирующего транспортную морскую независимость и экономическую безопасность государства. В области судостроения в качестве цели поставлено «обеспечение потребности государства и предпринимательского сообщества в современной продукции ..., судостроения, гражданской морской техники и судоремонта» на отечественных предприятиях, оснащенных оборудованием и комплектующими преимущественно произведенных в России [2].

Еще один вопрос, который возникает к реализации этого проекта, - переименование приобретенного судна. На момент приобретения теплохода уже несколько лет шло строительство подводной лодки проекта «Борей-А», официальная церемония закладки которой состоялась 30 июля 2012 г. под названием «Князь Владимир», на которой присутствовал президент Российской Федерации В.В. Путин. В 2017 году в Северодвинске эта подводная лодка была спущена на воду, а 28 мая 2020 г. включена в состав Военно-Морского Флота России. Информация о строительстве этой подводной лодки и передаче ее ВМФ России носит открытый характер, освещалась в прессе и на телевидении. Учитывая, что в г. Новороссийск находится самая большая база подводных лодок, возможно, в один день могут оказаться в порту Новороссийска этот теплоход (ныне «лайнер»), закупленный по поручению Президента постройки 1971 года и суперсовременная подводная лодка.

Следующий юридически и практически проблемный аспект – это мореходные качества судна, определяющие его возможности исполнить обязательства по пассажирским перевозкам по соответствующему маршруту. Согласно сведениям из ЕГРЮЛ (единого государственного реестра юридических лиц) в начале 2017 г. федеральное государственное унитарное предприятие «Росморпорт» (ФГУП «Росморпорт») учредил ООО «Черноморские круизы» (размер доли 100%) в качестве его оператора [9]. Основной вид деятельности по ОКВЭД – деятельность морского пассажирского транспорта, т.е. на судно в полной мере распространяется Кодекс торгового мореплавания РФ. Большое количество рейсов за 2017-2020 гг. совершено не было, что было связано как с метеоусловиями (судно в его техническом состоянии, как видно из анализа состоявшихся и несостоявшихся рейсов не рассчитано на шторма, существующие в регионе его плавания, а также с ремонтными работами вследствие возгораний на судне непосредственно перед началом сезона. В настоящее время круизы также отменены, так как по состоянию на август 2020 г. единственный в России круизный лайнер «Князь Владимир» не получил санитарного свидетельства, которое должен выдать Роспотребнадзор.

В морском праве исполнения обязательств, связанными с обстоятельствами непреодолимой силы (погодные условия в данном случае) решен особым образом. К обстоятельствам непреодолимой силы (форс-мажору) не могут быть отнесены предпринимательские риски. Морские круизы (перевозки) всегда зависят от метеорологических условий. Занимаясь организацией круизов, которое в значительной степени зависит от погодных условий, предприниматели сознательно принимают на себя риски наступления негативных последствий. При осуществлении морских перевозок обстоятельства непреодолимой силы не освобождают от осуществления денежных компенсации. Все описанные ситуации – это выписка из ст. 185 КТМ РФ (пассажирская морская перевозка – это часть туристского продукта).

В качестве иллюстрации противоположной ситуации приведем пример речного круиза Влтава-Эльба из Праги, осуществляемой немецкой компанией «Нико Турс» от октября 2015 г. В этот года река Влтава пересохла, компания не смогла предоставить туристский продукт и вернула всю сумму бронирования (хотя опция бронирования – «ваучер» на этот же год или позднее была предложена, но выбор в этой сделке оставался за потребителем – воля и волеизъявление сторон не искажались).

Здесь встает третий вопрос: почему возможен возврат денежных средств из Германии немецкой туристической фирмой за неисполненные обязательства, а в Российской Федерации возникают проблемные ситуации, и чаще всего возврата денежных средств не будет? Это связано со страхованием. Так, в случае с речным круизом по территории Чехии и Германии, возврат денежных средств был осуществлен из страхового денежного фонда. В случае с теплоходом «Князь Владимир» по состоянию на 2018 г. страховое обеспечение (500 тыс руб.) было связано только с неожиданной ликвидацией фирмы, т.е. исполнение обязательств по туристскому продукту осуществлялось без надлежащего страхового обеспечения [9,10].

Четвертый вопрос, который возникает это непрозрачная схема реализации туристского продукта [9,11].

Следует отметить, что эмпирической базой исследования практического реализации проекта явилось обращение одного из авторов статьи в Правительство РФ (Д.А. Медведеву). Письма по реализации этого проекта были направлено в приемную четыре раза. Только после этого теплоход был снят на несколько месяцев на ремонт (2018 г.)

Для реализации целей и задач, предусмотренных доктриной и последующими стратегиями для ее исполнения, следует усилить контроль за осуществляемыми закупками с точки зрения применения закона о противодействии коррупции (пп. а и б ч. 1 ст. 1) [7], выработать критерии эффективного собственника применительно к государственно-частному партнерству с точки зрения общественного блага, так как не всегда высокие денежные затраты на проект могут свидетельствовать о неуспешности проекта, обеспечить прозрачность механизмов работы по гражданско-правовым договорам при реализации туристского продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина Российской Федерации (утв. Президентом РФ 26.07.2015) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_208427 (дата обращения: 04.08.2020)

2. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/37755> (дата обращения: 05.08.2020)
3. Федеральный закон от 13.07.2015 г. № 224-ФЗ О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39948> (дата обращения: 05.08.2020)
4. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2020 года; Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru> (дата обращения: 05.08.2020)
5. Доровская Ю.В. Некоторые международные и национальные аспекты юридического понятия «коррупция», «коррупционное правонарушение» и сферы их проявления. Актуальные проблемы науки и практики. 2015. № 1 (001). С. 18-27.
6. Косарев С. Ю., Мохоров Д. А. Правовое регулирование противодействия коррупции: монография. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 322 с.
7. Федеральный закон от 25.12.2008 г. № 273-ФЗ О противодействии коррупции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/28623> (дата обращения 05.08.2020)
8. Материалы международной конференции «ShippingRu 2017» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/suda_smeshannogo_rekaore_i_vnutrennego_plavaniya_rol_staryh_seriya_sudov_i_ih_perspektivy_-_doklad_na_konferencii_shippingru_2017.html (дата обращения 07.08.2020)
9. Дело № 2-12/2018-154 // Архив Петроградского районного суда г. Санкт-Петербурга.
10. Доровская Ю.В. К вопросу справедливости в праве как основе общественной жизни на основании Конституции РФ и на примере взаимодействия гражданина с судебной системой / Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, 19-24 ноября 2018 г. Гуманитарный институт. Ч.2 – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 41-44.
11. Доровская Ю.В. К вопросу реализации конституционного права на отдых: учет необходимого баланса интересов государства и человека Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Проблемы права в современной России" (к 120-летию Политехнического университета Петра Великого), 24-27 апреля 2019 г.

Yu.V. Dorovskaya, D.A. Mokhorov, V. V. Gogoleva (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University). **Anti-corruption and state control in the implementation of the maritime doctrine of the russian federation on the example of public-private partnership**

Abstract. This article analyzes on a practical example the implementation of the provisions of the fundamental documents in the field of maritime activities of the Russian Federation. The problematic aspects, bearing signs of corruption, associated with the implementation of public-private partnerships in the organization of sea passenger transportation - cruise tourism, are highlighted. The directions of legal regulation have been established that require further improvement in order to exclude the established manifestations of corruption in the subsequent implementation of the goals and objectives provided for by the doctrine and subsequent strategies for its implementation.

В.П.ДЕМИДОВ, Е.ДОЛЖЕНКОВА, Д.А.МОХОРОВ, А.Ю.МОХОРОВА
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АРКТИКЕ

В статье рассматриваются вопросы морской безопасности в Арктическом регионе как важнейшего элемента национальной безопасности. Целью исследования является изучение международных и национальных правовых основ обеспечения морской безопасности в Арктике. Для достижения указанной цели были использованы аналитические методы: проводился анализ действующих нормативно-правовых актов, регулирующих вопросы управления контроля и надзора в сфере обеспечения морской безопасности, и их сравнение; оценивались меры по совершенствованию законодательной базы с целью создания основ обеспечения безопасного плавания судов в Арктической зоне Российской Федерации. Дано определение понятия морская безопасность, рассмотрены концепции соотношения данного понятия со сходными терминами. Проанализированы особенности обеспечения морской безопасности в Арктике.

Введение. Российская Федерация является ведущей морской державой, в том числе владеющей значительными морскими территориями в Арктике. Через ее просторы пролегает Северный морской путь, который является главной и крайне важной судоходной магистралью в российской арктической зоне, обеспечивающей ее жизнедеятельность. Одной из важных целей государственной политики России является превращение Северного морского пути в конкурентоспособную транспортную систему, развивающуюся на основе требований современности с учетом новейших достижений в технической сфере и сфере инновационных технологий. Достижение указанной цели возможно в случае создания развитой нормативной базы, регулирующей экономическую, в том числе транспортную, деятельность хозяйствующих субъектов и обеспечивающей безопасность мореплавания по данной магистрали. На сегодняшний день вопрос правового регулирования и морской безопасности в Арктической зоне не является окончательно разрешенным и является предметом широких обсуждений.

Основная часть. Целью исследования является изучение международных и национальных правовых основ обеспечения морской безопасности в Арктике. Для достижения данной цели были установлены следующие задачи: дать определение понятию морская безопасность; проанализировать нормативные акты, регулирующие вопросы обеспечения морской безопасности в Арктике; предложить направления совершенствования правового регулирования в указанной сфере.

В соответствии с действующим законодательством, легального определения понятия «морская безопасность» не разработано, хотя существует достаточно широкий массив нормативных актов, рассматривающих вопросы безопасности на морском транспорте, безопасности судоходства и иные, однако не определяющих сущности данных понятий, а в базовых отраслевых правовых документах, регулирующих административную и хозяйственную деятельность субъектов на море [1, 2] такой термин не закреплён. Более того, в Федеральном законе Российской Федерации № 390 «О безопасности» от 2010 г. отсутствует определение понятия «безопасность».

На международном нормативном уровне закреплено такое понятие как «безопасность мореплавания», но определения его также не содержится, а только перечисляются основные средства и меры, предпринимаемые каждым государством в целях обеспечения безопасности мореплавания [3, п. 3 ст. 94].

В Полярном кодексе «безопасность мореплавания» включает в себя ряд действий, которые надлежит предпринять судам [4].

В соответствии с этим, в доктрине выделяются различные подходы к данному определению. Так, ряд зарубежных авторов рассматривает понятие морской безопасности как новое слово в международных отношениях и международном праве, как ответ на новые вызовы, призывающий задуматься над их решением [5]. Такие вызовы связываются с межгосударственной напряженностью в отдельных регионах: Арктика, Южно-Китайское море или Восточно-Китайское море, что приводит к повышенному вниманию к водным пространствам и обеспечению их безопасности [6,7,8]. Как результат исследований предлагаются различные концепции морской безопасности, включающие разнообразные элементы [5, 9,10].

В теории морского права Российской Федерации ряд ученых указывает на необходимость разграничения таких понятий как «морская безопасность» и «безопасность мореплавания». Если рассмотреть действующее законодательство, то можно прийти к выводу о том, что безопасность мореплавания представляет собой состояние защищенности всей морской хозяйственной деятельности. Сто касается морской безопасности – то она представляет собой «состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от угроз и негативных воздействий, связанных с морским судоходством, состояние защищенности объектов морской транспортной инфраструктуры и морских судов от актов незаконного вмешательства, в том числе террористической и пиратской» [11, с.21].

Таким образом, с учетом анализа действующих национальных нормативных актов по морскому и внутреннему водному праву и точки зрения специалистов в данной области, можно сделать вывод о том, что понятийный аппарат словосочетания «морская безопасность» в Российской Федерации включает в себя: безопасность торгового (ст. 2 КТМ РФ) мореплавания в целом, безопасность морского судоходства, безопасность судоходства на внутренних водных путях (ст. 3 КВВТ РФ), защиту человеческой жизни, поиск и спасание на море (и реке), защиту и сохранение водной среды [12].

В связи с тем, что такой вывод основан на толковании норма права различными исследователями, не является официальным, необходимо внесение изменений в действующее законодательство с целью детального урегулирования вопросов, связанных с морской безопасностью.

Проблемы обеспечения безопасности в Арктике также носят насущный характер, что связано с недостаточно четким урегулированием ее правового статуса и споров о делимитации морских пространств. Вопросам определения правового положения Арктики и отдельных ее элементов уделяется значительное внимание в литературе [13, 14], так же нельзя не отметить, что нормативные акты приняты и на международном уровне (например, Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС), Кодекс для судов полярного плавания (Полярный кодекс), и на межгосударственном уровне (например, страны Арктического совета принимают соглашения о сотрудничестве в авиационном и морском поиске и спасении в Арктике, о сотрудничестве в сфере готовности и реагирования на загрязнение моря нефтью в Арктике, согласно которому государства берут на себя ответственность по взаимодействию в борьбе с нефтяными разливами в акватории Арктики и т.п.). Вступили в силу и национальные законодательные акты Российской Федерации по отдельным вопросам деятельности в акватории Северного морского пути.

Комплексный подход к указанному вопросу даст возможность обеспечить достаточный уровень безопасности мореплавания и защиты морской среды в акватории Северного морского пути. Но на сегодняшний день состояние эффективности правового регулирования в области безопасности мореплавания в полярных водах находится на начальном этапе своего формирования и нуждается в дальнейшем совершенствовании. Разработанный и принятый государствами Полярный кодекс несомненно является знаковым событием, важным шагом к регламентации требований, касающихся безопасности в полярных водах. Однако несмотря на всю свою значимость и уникальность – это всего лишь первая попытка государств к регулированию основных аспектов морской безопасности в арктической зоне.

Заключение. Подводя итог изложенному, необходимо сказать, что понятие «морская безопасность» представляет собой сложное явление, объединяющее в себя несколько элементов:

- организационно-правовой, касающийся деятельности административных субъектов, осуществляющих управление, контроль и надзор в рассматриваемой, а также хозяйствующих субъектов;
- технический, определяющий конструкцию, оборудование судно, комплектование и иные важные технические характеристики.

В рамках данной работы рассмотрен организационно-правовой аспект обеспечения морской безопасности в Арктике, установлены сложности ее обеспечения, связанные с недостаточным урегулированием правового статуса Северного морского пути и отдельных вопросов осуществления судоходства в Арктической зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 08.11.2007 N 261-ФЗ "О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72390/
2. Федеральный закон от 31 июля 1998 г. N 155-ФЗ "О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации". <http://base.garant.ru/12112602/#ixzz6Uq0eY5Rh>
3. Конвенция ООН по морскому праву (UNCLOS). URL: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_r.pdf
4. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). РЕЗОЛЮЦИЯ MSC.385(94). (принята 21 ноября 2014 года) <http://docs.cntd.ru/document/420376046>
5. Bueger, Ch (2015) What is maritime security? Marine Policy 53, 159-164 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.005>
6. Ba, A. D. (2011) Staking claims and making waves in the South China Sea: how troubled are the waters? Contemp Southeast Asia, 33 (3), 269-292
7. Keil, K. (2013) The Arctic: a new region of conflict? The case of oil and gas. Coop Conflict, 49 (2), 162-190
8. Manicom, J. (2011) Maritime boundary disputes in East Asia: lessons for the Arctic. Int Stud Perspect, 12 (3), 327-340
9. Арстад, Å. (2017). Безопасность на море и трансформации в глобальном управлении. Crime Law Soc Change 67, 313–331 <https://doi.org/10.1007/s10611-016-9656-0>
10. Садовая, Э., Тай, В. (2016) Модель эффективного управления морской безопасностью (EMSM): взгляд практиков из Сингапура. Secur J 29, 661–682. <https://doi.org/10.1057/sj.2014.13>
11. Скрынник, А.М. (2011) Транспортная (морская) безопасность в системе национальной и международной безопасности. Правовое регулирование. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ЮРИДИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2, 17-23
12. Скрынник, А.М. (2009) Государственное управление в сфере обеспечения морской безопасности в России. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ЮРИДИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 3, 77-84
13. Snetkov V N, Ponomarenko A V, Semenova K A (2019) Specific features of domestic and international legal regulation of environmental management in the Arctic J. IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci. 32 012030 Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/302/1/012030>
14. Demidov V.P., Mokhorova A.Yu., Mokhorov D.A. (2019) Legal support of environmental protection in the arctic region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 012154

V. Demidov, E. Dolzhenkova, D. Mokhorov, A. Mokhorova (Institute of Humanities, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia). **Ensuring maritime security in the arctic**

Abstract. The article examines the issues of maritime security in the Arctic region as the most important element of national security. The aim of the article is to study the international and national legal framework for ensuring maritime security in the Arctic. To achieve this goal, analytical methods were used: an analysis of the current regulatory legal acts governing the management of control and supervision in the field of maritime security was carried out, and their comparison; measures were assessed to improve the legal framework in order to create the foundations for ensuring the safe navigation of ships in the Arctic zone of the Russian Federation. The definition of the concept of maritime safety is given, the concepts of correlation of this concept with similar terms are considered. The features of ensuring maritime security in the Arctic are analyzed.

Т.А. БАРАНОВА, В.В. ГОГОЛЕВА, К.А. СЕМЕНОВА
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

МЕДИАЦИЯ И ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ДОСУДЕБНОГО ПОРЯДКА РАЗРЕШЕНИЯ СПОРОВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

В докладе рассматривается медиативная практика как один из видов юридической деятельности досудебного разрешения споров при осуществлении морских перевозок. Исследуются проблемы правовой трансформации процедуры медиации, эффективные техники, стратегии и компетенции. Обосновывается необходимость для успешного внедрения в практику примирительных процедур, разработки стратегии и правовых механизмов взаимодействия всех участников судопроизводства и развития институтов судебных примирителей и международного морского посредничества. Предлагается обсуждение необходимости объединения и использования инновационных ресурсов, научно-экспертного потенциала и практического опыта юридического сообщества и института гражданских посредников для создания образовательных программ и технологий развития переговорных компетенций.

Введение. Правовое регулирование морских перевозок, востребованного и успешно развивающегося института, характеризуется высокой степенью сложности и наличием огромного количества коллизий национальных и международных правовых норм. Анализ нормативно-правовых норм, в том числе международных, регламентирующих основные вопросы отношений в области правового регулирования морских транспортных операций показывает, многочисленные риски, возникающие в ходе развития морской торговли. Правовое регулирование международных морских перевозок составляют четыре международные конвенции: Гаагские правила 1924 года, Гаага-Висбийские правила 1968 года, Гамбургские правила 1978 года и Роттердамские правила 2008 года. По оценкам экспертов основная проблема международного правового регулирования морских перевозок грузов: отсутствие единых подходов в источниках международного частного права. При разрешении споров возникающих при осуществлении торгового мореплавания, в международной практике сложилась система разрешения споров на принципе мирного разрешения разногласий. Стороны конфликта могут воспользоваться различными правовыми институтами, например, обратиться в суд и арбитраж, но в дальнейшем значительно это усложнит партнерские и коммерческие взаимоотношения и поэтому стороны заинтересованы в иных способах разрешения споров с целью сохранения делового сотрудничества. Наиболее удачные правовые решения, которые реализуются в настоящий момент в юридической профессии, направленные на повышение эффективности работы и адаптации к меняющимся условиям и потребностям в юридических услугах в сфере разрешения конфликтов, существенно продвигают научную и практическую проблематику совершенствования медиативной практики. Актуальность исследования определяется современными проблемами развития и модернизации института посредников и правового регулирования порядка досудебного разрешения споров при осуществлении морских перевозок. Целью исследования является изучение процесса модернизации медиации как правового института и определение правовых, концептуальных и образовательных ресурсов повышения его эффективности.

Проблемы правовой трансформации процедуры медиации, эффективные техники, стратегии и компетенции.

Медиативная практика как один из видов юридической деятельности в досудебном разрешении споров при осуществлении морских перевозок. Медиация это организованный процесс переговоров с использованием конструктивного потенциала посредника. Исследование аспектов правовой трансформации процедуры медиации позволяет утверждать, что медиация в настоящее время уже существует не отдельно от других видов юридической деятельности, а является ее частью и рассматривается юристами в качестве значимого ресурса и приоритетного направления модернизации правового поля нашего государства. Принципиальная необходимость введения медиации в правовую сферу закреплена принятием 27 июля 2010 года Федерального Закона 193-ФЗ « Об альтернативной процедуре урегулирования споров с участием посредника (процедуре медиации)». В соответствии со ст. 20 он вступил в силу 1 января 2011 года. В его развитие был принят Федеральный Закон 194-ФЗ « О внесении изменений в отдель-

ные законодательные акты в связи с принятием Федерального Закона 193-ФЗ «Об альтернативной процедуре урегулирования споров с участием посредника (процедуре медиации)». Он также вступил в силу 1 января 2011 года. Для развития медиативной практики важно изучение практического опыта морских посредников в зарубежных странах, где создана необходимая нормативная база применения процедуры медиации для разрешения морских споров. Согласительные правила, досудебного добровольного урегулирования морских споров, в 1992 году были приняты Японской судоходной биржей; Общество Морских арбитров (СМА) приняло правила медиации в 1999 году; в Испании морские споры разрешаются на основе принятого 6 июля 2012 года Закона о медиации в гражданских и коммерческих спорах; в 2005 году международные эксперты в области торгового мореплавания предложили формирование глобальной службы примирения и медиации в судоходстве; 13 октября 2006 года в Лондоне была создана Международная комиссия морского примирения и медиации и утверждены Правила морского примирения и медиации; в 2007 году США Правила медиации приняты Морской арбитражной ассоциацией. В 2005 году был принят разработанный на основе Типового закона ЮНИСТРАЛ единый закон «О международной коммерческой медиации». Востребованность примирительных процедур послужила источником совершенствования переговорной и медиативной практики, исследователи отмечают, что в настоящее время, профессиональное сообщество, адаптируясь к изменяющимся условиям, использует до 40 видов примирительных процедур.

Правовое регулирование порядка досудебного разрешения споров при осуществлении морских перевозок. Законодательные изменения, вступившие в силу 25 октября 2019 года согласно принятому 26 июля 2019 года Федеральному закону № 197 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в связи с совершенствованием примирительных процедур, значительно расширяют возможности применения посредничества. Медиация, по мнению специалистов, является довольно эффективным методом урегулирования конфликтов при разрешении споров по договорам морского страхования, а так же вытекающих из нарушения морских контрактов и др.[1]. Правовой порядок обеспечивает посредник (судебный посредник), он ведет переговоры со сторонами и другими лицами, участвующими в деле, изучает документы, получает необходимые консультации экспертов, знакомится с материалами дела с согласия арбитражного суда. Оказывает содействие в достижении взаимоприемлемого результата примирения, составлении соглашения, основанного на понимании и оценке сторонами юридической обоснованности заявленных требований и возражений. Соглашение подписывается всеми сторонами конфликта, посредником и обязательно заверяется нотариусом [2]. Очевидно, что успешная деятельность морского посредника основываясь на коммуникативных способностях, междисциплинарных компетенциях, юридическом опыте специалиста в области морского права, предполагает обязательное обучение медиативным технологиям.

Организация взаимодействия всех участников судопроизводства для успешного внедрения в практику примирительных процедур и развития института судебных примирителей. Президент Федеральной Палаты адвокатов Юрий Филлипенко предлагает для развития медиативных процедур обдумать стратегии активного привлечения к ним адвокатов и других участников судопроизводства[3]. Обобщая опыт своей практики, эксперты утверждают, что примирение возможно при определенных условиях, когда стороны спора воспринимают друг друга на равных, в ситуациях, когда спор находится на ранней стадии, когда судебная практика по данной категории споров еще не сформировалась. Важно понимание того, в каких типах правовых споров медиация эффективна, а в каких случаях к ней обращаться не стоит. Перспективным направлением совершенствования медиации, заслуживающим обсуждения, может быть рассмотрена возможность включения медиативной практики в виды юридической помощи, оказываемой бесплатно, что предусмотрено Федеральным законом от 21 ноября 2011 года №324-ФЗ «О бесплатной юридической помощи в Российской Федерации» [3]. Осознание необходимости профессионального взаимодействия участников судопроизводства в примирительных спорах, привлечение к процессу медиации в целях совершенствования медиативных практик нотариусов, адвокатов, судебных примирителей, потребует развития переговорных и медиативных компетенций юристов. Важно устранить некоторые существующие противоречия в нормативных актах, и на этой основе разработать Правила и порядок правового регулирования досудебного разрешения споров для каждой конкретной области применения и на этой основе создать образовательные программы, используя опыт и экспертные знания посредников.

Подготовка квалифицированных посредников для урегулирования споров в области морских перевозок, как условие успешной медиации. В докладе предлагается рассмотреть проблему объединения научного потенциала юридического сообщества и института гражданских посредников для создания образовательных программ и технологий развития переговорных компетенций, разработанных специально для сферы применения процедуры медиации в современном правовом поле. Содержанием программ должна стать область морского права, изучение становления и развития основных международных соглашений, посвященных регулированию морских перевозок грузов. Следует раскрыть такие аспекты как сфера применения конвенций, правовые нормы регулирующие международные морские перевозки грузов, ответственность перевозчика, основные транспортные документы, вопросы подсудности. Переговоры в правовом поле определяются множеством контекстуальных факторов: международных, коммерческих, экологических, организационных и др. Необходим анализ изменений в глобальной конкуренции, которые влияют на переговоры. Важно определить на данном этапе, какие функции переговоров могут быть успешно реализованы посредством Интернета? Какой правовой институт обеспечивает конфиденциальность и безопасность переговорного процесса в цифровом пространстве. При обучении медиативным практикам, важным основанием служит изучение значения и особенностей национальных и культурных отличий при урегулировании споров. Для решения задач создания инновационных образовательных проектов в области медиации в правовом поле, может быть использован принцип саморегулируемых организаций, объединяющих заинтересованных профессионалов и опыт лучших практик образовательных и медиативных проектов университетов и ассоциаций.

Закключение. Рассмотрение статуса медиативной практики как одного из видов юридической деятельности для досудебного разрешения споров при осуществлении морских перевозок позволит выработать правильный баланс, чтобы с одной стороны действовать всем участникам споров в правовом поле, с другой стороны обеспечить приемлемые способы решения конфликта, сохранив возможность дальнейшего сотрудничества. Необходима координация деятельности экспертов для внедрения в практику примирительных процедур, разработки и правовых механизмов взаимодействия всех участников судопроизводства и развития института судебных примирителей. Образовательные программы и технологии развития переговорных компетенций должны разрабатываться в соответствии с областью деятельности, запросами посредников, их профессиональными интересами и затруднениями. Стратегической целью подготовки, следует рассматривать создание института международных посредников в области морских перевозок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлова И. Правовое регулирование досудебного порядка разрешения споров, связанных с торговым мореплаванием.// Управленческое консультирование. РАНХИГС.2013.С.42-49.
2. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон № 197-ФЗ от 26 июля 2019 года. Российская газета.№ 116(7924), 31 июля 2019 г.
3. Достоинства и проблемы медиации. 14 февраля 2020 панельная дискуссия в рамках VII Международной научно-практической конференции «Ковалевские чтения», <https://fparf.ru/news/fpa/dostoinstva-i-problemy-mediatsii/> (дата обращения 10.08.2020).

T. A. Baranova, V. V. Gogoleva, K. A. Semenova (Saint-Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great).
Mediation and legal regulation of pretrial dispute resolution in maritime transport

Abstract. The report examines mediation practice as one of the types of legal activities of pre-trial dispute resolution in the implementation of sea transportation. The problems of legal transformation of the mediation procedure, effective techniques, strategies and competencies are investigated. The article substantiates the need for successful implementation of conciliation procedures, development of strategies and legal mechanisms for interaction of all participants in legal proceedings, and development of institutions of judicial conciliators and international Maritime mediation. It is proposed to discuss the need to combine and use innovative resources, scientific and expert potential and practical experience of the legal community and the institution of civil mediators to create educational programs and technologies for the development of negotiating competencies.

Д.А. МОХОРОВ, А.В. ИСАЕВ, П.В. МЕНЬШИКОВ,
(Высшая школа юриспруденции и судебно-технической экспертизы Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого)

Н.А. ЛЕВАНЮК,
(ООО «АНШИП», Санк-Петербург)

ПРАВОВЫЕ КОЛЛИЗИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНЖЕНЕРНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЭКСПЕРТИЗ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕВОЗОК

В работе рассматриваются некоторые правовые коллизии при комбинированных (мультимодальных) перевозках грузов в Российской Федерации. В случае судебного разбирательства по вопросу установления виновной стороны в повреждении груза часто назначается инженерно-транспортная экспертиза, предметом которой являются материалы дела и документы. Однако из-за несовершенства транспортного законодательства работа эксперта по установлению зон ответственности весьма затруднена. Разрешить эти затруднения мог бы единый нормативный акт, который бы учитывал специфику служебного (досудебного) расследования на разных видах транспорта.

Комбинированной (мультимодальной) является перевозка, при которой экспедитор организует доставку груза из пункта отправления в пункт назначения с использованием разных видов транспорта. В Российской Федерации такие перевозки распространены для доставки грузов железнодорожным, речным, морским и воздушным транспортом в районы Крайнего Севера. Зачастую при этом возникает повреждение груза на каком-то этапе перевозки, и, как следствие, при проведении экспертизы возникает задача определения зон ответственности.

Сложность транспортного законодательства РФ приводит к тому, что досудебное урегулирование в претензионном порядке затруднено и разрешение ситуации выносится в суд общей юрисдикции или арбитражный суд. В ходе судебного разбирательства, как правило, возникают вопросы, требующих специальных знаний в области транспорта, при этом в соответствии со ст.79 ГПК РФ или со ст.82 АПК РФ суд выносит определение о назначении инженерно-транспортной экспертизы.

В ходе исследования эксперту приходится решать т.н. «нормативистскую задачу» - определение нормативно-правовых и подзаконных актов, имеющих отношение к предмету экспертизы [1]. Так, например, в случае повреждения вагонов при погрузке их на судно необходимо установить границы зоны ответственности железнодорожников.

Однако на сегодняшний день в законодательстве РФ отсутствует единый нормативный акт, регулирующий порядок проведения расследований транспортных происшествий при перевозках грузов в комбинированных (мультимодальных) перевозках, что существенно осложняет решение данной задачи.

Наиболее ярким образом это проявляется при расследовании транспортных происшествий связанных с перевозкой грузов на морских железнодорожных паромов - например, при столкновении вагона с элементами морского железнодорожного парома в ходе подачи группы вагонов на паром.

Инцидент с повреждением морского судна расследуется в соответствии с Положением о порядке расследования аварий и инцидентов на море (утв. приказом Минтранса РФ №308 от 8 октября 2013 г. [2]. Однако данный инцидент произошел также с участием стивидорной компании и железнодорожного перевозчика, а на железнодорожном пароме имеются железнодорожные пути.

В настоящее время железнодорожный транспорт РФ в соответствии с ФЗ-17 «О железнодорожном транспорте в РФ» [3] и ГОСТ Р 25056-2012 «Транспорт железнодорожный. Основные понятия, термины и определения» [4] подразделяется на железнодорожный транспорт (в дальнейшем – «ЖДТ») общего пользования, ЖДТ необщего пользования и технологический ж.д.транспорт предприятий (последний не подпадает под действие ФЗ-17 и связанных с ним подзаконных актов). В соответствии с этими подзаконными актами железнодорожный перевозчик относится к субъекту ЖДТ общего пользования, а судовладелец – к субъекту ЖДТ необщего пользования.

При расследовании и учете транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, имевших место на железнодорожных путях общего и железнодорожных путях необщего пользования применяется Положение о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (утв. приказом Минтранса РФ №344 от 18.12.2014 г.) [5]. Но – так как происшествие возникло с морским судном – появляются основания для применения приказа Минтранса РФ №308. Как следствие - возникает вопрос: какой порядок применять при расследовании данного транспортного происшествия?

По мнению авторов, на досудебном этапе с целью проведения объективного, полного и всестороннего служебного расследования необходимо сформировать комиссию из представителей морского и железнодорожного перевозчика. В результате данного расследования надлежит составить единое Техническое заключение, которое бы содержало причины транспортного происшествия и разграничило зоны ответственности. Однако порядок расследования транспортных происшествий, прописанный в указанных выше приказах Минтранса РФ не позволяет сделать этого.

Так, согласно п.6 «Положения о порядке расследования аварий и инцидентов на море» расследование аварийных случаев осуществляется отдельно и независимо от любого другого расследования, проводимого в рамках уголовного, административного или иного производства, и не препятствует любому другому расследованию.

В соответствии с п.9 указанного Положения в комиссию по расследованию аварийных случаев на море входят представители организации/организаций, уполномоченной/уполномоченных на классификацию и освидетельствование судов, представители капитана морского порта, расположенного вблизи места аварийного случая, и/или представители капитана морского порта регистрации судна/судов, с которым/которыми произошел аварийный случай.

В соответствии с п.6 Положения о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, в зависимости от вида транспортного происшествия формируется комиссия из сотрудников Ространснадзора и субъектов железнодорожного транспорта.

Таким образом, расследование приведенного в пример аварийного случая будет производиться двумя разными комиссиями. Более того - по результатам расследования в соответствии с указанными выше Положениями будет составлено два технических заключения с различными результатами расследования и различными зонами ответственности участников инцидента. Это может привести к тому, что цели всестороннего и объективного расследования транспортных происшествий, а также определение ответственных лиц не будут достигнуты, что, в свою очередь, усложняет работу при проведении инженерно-транспортной экспертизы.

Аналогичная ситуация возникает и при расследованиях транспортных происшествий при перевозках грузов в комбинированных перевозках с участием иных видов транспорта.

Из изложенного следует, что возникла необходимость разработки нормативного акта, который бы регулировал порядок совместного расследования транспортных происшествий в мультимодальных (комбинированных) перевозках. Такой нормативный акт, несомненно, поможет исключить правовые коллизии и в случае производства инженерно-транспортной экспертизы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев А.В. Задачи судебных железнодорожно-транспортных экспертиз и методические подходы к их решению. – Судебная экспертиза: науч.-практ. журнал. – Волгоград: ВА МВД России. №2 (58). – 138 с. – С.100-107.
2. Положение о порядке расследования аварий и инцидентов на море (утв. Приказом Минтранса РФ №308 от 8 октября 2013 г.)
3. ФЗ-17 «О железнодорожном транспорте в РФ» от 10.01.2003 г.
4. ГОСТ Р 25056-2012 «Транспорт железнодорожный. Основные понятия, термины и определения». Введен в действие 01.07.2013 г.
5. Положение о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (утв. приказом Минтранса РФ №344 от 18.12.2014 г.)

D. Mokhorov, A. Isaev, P. Menschikov (Institute of Humanities, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia), N.Levanuk (ANSHIP LLC, St. Petersburg, Russia). **Legal conflicts in production of engineering and transportation expertise of combined transportation**

Abstract. The paper discusses some legal conflicts in the combined (multimodal) transportation of goods in the Russian Federation. In the case of litigation on the issue of establishing the guilty party in damage to the cargo, an engineering and transport examination is often appointed, the subject of which is the case materials and documents. However, due to the imperfection of transport legislation, the work of an expert in establishing areas of responsibility is very difficult. These difficulties could be solved by a single normative act, which would take into account the specifics of the official (pre-trial) investigation in different modes of transport.

Е.В. МАКСИМОВА

(Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-Морская академия им. Н.Г.Кузнецова», Санкт-Петербург)

Е. И. ЯКУШЕНКО

(НПО Спецматериалов, Санкт-Петербург)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИДЕРСКИХ КАЧЕСТВ У КУРСАНТОВ ВЫСШИХ ВОЕННО-МОРСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МО РФ В ПРОЦЕССЕ ВОСПИТАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ

В данной работе изложен основной взгляд на формирование лидерских качеств курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ в процессе воспитания и обучения, выявлены проблемы и противоречия. Сформулированы предложения, по совершенствованию педагогического механизма формирования лидерских качеств у курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ

Введение. Современная Россия претерпевает заметные преобразования во всех сферах, развиваются политические и социально-экономические стороны, в этих условиях актуальной становится проблема формирования потенциальных лидеров в различных направлениях жизни общества.

В настоящее время перед Высшей школой стоят задачи не только насыщения рынка труда компетентными специалистами, но и создание возможностей для профессионального роста и развития личности, в том числе и развития личностей с выраженными лидерскими качествами.

Конкурентоспособность выпускника ВУЗа в современных условиях рынка труда напрямую зависит от наличия у него организационно-управленческих навыков, умения проявлять активность, инициативу, коммуникабельность, принимать самостоятельные решения, брать ответственность за свое профессиональное становление, отвечать за личные результаты работы и результаты командного взаимодействия [1]. С учетом специфики военной организации все эти качества должны присутствовать и у выпускника Высшего военного учебного заведения.

Более того, формирование лидерских качеств курсантов является важным этапом становления личности военного профессионала и одновременно показателем достаточно высокого уровня развития социальной зрелости выпускника Высшего военного учебного заведения.

Таким образом, важнейшая задача модернизации системы военного образования на сегодняшний день – это обеспечить гарантированное и регулярное комплектование войск и органов военного управления офицерами, обладающими высокими профессиональными и моральными ценностями, психологически устойчивыми с выраженными лидерскими качествами [2].

Термины.

Лидер (от англ. leader - ведущий) - член группы с наивысшим статусом, за которым признается право принимать решения в значимых для нее ситуациях.

Лидерство (от англ. leader — ведущий, руководитель), один из механизмов интеграции групповой деятельности, когда индивид или часть социальной группы выполняет роль лидера, т. е. объединяет, направляет действия всей группы, которая ожидает, принимает и поддерживает его действия. Частично перекрываясь понятиями «управление», «руководство», лидерство характеризует вместе с тем и специфическую форму отношений в группе или организации. Тип лидерства всегда связан с природой общественного строя, специфическим характером и структурой группы и конкретно-исторической ситуацией [3].

Актуальность и значимость. Вооруженные Силы РФ в целом и Военно-Морской Флот РФ в частности, представляют собой специфический социальный организм, призванный военными средствами защищать Отечество. Особенности воспитания военнослужащих заключаются в том, что наряду с воспитанием качеств личности, свойственных любому гражданину Российской Федерации, у них необходимо сформировать выработку личной мотивации, устойчивое желание быть лидером, уверенность в себе, готовность принимать решения и брать на себя от-

ветственность, а так же последовательность и упорство в реализации целей, осознание собственной силы и веры в достижение цели.

В процессе обучения в Высших военных учебных заведениях необходимо в будущем офицере развить интеллектуальные и нравственные лидерские качества, профессиональную компетентность, порядочность, интеллект, проявляющийся в умении анализировать, понимать суть проблемы, гибкость ума, предусмотрительность, умение планировать и ставить цели.

Все эти качества личности офицера, просто необходимы для обеспечения высокой боевой готовности в боевых частях (кораблях).

Данные качества офицеров благоприятно влияют и на психологический климат внутри воинского коллектива, при этом точность и эффективность восприятия себя и других в воинских подразделениях существенно зависит от уровня развития воинского коллектива. В коллективах более высокого уровня развития, с более выраженными лидерскими процессами (процессами самоорганизации), лидеры, как правило, верно воспринимают и оценивают сослуживцев, их роль, активность и вклад в достижение общественно-значимых целей.

Таким образом, в сплоченных воинских коллективах с благоприятным психологическим климатом лидеры точнее выделяют общественно значимые вопросы, более тонко определяют настроение коллектива, точнее улавливают общий настрой, грамотно распределяют задачи, что способствует более качественному и быстрому достижению поставленной командованием цели.

Безусловно, лидерские качества необходимо развивать в процессе воспитания военнослужащих. Поэтому воспитание лидерства должно стать неотъемлемой частью профессиональной подготовки военнослужащих, залогом эффективности военного управления.

Однако анализ, как федеральных нормативно-правовых актов, таких как: Конституция РФ, Федеральный закон N 273-ФЗ от 29.12.2012 "Об образовании в Российской Федерации" и других, так и подзаконных нормативно-правовых актов Министерства Обороны, таких как: Приказ Министра обороны РФ № 404 от 2019г. «Об организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации», Приказ Министра обороны РФ № 670 от 2014 г. (с изм. и доп. 2019 г.) "О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации", Приказ Министра обороны РФ № 710 от 2017 г. «О мерах по совершенствованию учета сведений о грубых дисциплинарных проступках в Вооруженных Силах Российской Федерации» и других, показал, что прямых указаний на формирование лидерских качеств у курсантов в процессе воспитания в Высших военных учебных заведениях нет, что является большим пробелом в праве в современных условиях.

Так же в нормативно-правовых актах прямых указаний на формирование лидерских качеств у курсантов Высших военных учебных заведений нет и в процессе обучения. Однако, с развитием современных технологий, применением в учебном процессе активных методов в обучении и появлением возможности использования в учебном процессе информационных технологий, появилась возможность развивать некоторые качества личности, в том числе и лидерские, непосредственно на занятиях с курсантами Высших военных учебных заведений в целом, и Высших военно-морских учебных заведений, в частности.

Воинский коллектив Военно-Морского Флота имеет свои особенности и связано это, прежде всего, с тем, что в состав его входят подводные и надводные корабли, экипажи которых имеют особый характер условий службы.

В условиях относительной социальной изоляции, в отрыве от привычной береговой среды, на физически ограниченном пространстве военного корабля или подводной лодки, взаимоотношения внутри экипажа судна могут привести к деформации общения (с одной стороны – частое неофициальное общение приводит к взаимопониманию, эмоциональной близости, при этом создаётся впечатление «равенства» и «братства»; с другой стороны – при взаимоотношениях в воинском коллективе субординация должна стоять на первом месте, что требует беспрекословного выполнения приказов и подчинения). Все это говорит о том, что в воинском коллективе Военно-Морского Флота особые условия службы оказывают своё влияние и на лидерские качества офицеров, которые должны формироваться еще в Военно-морских учебных заведениях.

Заключение. Лидерство - сложный социально-психологический процесс группового развития, в результате которого и происходит возникновение и дифференциация групповой структуры, ее оптимизация и непрерывное совершенствование. Лидер — это как бы зеркало группы, лидер появляется в данной конкретной группе, какова группа - таков и лидер [4].

Соответственно, формирование лидерских качеств у будущих офицеров в процессе воспитания и обучения в Высших военных учебных заведениях в целом, и с учетом специфики службы на Флоте, в Высших военно-морских учебных заведениях в частности - это должно стать на сегодняшний день одной из первостепенных задач военного образования.

При этом совместные мероприятия по формированию лидерских качеств у курсантов в процессе воспитания и обучения должны повысить эффективность педагогического механизма по формированию будущего офицера как личности, обладающей высокими профессиональными качествами, что является одним из условий эффективной службы будущих офицеров, и соответственно, повышением боевой готовности в боевых частях Вооруженных сил РФ.

Таким образом, повышение эффективности педагогического механизма по формированию лидерских качеств у курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ должно обеспечиваться совместной работой военно-политических отделов, одной из основных задач которой, должно стать формирование лидерских качеств будущих офицеров, и профессорско-педагогического состава, путем преподавания нового метадисциплинарного курса «Формирование качеств лидера у курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ», в ходе изучения которого курсанты будут формировать свои лидерские качества.

При этом, для грамотной и более эффективной работы усовершенствованного педагогического механизма по формированию лидерских качеств у курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ необходимо принять ряд нормативно-правовых актов как федерального значения, так и подзаконных нормативно-правовых актов Министерства обороны.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Пучков Н.П.** Организация воспитательной работы в вузе по формированию лидерских качеств обучающихся : методические рекомендации / Н.П. Пучков, А.В. Авдеева.// – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. 28 с.
2. **Агранат Д. Л.** Военизированные организации и гражданское общество: институциональные проблемы взаимодействия // Социология образования. — 2008. — №4. — С. 66–72.
3. Лидер // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
4. **Кретов Б.И.** Типология лидерства / Б.И. Кретов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Социально - гуманистические знания, - 2000. – 78 с.

E.V. Maximova (Military educational and scientific center of the Navy "Naval Academy named after N.G. Kuznetsov", St. Petersburg). **Theoretical and practical aspects of the formation of leadership qualities in trainers of higher naval educational institutions of the rf mod of the rf in the process of education and training**

Abstract. This paper presents the main view on the formation of leadership qualities of cadets of higher Naval educational institutions of the RF Ministry of Defense in the process of education and training, identifies problems and contradictions. Proposals have been formulated to improve the pedagogical mechanism for the formation of leadership qualities among cadets of higher Naval educational institutions of the RF Ministry of Defense

К. В. ВЕДЕРНИКОВА

(ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург)

ПРИЕМЫ ОБУЧЕНИЯ МОНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЧИ ИНОСТРАННЫХ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ НА БАЗЕ ТЕКСТОВ ВОЕННО-МОРСКОЙ ТЕМАТИКИ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ КУРСЕ ВОЕННО-МОРСКОГО ВУЗА

Изложен взгляд на приемы обучения монологической речи иностранных военнослужащих на базе текстов военно-морской тематики на подготовительном курсе военно-морского вуза. Рассматриваемые приемы обучения монологическому высказыванию являются дополнительными заданиями к основным упражнениям учебного пособия.

Введение. В соответствии с новым поколением Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования [6] возникает необходимость не только внести изменения в содержание изучаемых предметов, но и выбрать оптимальные методы, формы и приемы организации учебного процесса. Современная система образования требует усовершенствования методов обучения, так как меняются тенденции в образовании, которое становится открытым, инновационным, интерактивным, происходит огромный рывок в развитии технических средств. Внедрение интерактивных форм обучения РКИ позволяет интенсифицировать учебный процесс. В предполагаемом докладе рассматриваемые нами приемы обучения монологической речи иностранных военнослужащих на базе текстов военно-морской тематики на подготовительном курсе, являются дополнительными заданиями к основным упражнениям учебного пособия. Однако они могут значительно ускорить усвоение учебного материала и формирование монологических навыков и умений, так как стимулируют умственную деятельность обучающихся, развивают языковую догадку.

Термины. *Денотатный граф* – графический способ изложения текста, в котором в качестве основы используется ключевое понятие (существительное), к которому подбираются глаголы, описывающие процессы, происходящие с данным понятием. *Кроссворд* – игра-задача, в которой необходимо заполнить пустые клетки словами с заданными значениями.

Актуальность и значимость. Актуальность использования преподавателем новых приемов при обучении монологической речи иностранных военнослужащих на базе текстов военно-морской тематики продиктовано процессом интеграции России в общеевропейское образовательное и социально-экономическое пространство. В условиях интерактивного обучения необходимо обеспечить максимальную активность самого обучающегося при формулировании собственного высказывания на базе прочитанного текста научного характера.

Конечным результатом обучения иностранных военнослужащих (далее – ИВС) монологической речи на базе текстов научного стиля речи военно-морской тематики на подготовительном курсе является монологическое высказывание репродуктивного характера на основе прочитанного или прослушанного текста с опорой на план, вопросы, таблицы, для которого характерны определенный тип изложения информации, специальные конструкции, структурно-семантические особенности. Например, после изучения ИВС темы о военно-морских силах флота им предлагается рассказать о надводных кораблях. При подготовке у ИВС может возникнуть затруднение в определении того, что отобрать для рассказа. Вследствие этого выработка оптимальной стратегии обучения на данном этапе – задача преподавателя.

В учебные пособия, разработанные преподавателями кафедры русского языка Военно-морского политехнического института (г. Пушкин), включены тексты, «представляющие собой дидактически обработанные фрагменты учебников по специальности обучающихся, а также комплекс упражнений, направленный на развитие и совершенствование навыков и умений научной речи, в том числе умений порождения научных текстов»[5]. Эти упражнения являются теми посильными для обучающихся приемами обучения, которые преподаватель использует из занятия в занятие. Однако есть приемы, которые можно использовать как в качестве тренировочного упражнения, так и в качестве контрольного задания, в которых сохраняется «основная

идея текста и идеи основных смысловых частей текста...» [3] и которые включают в себя элемент интерактивности. Интеграция России в мировое образовательное и социально-экономическое пространство требует повышения качества русскоязычной коммуникативной компетенции иностранных специалистов. «Принцип обучения на высоком уровне трудностей требует большого напряжения сил на занятиях для достижения высокого уровня обученности, который обеспечивается отбором, обработкой и представлением такого учебного материала, усвоение которого требует напряжения интеллектуальных сил. При этом учебный материал должен быть доступным по содержанию, методике изложения и другим параметрам» [2]

Одним из таких возможных приемов при обучении монологическому высказыванию на базе текстов научного стиля речи является денотатный граф.

Денотатный граф – это такой графический способ изложения текста, в котором в качестве основы используется ключевое понятие (существительное), к которому подбираются глаголы, описывающие процессы, которые происходят с данным понятием (существительным).

Для денотатного графа характерно чередование существительных и глаголов, иногда к существительным добавляют связанные с ними прилагательные.

Такой схематичный текст вызывает интерес у будущих инженеров, обучающихся в ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» по программам специалитета, в силу их технического мышления и помогает им более связно построить осмысленное, а не заученное, монологическое высказывание. В качестве примера представим граф к тексту «Эксплуатационные свойства корабля» (Рис. 1).

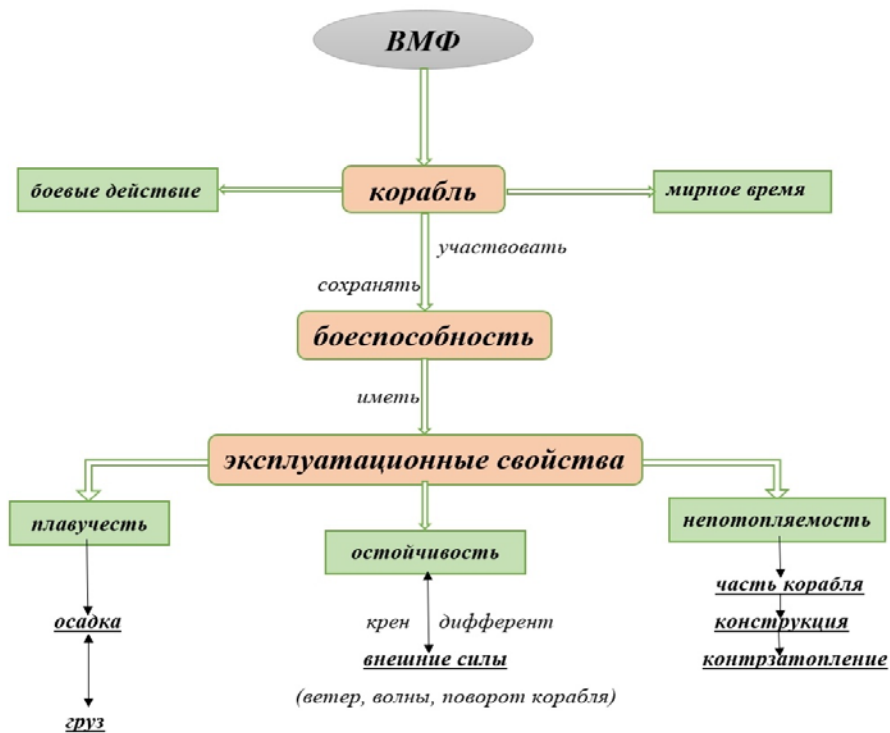


Рис. 1. Денотатный граф «Эксплуатационные свойства корабля»

При помощи такого графа текст учебника трансформируется в схему, представляющую собой языковой материал в невербальном виде с использованием элементарных конструкций научного стиля речи (что – это что, что имеет что, что сохраняет что). По такой схеме обучающемуся легче воспроизвести прочитанную информацию, используя ключевые слова. Сжатый пересказ вызывает у курсанта чувство успеха и мотивирует его к порождению сложного монологического высказывания.

Следующим приемом обучения, используемым в качестве контрольного задания при обучении монологу, может быть кроссворд. Кроссворд – игра-задача, в которой необходимо заполнить пустые клетки словами с заданными значениями. Определяя скрытые под определением термины, курсанты вспоминают ключевые понятия текста, проговаривают, прочитывают описания терминов. Кроме того, кроссворд помогает проверить правописание русских слов ИВС,

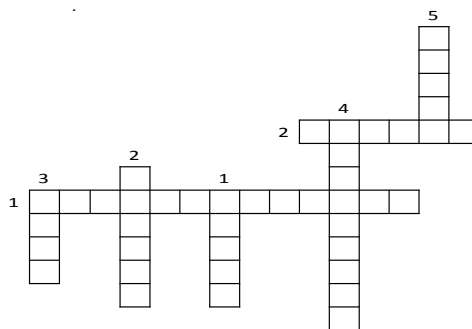
их умение соотносить общеупотребительную лексику с профессиональными эквивалентами. Представленный ниже кроссворд сделан на основе текста «Тактико-технические элементы корабля» (Рис. 2).

По горизонтали:

1. Количество воды, вытесняемое подводной частью корабля.
2. Офицеры и матросы корабля.

По вертикали:

1. Вес корабля.
2. Тело корабля.
3. Подводная выступающая часть корабля.
4. Выступающая часть корабля.
5. Единица измерения массы корабля.



17

Рис. 2. Кроссворд «Тактико-технические элементы корабля»

Заключение. При изучении текстов научного стиля речи на подготовительном курсе нами были использованы представленные выше приемы обучения для закрепления изученного материала курсантами из Эфиопии, Никарагуа и Венесуэлы. Эти задания превратили обычное занятие в занятие с элементами интерактивности, сделали его не только познавательным, но и интересным, что, в свою очередь, облегчило восприятие и упростило усвоение учебного материала обучающимися.

В заключение хочется отметить, что предложенные приемы обучения/контроля монологической речи при изучении текстов военно-морской тематики являются дополнительными заданиями к основным упражнениям учебного пособия. Они могут помочь курсантам в осмыслении учебного материала, стимулируют их монологическую речь, переводят обычное практическое занятие в интерактивную форму. Кроме того, представленный материал может быть положен в основу разработки пособия, направленного на формирование и развитие навыков монологической речи на базе текстов военно-морской тематики на подготовительном этапе обучения русскому языку как иностранному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов Э. Г., Щукин А. Н. Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам). М., 2009. 448 с.
2. Веракса Т. В. Учет макроконтекста при дискурсном подходе к обучению чтению на занятиях по русскому языку как иностранному // Слово Грамматика Речь Выпуск XX Материалы У11 Международной научной конференции «Текст: проблемы и перспективы. Аспекты изучения в целях преподавания русского языка как иностранного». М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2019
3. Капитонова Т. И., Московкин Л. В. Методика обучения русскому языку как иностранному на этапе вузовской подготовки. СПб., 2006. 272 с.
4. Минченкова А. И., Степанова И. С. Русский язык. Практикум по научному стилю речи. СПб., 2012. 168 с.
5. Погорельская Л. И. Особенности научного текста в учебном пособии по языку специальности // Русский язык и литература в пространстве мировой культуры: Материалы XIII Конгресса МАПРЯЛ (г. Гранада, Испания, 13 – 20 сентября 2015 года) / Ред. кол.: Л. А. Вербицкая, К. А. Рогова, Т. И. Попова и др. – В 15 т. – Т. 10. – СПб.: МАПРЯЛ, 2015. – С. 830 - 834.

6. Федеральный Государственный образовательный стандарт высшего образования. Утв. Приказом Министерства Образования и науки Российской Федерации от 9 февраля 2016 года № 91
 7. **Щукин А. Н.** Обучение речевому общению на русском языке как иностранном. М., 2012. 784 с.
 8. <http://didaktor.ru>
-

K. V. Vedernikova (Military training and research center of the Navy «Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N. G. Kuznetsov», Saint Petersburg). **Methods of teaching foreign military personnel monological speech based on texts of naval subjects at the preparatory course of the naval University**

Abstract. The article presents a view on the methods of teaching foreign military personnel monological speech based on texts of naval subjects at the preparatory course of the naval University. The considered methods of teaching monological utterance are additional tasks to the main exercises of the textbook.

Е.В. МАКСИМОВА, А.А. РИМАШЕВСКИЙ
(Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-Морская академия
им. Н.Г.Кузнецова», Санкт-Петербург)

ДУХОВНО-НРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ КУРСАНТОВ ВЫСШИХ ВОЕННО-МОРСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ МО РФ В СИСТЕМЕ ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, НЕДОСТАТКИ, ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ.

В данной работе изложен основной взгляд на формирование духовно-нравственного воспитания курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ в системе военно-политической работы ВС РФ, выявлены проблемы, противоречия, а также не соответствия подзаконных нормативно-правовых актов федеральным. Сформулированы предложения, по совершенствованию педагогического механизма духовно-нравственного воспитания курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ

Введение. Во все времена зарубежные и отечественные исследователи считали важнейшими источниками формирования духовности и нравственности личности: религию, искусство, историю, которые обеспечивали усвоение общечеловеческих и национальных ценностей, освоение, обобщение, сохранение и передачу традиций, способствовали постижению человеком смысла жизни и правил деятельности.

Термины. *Духовность* - это свойство души, состоящее в преобладании духовных, нравственных и интеллектуальных интересов над материальными.

Нравственность - правила, определяющие поведение, духовные и душевные качества, необходимые человеку в обществе, а также выполнение этих правил, поведение.

Духовно-нравственное воспитание - целенаправленный процесс приобщения личности к общечеловеческим ценностям и идеалам, как основы для высоконравственного поведения, состоящего в осознании молодыми людьми собственного места в мире, в системе социальных отношений, в согласованности собственных действий с общечеловеческими требованиями и внутренними убеждениями [1].

Актуальность и значимость. В соответствии с Конституцией РФ и ФЗ «Об образовании в РФ», в современной России духовно-нравственное воспитание молодежи является приоритетным направлением формирования личности. На основании данных нормативно-правовых актов в РФ действуют: Концепция духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России, Стратегия развития воспитания в РФ на период до 2025 г. и Стратегия национальной безопасности РФ до 2030 г., данные документы говорят о том, что духовно-нравственное развитие и воспитание личности является первостепенной задачей современной образовательной системы и представляет собой важный компонент для образования.

Вооруженные Силы РФ в целом и Военно-Морской Флот РФ в частности, представляют собой специфический социальный организм, призванный военными средствами защищать Российскую Федерацию. Особенности воспитания военнослужащих заключаются в том, что наряду с воспитанием качеств личности, свойственных гражданину гуманного, демократического общества, у них необходимо сформировать чувство воинского долга, дисциплинированности, организованности, бдительности, мужества, выносливости, войскового товарищества и другие качества, необходимые для обеспечения высокой боевой готовности в боевых частях (кораблях), т. е. все то, что составляет основную цель воинского воспитания.

Основная работа по образованию и воспитанию будущих офицеров, конечно, лежит на высших военных учебных заведениях МО РФ, в которых воспитательной работой руководят военно-политические отделы.

Система военно-политической работы в высших военно-морских учебных заведениях МО РФ спланирована, организовывала и проводится в строгом соответствии с Приказом Министра обороны РФ № 404 от 2019г. «Об организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации», Приказом Министра обороны РФ № 670 от 2014 г. (с изм. и доп. 2019 г.) "О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от

29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации", Приказом Министра обороны РФ № 710 от 2017 г. «О мерах по совершенствованию учета сведений о грубых дисциплинарных проступках в Вооруженных Силах Российской Федерации».

Соответственно, военно-политическая работа организована по следующим направлениям: работа по поддержанию правопорядка и воинской дисциплины; военно-политическая пропаганда и агитация; психологическая работа; военно-социальная работа; культурно-досуговая работа; взаимодействие с традиционными религиозными объединениями Российской Федерации и работа с верующими военнослужащими; социологическое сопровождение мероприятий подготовки и повседневной деятельности; индивидуальная работа с личным составом; совершенствование навыков должностных лиц по вопросам организации военно-политической работы; обеспечение техническими средствами военно-политической работы; геральдическое обеспечение (приказ Министра обороны Российской Федерации от 10 июля 2017 г. № 434 «О геральдическом обеспечении Вооруженных Сил Российской Федерации»); иные мероприятия военно-политической работы.

В военно-политической работе в высших военно-морских учебных заведениях МО РФ организовано комплексное решение следующих задач: поддержание высокого уровня морально-политического и психологического состояния личного состава; формирование у личного состава чувства патриотизма, военно-политического сознания и культуры, осознанного отношения к выполнению воинского долга, приказов командиров и начальников, трудовых (служебных) обязанностей, требований законодательных и иных правовых актов Российской Федерации; повышение мотивации профессионального мастерства военнослужащих, формирование у них стремления к добросовестной высокоэффективной служебной и боевой деятельности; обеспечение правопорядка и воинской дисциплины в воинских коллективах, трудовой дисциплины среди гражданского персонала, формирование правовой культуры военнослужащих и лиц гражданского персонала; создание условий для удовлетворения военнослужащими, членами их семей и лицами гражданского персонала, культурных и духовных потребностей, реализации установленных законодательством Российской Федерации прав и социальных гарантий [2].

Таким образом, анализ подзаконных нормативно-правовых актов МО РФ, а так же непосредственно системы работы военно-политических отделов высших военно-морских учебных заведений МО РФ показывает, что непосредственной задачи по духовно-нравственному воспитанию курсантов руководящие документы не ставят, что является пробелом в системе работы военно-политических отделов и не соответствием с федеральным законодательством.

Реформирование Военно-Морского Флота страны обуславливает новые требования к высшим военно-морским учебным заведениям, к подготовке будущих офицеров к службе Отечеству, в связи с чем стали необходимыми изменения в подходах к отбору и содержанию военно-профессионального образования, к методам и средствам обучения и воспитания в высших военно-морских учебных заведениях, к способам организации воспитательной деятельности, к характеру отношений между преподавателями, командирами и курсантами.

На сегодняшний день выдвигаются требования к выпускникам военно-морских учебных заведений быть профессионально и социально компетентными людьми, иметь сформированные социально значимые качества личности, быть подготовленными к переменам, которые происходят в окружающей действительности, руководствоваться в своей повседневной жизни ценностями уважительного отношения к каждому человеку, развитым чувством долга, честью, дисциплинированностью и ответственностью, т.е. современный офицер ВМФ должен иметь высокий духовно-нравственный потенциал [3].

Заключение. Сложные перестроечные процессы, которые протекали в России после распада СССР сопровождались кризисом духовности и нравственности во всех сферах жизнедеятельности общества, а значит и в Вооруженных силах в целом и в Военно-Морском Флоте в частности.

Повышение эффективности педагогического механизма духовно-нравственного воспитания курсантов в высших военных учебных заведениях, определения потенциалов, приемов и методов позитивного педагогического воздействия на курсантов по данному направлению, является условием эффективной службы будущих офицеров, и соответственно, повышением боевой готовности в боевых частях Вооруженных сил РФ.

Повышение эффективности педагогического механизма духовно-нравственного воспитания курсантов в высших Военно-морских учебных заведениях МО РФ должно обеспечиваться совместной работой военно-политических отделов, одной из основных задач которой должно стать духовно-нравственное воспитание будущих офицеров, и профессорско-педагогического состава путем преподавания новых метадисциплинарных курсов «Духовно-нравственное воспитание курсантов высших Военно-морских учебных заведений МО РФ», с помощью которых курсанты будут формировать свой духовный и нравственный потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

1. **С.И.Ожегов, Н.Ю.Шведова.** Толковый словарь русского языка Издательство "Азъ", 1992.
2. **Неробеев А.Б.** Педагогические условия духовно-нравственного воспитания курсантов военного ВУЗа / диссертация на соискание кандидата педагогических наук. Костромской Государственный Университет им. Н.А. Некрасова. Кострома 2006.

E.V. Maximova (Military educational and scientific center of the Navy "Naval Academy named after N.G. Kuznetsov", St. Petersburg). **Spiritual and moral education of cadets of higher naval educational institutions of the Russian Federation in the system of military-political work of the Russian armed forces: state of the issue, defects, ways to eliminate them.**

Abstract. This paper outlines the main view on the formation of the spiritual and moral education of cadets of higher Naval educational institutions of the RF Ministry of Defense in the system of military-political work of the RF Armed Forces, identifies problems, contradictions, and also inconsistencies of by-laws with federal ones. Proposals have been formulated to improve the pedagogical mechanism of spiritual and moral education of cadets of higher Naval educational institutions of the RF Ministry of Defense

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
«УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ СИСТЕМАХ»
(УМС-2020)**

Верстка *А.А. Зуева*

Государственный научный центр Российской Федерации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
197046, С.-Петербург, ул. Малая Посадская, 30.
Тел. (812) 499-82-93, факс (812) 232 33 76,
e-mail: editor@eprib.ru
<http://www.elektropribor.spb.ru>