

ВЕСТНИК

**МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Спецвыпуск

Материалы III Региональной
научно-практической конференции
«Морские исследования на Дальнем Востоке»,
14-15 марта 2019 г.

Вып. 86 / 2020

УДК 656.61(06)

В38

В38 Вестник Морского государственного университета : материалы III Региональной научно-практической конференции «Морские исследования на Дальнем Востоке», 14-15 марта 2019 г. Вып. 86 / 2020 / Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского; научный редактор С. Н. Павликов [и др.]. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2020. — 83 с. ; цв. ил., табл. — Библиогр. в конце ст. — ISSN 2225-2908.

Спецвыпуск Вестника Морского государственного университета содержит доклады, прозвучавшие на III Региональной научно-практической конференции «Морские исследования на Дальнем Востоке» (14-15 марта 2019 г.), организованной Морским государственным университетом им. адм. Г. И. Невельского, в которой приняли участие более 50 научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, курсантов и студентов высших учебных заведений: Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского, Дальневосточного федерального университета, Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева. В данный выпуск вошли материалы трех секций конференции: «Безопасность мореплавания», «Экологические вопросы освоения шельфа Дальнего Востока и Арктики» и «Электротехника и электроавтоматика».

Сборник предназначен для практиков, руководителей всех уровней, научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

УДК 656.61(06)

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, профессор С. Н. Павликов (науч. редактор),
канд. физ.-мат. наук, доцент Д. А. Акмайкин,
зав. учебно-научной лабораторией Д. В. Штаев

ISSN 2225-2908

© Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ

Иваненко Ю.С. Метрики оценки интенсивности трафика морской акватории.....	5
Каменев М.С. Практический эксперимент по отработке снятия первичных данных для составления радиокарты помещения.....	10
Кислова И.И., Роншина Е.С., Стегостенко Ю.Б. Цифровые технологии в морском образовании.....	14
Лесогор О.К, Шарлай Г.Н. Обеспечение безопасности на море при работе с буровыми платформами	19
Дыда А.А., Пляшешник К.Н. Моделирование движения судна по траектории.....	23
Дыда А.А., Пляшешник К.Н. Построение модели движения судна по измерениям вектора состояния.....	29
Шуленина А.В. Оценка опасности трафика морской акватории с учётом неопределенности при принятии решений судоводителями	34
Соболевская Е.Ю., Глушков С.В., Левченко Н.Г. Этап разработки интеллектуальной транспортно–логистической информационной системы управления с учетом суровых климатических условий плавания.....	40

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И АРКТИКИ

Алаторцев А.В., Иванов М.В., Аксентов К.И. Содержание ртути в донных осадках Восточно-Сибирского, Лаптевых морей и прилегающей части Северного Ледовитого океана.....	46
Белогор Р.А. Система очистки балластных вод	52
Соболенко А.Н., Кича Г.П. Гибридная энергетическая установка для буксира, обслуживающего морские объекты шельфа Дальнего Востока и Арктики.....	56

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКА

Адамюк Е.В., Дыда А.А. Применение оптимальных и прогнозирующих моделей в задаче управления судном	62
Борисов С.И. Токи абсорбции в изоляции обмоток судовых асинхронных двигателей	69
Чинчукова Е.П. Метод настройки системы управления курсом судна на основе эталонных моделей.....	73
Чинчукова Е.П. Адаптивная система управления курсом судна с учетом динамики нелинейной рулевой машины на основе локального критерия качества	79

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ

УДК 656.61.052

МЕТРИКИ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАФИКА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

Ю.С. Иваненко

Дальневосточный федеральный университет,

г. Владивосток

yurown92@yahoo.com

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения навигационной безопасности движения на морских акваториях. Рассматривается задача определения шаблонов параметров движения (кластеризации) в многомерном фазовом пространстве (координаты, скорость, курс и т.п.). При этом предлагается обратиться к ретроспективным данным о движении судов, предоставляемых Автоматической идентификационной системой (АИС) и доступных на открытых Интернет-ресурсах. Одним из результатов решения общей задачи являются представления об интенсивности движения на акватории. В работе вводится набор метрик интенсивности движения судов, основанных на количестве и траекторных свойствах судов, проходящих через тот или иной участок акватории.

Ключевые слова: управление движением судов, опасное сближение, траектория движения, точка кратчайшего сближения, АИС.

METRICS OF ESTIMATION OF MARINE TRAFFIC INTENSITY

Y.S. Ivanenko

Far Eastern Federal University,

Vladivostok

yurown92@yahoo.com

Abstract. The paper is devoted to the problem of ensuring navigation safety on the sea. The task of determining patterns of motion parameters (clustering) in a multidimensional phase space (coordinates, velocity, course, etc.) is considered. It is proposed to refer to the retrospective data on the movement of vessels provided by the Automatic Identification System (AIS) and available on open Internet resources. One of the results of solving a general problem is the idea of the intensity of movement

in the water area. The paper introduces a set of traffic intensity metrics based on the number and trajectory properties of vessels passing through certain water area.

Keywords: vessel traffic control, collision avoidance, trace, closest point of approach, AIS.

Оригинальность: 72,59 %,
27.05.2019

Безопасное судовождение является одной из основных категорий, которые связаны с эксплуатацией морского транспорта. При высокой интенсивности трафика акватории для безопасного движения судов, требуется строгое соблюдение правил судовождения и следование конкретной схеме безопасного движения (правилам движения) [1].

Правила судоходства на конкретной акватории обычно предписывают соблюдение определённой схемы движения, зависящей от географии акватории и особенностей её трафика. Часто возможны различные варианты подобной схемы: выбор в пользу одного из вариантов обусловлен необходимостью обеспечения максимальной безопасности движения на участке акватории и практическими соображениями.

Одним из самых важных показателей, который определяет навигационную безопасность движения на конкретной акватории, является интенсивность движения. Её высокое значение является побудительным мотивом более тщательного изучения существующей схемы движения и предоставления судоводителям соответствующих технических средств, обеспечивающих оперативную поддержку принятия решений в сложной навигационной ситуации. Перспективным путём к оценке интенсивности движения или других свойств трафика акватории, является использование данных автоматической идентификационной системы (АИС). [2]

Основной проблемой при использовании данных автоматической идентификационной системы, предоставляемых различными открытыми Интернет-ресурсами, является ограниченная точность определения навигационных параметров морских судов, а также низкая частота поступления информации. В работе рассмотрен формат представления исходных данных о движении и имеющиеся ограничения, предложены алгоритмы и методы оценки интенсивности движения морских судов. Полученные результаты дают возможность построения устойчивой картины высоконагруженных участков морских акваторий с точки зрения метрик, а также открывают возможность определить те морские суда, которые не укладываются в динамически определяемые или заранее установленные рамки движения (шаблоны, кластеры) конкретной акватории.

Методы и материалы

Рассмотрим основные модельные представления задачи. Данные о движении судов, доступные на открытых интернет-ресурсах типа [3], представляют собой множество кортежей вида

$$\{SID, LAT, LON, V, K, TIME, AGE\}, \quad (1)$$

где SID — идентификатор судна; LAT — географическая широта; LON — географическая долгота; V — скорость движения; K — курс; $TIME$ — время поступления данных; AGE — возраст данных, определяющий фактический момент времени, которому они соответствуют. Кроме того, доступна дополнительная информация о каждом судне: тип, флаг, порт назначения и др.

В случае, если требуется осуществлять моделирование движения судна по конкретной акватории, размеры которой обычно не достигают сотни километров, целесообразно перейти от географических координат судна к местным прямоугольным, преобразовав их по правилу:

$$\begin{aligned}x &= R \cos(LAT) \sin(LON - LON^*) \\y &= R \sin(LAT - LAT^*),\end{aligned}$$

где R — средний радиус Земли при представлении её сферой; LAT^* и LON^* — соответственно широта и долгота точки, принимаемой за начало местной прямоугольной системы координат.

Рассматриваются три метрики интенсивности движения: «количество судов», «скорость судов», «размеры судов».

Метрика «количество судов» определяет число судов, которые двигались (или покоились) на определённом участке морской акватории за единицу времени.

Метрика «скорость судов» определяет «количество движения» на определённом участке морской акватории: число судов, которые прошли за единицу времени с учетом скорости их движения. Чем быстрее движется судно, тем больше его «вес» в метрике (по единице за каждые 10 м/с). Покоящиеся суда не учитываются.

Метрика «размер судов» определяет «общую длину» судов, которые прошли через определенный участок морской акватории. Чем длиннее судно, тем больше его «вес» в метрике (по единице за каждые 100 метров длины). Покоящиеся суда также учитываются.

Указанные метрики были рассчитаны на реальных данных трафика нескольких морских акваторий. В данной работе представлены результаты для Сангарского пролива. Были обработаны данные о трафике за 24 часа и содержащие около 200 000 записей (1).

Результаты

На рисунках 1-3 показаны результаты расчётов интенсивности движения судов в Сангарском проливе. Размер одной клетки равен 1 км.

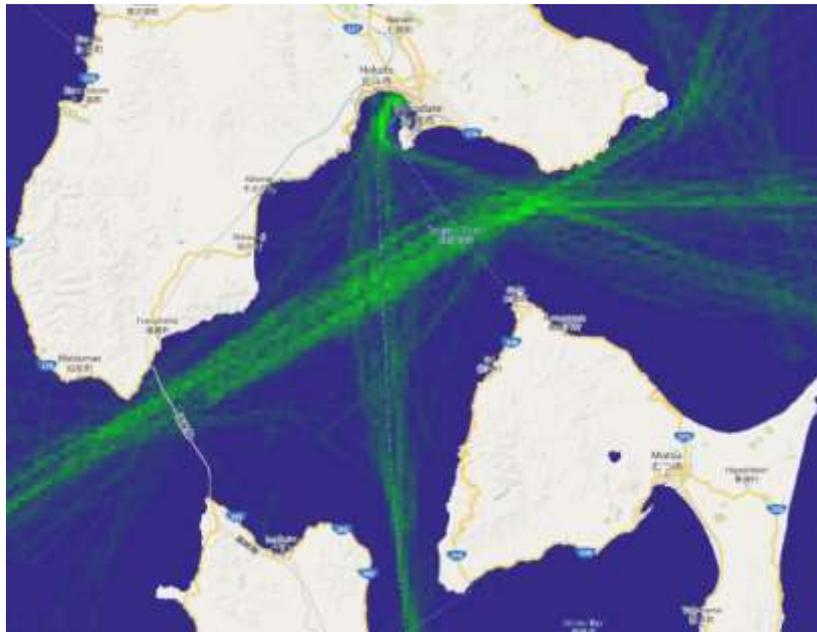


Рис.1. Результаты расчета метрики «количество судов» в Сангарском проливе

Рисунок 1 показывает метрику «количество судов». Её значения колеблются в диапазоне от 0.2 (темно-зелёный) до 1 судна в час (ярко-зелёный). В целом интенсивность движения в проливе невысока.

Рисунок 2 показывает метрику «скорость судов». В сравнении с метрикой «количество судов» видны участки, где движутся скоростные суда (жёлтые точки).

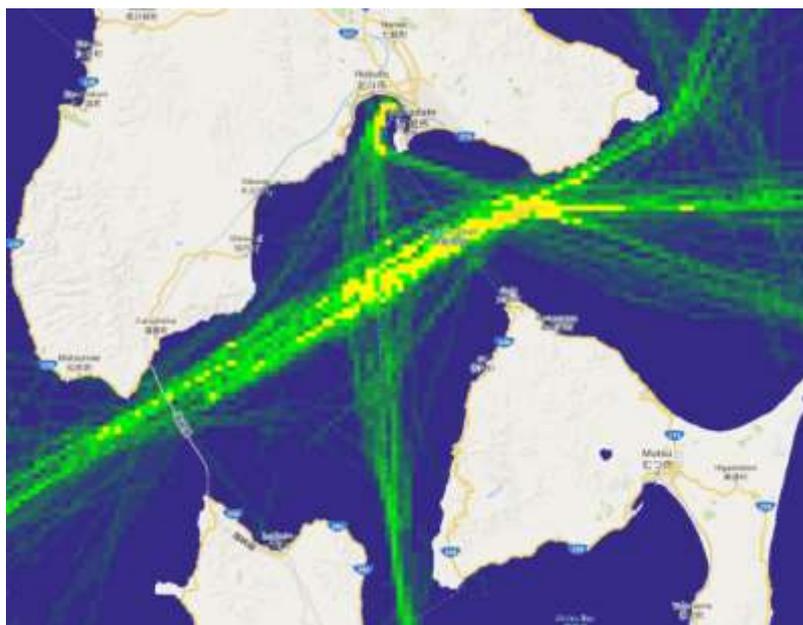


Рис. 2. Результаты расчета метрики «размер судов» в Сангарском проливе

Рисунок 3 показывает метрику «размер судов». Видны участки, где движутся самые большие суда (желтые точки). В сравнении с рисунком 2 можно сделать вывод о том, что самые большие суда как правило являются и самыми скоростными.

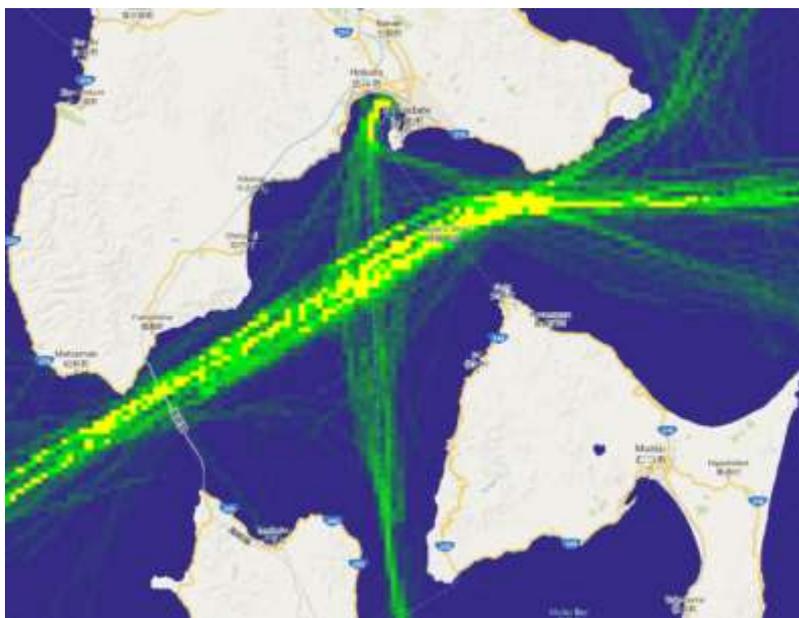


Рис. 3. Результаты расчета метрики «скорость судов» в Сангарском проливе

В целом видна особенность трафика акватории: пересекающиеся судопотоки «север-юг» и «запад-восток».

Полученные в рамках исследования результаты позволят разработать алгоритмы, которые выявляют суда, нарушающие сложившиеся «правила» движения на конкретной акватории, что позволит обеспечивать безопасность судоходства.

Созданные алгоритмы могут быть встроены в интеллектуальные системы управления движением морских судов с целью улучшения морской ситуационной осведомленности и снижения нагрузки на оператора. Реализация этих методов позволит в будущем перейти от задач апостериорного анализа больших данных, собираемых с судов, к внедрению подобных алгоритмов в реальном времени непосредственно на борту морского судна с целью повышения оперативности принятия решений.

Источники и литература

1. Rong Zhen, Yongxing Jin, Qinyou Hu, Zheping Shao, Nikitas Nikitakos Maritime Anomaly Detection within Coastal Waters Based on Vessel Trajectory Clustering and Naïve Bayes Classifier // The Journal of Navigation. — 2017. — Vol. 70. — P. 648–670.
2. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С. Использование данных АИС для оценки опасности коллективного движения на морской акватории // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2017. — № 3 (18).
3. MarineTraffic [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.marinetraffic.com>

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

УДК 519.872.6

ПРАКТИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОТРАБОТКЕ
СНЯТИЯ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ
РАДИОКАРТЫ ПОМЕЩЕНИЯ

М.С. Каменев
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток
stone-95@mail.ru

Аннотация. В рамках создания системы навигации по внутренним судовым помещениям проведён практический эксперимент по отработке снятия первичных данных, необходимых для составления радиокарты помещения.

Ключевые слова: радиокарта, навигация в помещениях, Bluetooth, пассажирские суда.

PRACTICAL EXPERIMENT ON DEVELOPMENT
OF TAKING MEASUREMENTS OF PRIMARY DATA
FOR MAKING RADIO MAP OF PREMISES

M.S. Kamenev
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok
stone-95@mail.ru

Abstract. As part of the creation of a navigation system for the inner ship premises, a practical experiment on development of taking measurements of primary data needed for making the premise's radio map carried out.

Keywords: radio map, indoor navigation, Bluetooth, passenger ships.

Оригинальность: 98,63 %,
13.03.2019

Морские пассажирские перевозки, на сегодняшний день, составляют значительную часть мировой морской транспортной отрасли. В прибрежном плавании они обеспечиваются небольшими пассажирскими скоростными судами и паромами, а в рейсах на дальние расстояния, так называемых «морских круизах» используются намного более крупные суда, например, пассажирский лайнер «Oasis

of the Seas» компании Royal Caribbean International, длина которого составляет 361 метр, ширина — 47 метров, имеет 15 только пассажирских палуб и способен разместить на борту до 6307 пассажиров [1]. Все эти огромные площади являются не открытым пространством, а составляют весьма сложную сеть коридоров и помещений, среди которых вовремя найти нужный эвакуационный путь в аварийной обстановке в условиях паники и цейтнота человеку, незнакомому с планировкой данного судна зачастую бывает попросту невозможно. Ярким, но, к сожалению, не единственным примером является крушение пассажирского лайнера «Costa Concordia» у берегов Италии в 2012 году, в результате которого погибло 32 человека [2].

Для предотвращения или, по крайней мере, сокращения количества жертв в аварийной ситуации крайне важно в кратчайший срок организовать эвакуацию, найти и спасти пострадавших, но на огромных пассажирских морских лайнерах это практически невозможно обеспечить без данных о местоположении пострадавших, а также чётким указаниям каждому эвакуирующемуся пассажиру. Следовательно, появляется явная необходимость определения местоположения, количества, а также наличия автоматизированной системы получения персональных эвакуационных указаний. Поставленная задача может быть решена при помощи внутрисудовых систем позиционирования и идентификации.

В рамках создания данной системы был проведён практический эксперимент по отработке снятия первичных данных, необходимых для составления радиокарты помещения, являющейся базой данных системы навигации.

На рисунке 1 показана схема помещения, используемого в качестве испытательного полигона. Красными квадратами на ней отмечены места установки Bluetooth-маяков «SKYLAB Beacon VG02» (см. рис. 2), а синими окружностями — реперные точки (места снятия радиоданных). В качестве инструмента снятия данных использовался смартфон «Sony XPERIA Z1 Compact» с установленным ПО «SkyLabBeaconVG02 Detector 3000 UltraHD» (см. рис. 3).

Исходя из полученных данных, можно судить о достаточности или недостаточности уровня радиосигналов маяков для стабильного позиционирования в определённой точке помещения, например, вблизи от точек 1 и 24 наглядно видна необходимость размещения дополнительного маяка. После добавления недостающих маяков и повторного снятия уровней сигнала во всех реперных точках помещения, полученные данные можно использовать для составления финальной радиокарты.

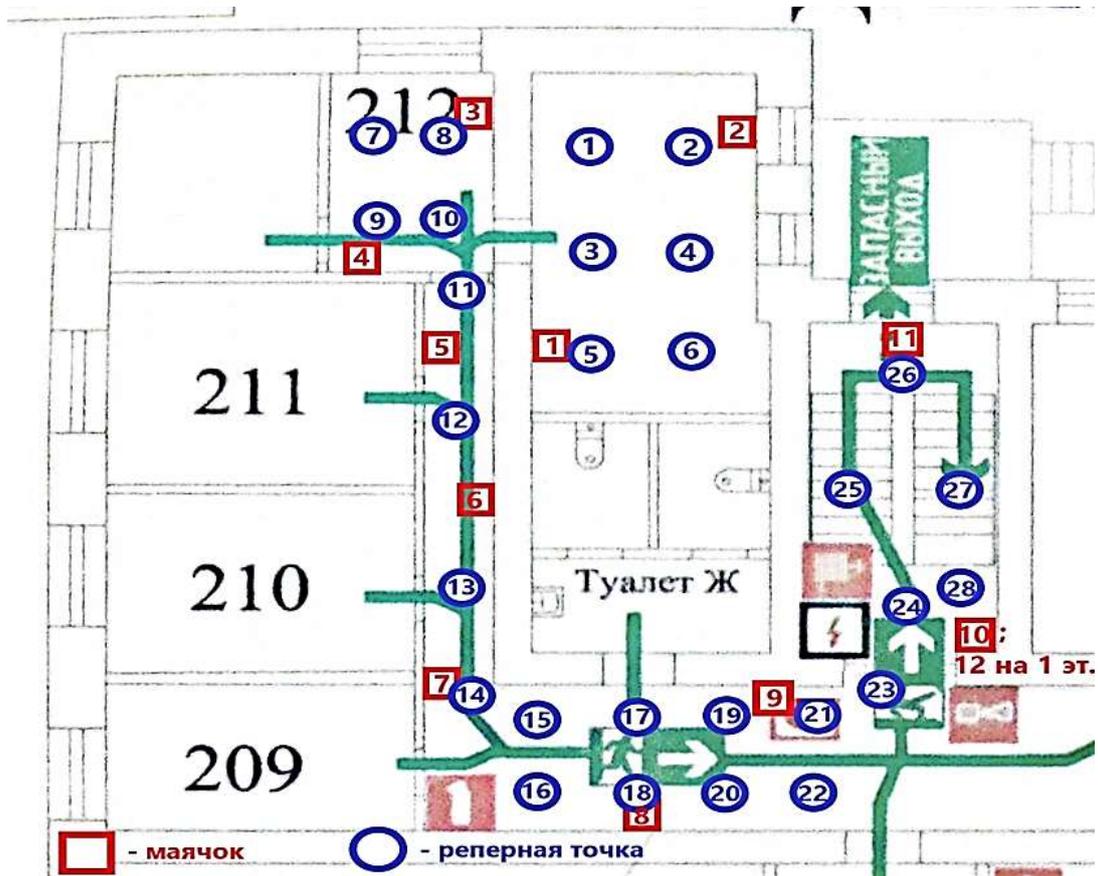


Рис. 1. Схема испытательного полигона



Рис. 2. Bluetooth-маяк

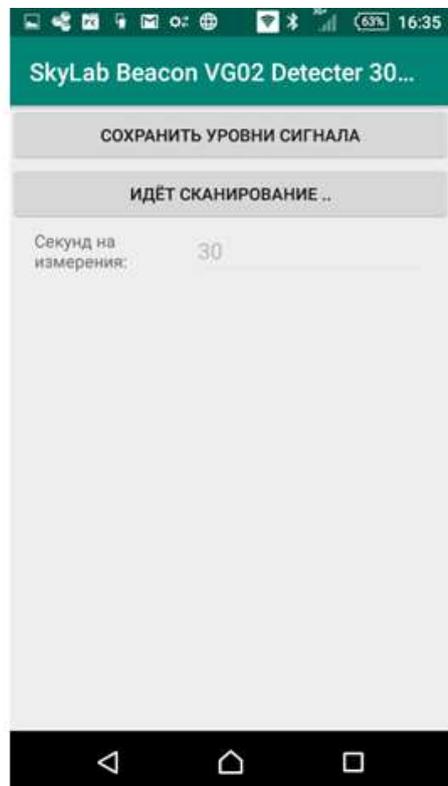


Рис. 3. Смартфон с установленным ПО

Показания доступных маяков в каждой реперной точке

№ реп. точки	I маяк		II маяк		III маяк		IV маяк	
	№	Ослабевание, db	№	Ослабевание, db	№	Ослабевание, db	№	Ослабевание, db
1	2	-69						
2	2	-67	1	-80				
3	2	-80	1	-81	4	-92	10	-95
4	3	-86	3	-88				
5	1	-54	3	-87				
6	2	-76	11	-86	8	-101		
7	2	-83	6	-93				
8	2	-75	4	-78				
9	4	-65	1	-84	2	-91		
10	5	-75	3	-79	6	-88		
11	5	-60	3	-82	7	-86	2	-90
12	6	-60	8	-84	1	-90		
13	6	-76	8	-91	1	-101		
14	9	-78	7	-78	1	-86	10	-90
15	7	-91	11	-103				
16	8	-62	9	-91	10	-95		
17	7	-85	5	-93	1	-94		
18	8	-77	10	-92				
19	8	-84	11	-94				
20	8	-90	11	-96				
21	8	-83	7	-90				
22	10	-81	11	-87	8	-99		
23	9	-68	8	-74	12	-78		
24	12	85						
25	11	-68	10	-82	9	-91	6	-92
26	7	-100	8	-88				
27	11	-73	12	-77	7	-95	1	-98
28	12	-75	10	-79	9	-89		

Источники и литература

1. Cruisetips.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cruisetips.ru/ship/deckplans/oasis-of-the-seas>
2. Cruise Ship COSTA CONCORDIA. Marine casualty on January 13, 2012. Report on the safety technical investigation. — Министерство инфраструктуры и транспорта Италии, 2012.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

И.И. Кислова¹, Е.С. Роншина², Ю.Б. Стегостенко³

Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского,

г. Владивосток

¹ kislova@msun.ru

² ronshina@msun.ru

³ stegostenko@msun.ru

Аннотация. Использование в рамках учебного процесса современных информационных технологий позволяет получить навыки безопасного мореплавания, отработать алгоритмы действий в условиях моря. Ввиду глобализации рынка образования, использование цифровых технологий в морском образовании однозначно приведёт к повышению конкурентоспособности университета и привлечению обучающихся.

Ключевые слова: система электронного обучения, морское образование, цифровые технологии, качество обучения.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN MARINE EDUCATION

I.I. Kislova¹, E.S. Ronshina², Y.B. Stegostenko³

Maritime State University named after admiral Nevelskoy,

Vladivostok

¹ kislova@msun.ru

² ronshina@msun.ru

³ stegostenko@msun.ru

Abstract. The use of actual information technologies within the framework of the educational process makes it possible to acquire the skills of safe navigation, to work out algorithms of actions in the sea. Due to the globalization of the education market, the use of digital technologies in maritime education will definitely lead to an increase in the competitiveness of the university and the involvement of students.

Keywords: LMS, marine education, digital technology, quality of education.

Безопасность мореплавания невозможна без современных знаний, которые будущие профессионалы приобретают в стенах университета. Фундаментом профессиональных знаний является морское образование. МГУ им. адм. Г.И. Невельского, созданный в далёком 1944 году как высшее мореходное училище для подготовки кадров морской отрасли, сегодня является крупным образовательным центром страны.

Университет осуществляет подготовку по 46 направлениям и специальностям. В их числе 26 программ высшего образования (ВО), 8 программ среднего профессионального образования, 12 программ подготовки кадров высшей квалификации. Кроме того, 11 структурных подразделений университета предлагают более двухсот дополнительных программ для различных категорий пользователей. Каждая из программ непосредственно связана с морской отраслью.

Обеспечение кадрами перспективных направлений развития транспортной отрасли в современных условиях может быть выполнено на основе использования современных образовательных технологий, включая электронное обучение и дистанционные технологии [1]. Кроме того, последние федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) требуют использования информационных технологий при реализации образовательных программ. Поэтому университет активно разрабатывает электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС) для взаимодействия участников образовательного процесса.

Одним из основных требований ФГОС ВО к условиям реализации образовательных программ является обеспечение каждого обучающегося в течение всего периода обучения индивидуальным неограниченным доступом к ЭИОС организации. При этом функционирование ЭИОС должно обеспечиваться соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий и квалификацией работников ее использующих и поддерживающих. Созданный в университете в 2016 году Центр координации электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (ЦК ЭО и ДОТ) отвечает за соответствие элементов ЭИОС требованиям ФГОС ВО и совершенствование образовательного процесса. Основными направлениями работы ЦК ЭО и ДОТ являются:

- разработка и актуализация локальных нормативных актов, регламентирующих цифровизацию обучения в университете;
- внедрение, техническая поддержка и сопровождение системы электронного обучения университета (СЭО) «Курс»;
- совершенствование СЭО в университете, формирование пользовательской документации, интуитивно-понятного интерфейса;
- участие в научной работе по направлению цифровизации обучения;

— обеспечение соответствия требованиям наличия и использования электронной информационно-образовательной среды при аккредитации образовательных программ.

Для соответствия ФГОС, внедрения в учебный процесс современных образовательных технологий и повышения качества обучения в университете разработаны основные подходы к проведению независимой оценки качества знаний обучающихся с использованием СЭО «Курс». Это потребовало от ЦК ЭО и ДОТ разработки целого перечня локальных нормативных актов университета по цифровизации учебного процесса, проведения обучающих семинаров, а также проведения секции на указанную тему на ежегодной всероссийской научно-методической конференции «Актуальные вопросы качества образования», проводимой университетом.

По направлениям деятельности разработаны:

- Методические рекомендации по разработке электронного учебного курса для системы электронного обучения МГУ им. адм. Г.И. Невельского;
- Положение об особенностях проведения государственного (итогового) экзамена и защиты выпускной квалификационной работы по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;
- Положение о системе внутренней независимой оценки качества подготовки обучающихся в МГУ им. адм. Г.И. Невельского в системе электронного обучения «Курс»;
- Положение о портфолио обучающегося;
- Актуализация положения об организации образовательного процесса с применением ЭО и ДОТ;
- Нормы времени преподавателей для ЭО и ДОТ;
- Рейтинговые показатели преподавателей для ЭО и ДОТ;
- Инструкция для заполнения портфолио в СЭО «Курс»;
- Инструкция для создания тестов по проверке остаточных знаний в СЭО «Курс»;
- Презентации и выступления перед обучающимися очередного набора;
- Учебные материалы для курсов повышения квалификации преподавателей (по двум дополнительным профессиональным программам), предоставляющие возможность получения компетенции по информационным технологиям преподавателям и сотрудникам университета.

За последний год число пользователей СЭО «Курс» достигло 5130, из них 4280 — студенты, остальные — преподаватели и сотрудники университета,

преподаватели зарегистрированы все. Регистрация студентов проводится на сайте университета с помощью электронной формы.

В начале учебного года по каждой из более чем 2800 дисциплин (практик, элективных курсов) образовательных программ университета по очной и заочной формам обучения была создана своя электронная оболочка в СЭО «Курс» с привязкой к конкретному преподавателю и группе обучающихся. То есть, у каждого преподавателя появляется возможность наполнять свою дисциплину в СЭО «Курс» имеющимися электронными материалами для организации, например, самостоятельной работы, а у каждого зарегистрировавшегося обучающегося есть возможность с ними ознакомиться. Если материал разработан в предыдущем году, его достаточно или скопировать из одной оболочки в другую, или, если необходимо, скорректировать [2]. ЦК ЭО и ДОТ проводил курсы повышения квалификации по обучению соответствующим навыкам работы в СЭО «Курс». В 2018 году преподавателям и сотрудникам университета выдано 93 сертификата о повышении квалификации, теперь каждый второй преподаватель университета прошёл обучение по работе в СЭО «Курс».

В свою очередь, для поступивших на обучение в начале каждого учебного года проводились ознакомительные занятия в формате устного выступления с презентацией по работе в СЭО «Курс». Использование СЭО «Курс» для организации самостоятельной работы обучающихся, для сопровождения учебного процесса расширяет возможности получения качественного образования за счёт:

- быстрого и удобного способа получения учебной информации;
- индивидуализации учебного процесса;
- учёта специфики обучения по программам, соответствующим международным и национальным требованиям к подготовке членов экипажей морских судов и судов внутреннего водного плавания, когда строевая подготовка, несение дежурной службы, выполнение работ по самообслуживанию не позволяют всем обучающимся одновременно присутствовать на аудиторных занятиях.

Для береговых направлений подготовки, имеющих отношение к информатизации, взаимодействие с СЭО «Курс» может быть частью учебной и производственной практики при изучении устройства и функционирования систем электронного обучения. Положительный опыт уже имеется: несколько студентов уже прошли практику в ЦК ЭО и ДОТ в этом направлении. Польза для университета тоже очевидна — внедрение цифровизации в учебный процесс проходит на более глубоком уровне. Работа в этом направлении будет продолжена.

Выполнение совместно с ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова опытно-конструкторской работы по теме «Разработка технических и технологических средств подготовки специалистов в отраслевых учебных заведениях, использование иннова-

ционных технологий в образовательном процессе» в части разработки интерактивных элементов для конвенционных дисциплин позволяет расширить сферу деятельности в области цифровизации с целью взаимодействия с коллегами из других учебных заведений отрасли и повышения качества подготовки специалистов морской отрасли. В перспективе - получение возможности использовать разработанные совместно учебные материалы при реализации основных и дополнительных программ подготовки плавсостава. Созданные электронные учебные материалы впоследствии будут размещены в системах электронного обучения морских образовательных учреждений с целью использования в учебном процессе.

Использование в рамках учебного процесса виртуальных лабораторных работ, тренажёров и симуляторов устройств позволяет получить навыки безопасного мореплавания, отработать алгоритмы действий в условиях моря. Ввиду глобализации рынка образования, использование цифровых технологий в морском образовании однозначно приведёт к повышению конкурентоспособности университета и привлечению обучающихся.

Источники и литература

1. Кислова И.И., Роншина Е.С., Стегостенко Ю.Б. Цифровизация. Вызовы для образования // Проблемы высшего образования: материалы междунар. науч.-метод. конф., Хабаровск, 11–13 апр. 2018 г. / под ред. Т.В. Гомза. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. — С. 157–159.
2. Дешнер А.И., Кислова И.И., Стегостенко Ю.Б. Электронная поддержка образовательного процесса // Актуальные вопросы качества морского образования: сб. материалов 41-й Всерос. научн.-метод. конф. с междунар. участием, Владивосток, 22-27 июня 2018 г. : в 2 т. / отв. ред. : О.Г. Сикорская. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2018. — Т. 1. — С. 68–71.

Поступила в редакцию 12 марта 2019 г.

УДК 656.618

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА МОРЕ
ПРИ РАБОТЕ С БУРОВЫМИ ПЛАТФОРМАМИ

О.К. Лесогор¹, Г.Н. Шарлай²

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

¹ olenka.lesogor@mail.ru

² Gsharlay@msun.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос безопасности на море при проведении буксировочных операций, при работе с буровыми нефтяными платформами и требования, которые должны при этом выполняться.

Ключевые слова: буровая платформа, буксир, экипаж, суда, метеорологические условия.

ENSURING SAFETY AT SEA,
WHEN WORKING WITH DRILLING OIL PLATFORMS

O.K. Lesogor¹, G.N. Sharlay²

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok

¹ olenka.lesogor@mail.ru

² Gsharlay@msun.ru

Abstract. This article discusses safety at sea during towing operations, when working with drilling oil platforms and, the requirements that must be met.

Keywords: drilling platform, tug, crew, ships, meteorological conditions.

Оригинальность: 71,15 %,
18.03.2019

Буксирным устройством называется комплекс изделий и механизмов, позволяющих судну буксировать другие суда или идти на буксире самому.

Буксировки выполняются, спасательно-буксирными судами, ледоколами, транспортно-буксирными судами (ТБС) (Рис. 1). Правилами классификации и постройки морских судов и правилами по оборудованию морских судов (согласно изданию Морского регистра судоходства), касающейся буксирных судов, должны

пользоваться этими документами. Проект перегона, должен быть одобрен Морским Регистром Судоходства.

В настоящее время все больше и больше появляется нефтяных платформ, которые планируют бурение скважин и добычу нефти на севере и других месторождениях. Также проблема состоит в буксировке нефтяных платформ особенно в ледовых условиях. Буксировка нефтяной платформы идет до зимнего места базирования, или до порта приписки. Нужно подобрать план перехода, так, чтобы он удовлетворял проекту буксировки (перегону) нефтяной платформы. Чтобы был обучен экипаж, чтобы было продовольствие на судах, экипаж был снабжен рабочей одеждой.



Рис. 1. Буксировка ТБС «Сатурн» в порт Славянка

Имеется множество разных видов платформ для бурения в море: от стальных труб на мелководье и до плавучих полу-погружных и буровых платформ, способных работать в очень глубоких водах и на малых глубинах.

В Северном и Охотском морях экипаж и другие работники буровых платформ, перевозятся на вертолете в течение четырехнедельной смены, летом перевозятся на пассажирском судне. Если они стоят в порту — то обычными вспомогательными буксирами, которые их обслуживают. Эта цель обеспечения перевозки рассмотрена в статье. Они обычно получают более высокую зарплату, чем другие работники отрасли. Запасы и отходы транспортируются на судне, и снабжение должно быть хорошо спланировано, поскольку площадь пола на платформе ограничена. Для этого существуют вспомогательные суда, которые

с ними работают. На данный момент много усилий направлено на перемещение как можно большего количества персонала на берег, где менеджеры и технические эксперты, директора и другие работники на берегу связываются с платформой посредством видеоконференций, почтой и телефонными звонками. Работа на берегу, более привлекательна для стареющей рабочей силы в нефтяной промышленности. Подводные сооружения легче расширять благодаря новым сепараторам или отдельным модулям для разных типов нефти, которые разрабатываются каждый год, и они не ограничены площадью морской буровой платформы.

Согласно циркулярному письму MSC/Circ.884 РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ОКЕАНСКИХ БУКСИРОВОК (принято 11 декабря 1998 года), есть рекомендации по планированию, подготовке, комплектации экипажами, и необходимые стандарты к применяемому оборудованию и снабжению, также указано в книге рекомендации капитанам. Кроме того, на буксирных дугах должны быть нанесены цвета безопасности, а на видных местах с обоих бортов буксира (ледокола) нанесены предупреждающие надписи: «БЕРЕГИСЬ БУКСИРА!» Способность членов экипажей решать поставленные задачи в проведении буксировок отражена в резолюции Международной Морской Организации А.850(20), суть которой состоит в том, что ошибки одного человека, ответственного за судовождение, не должны влиять на безопасность действий всего экипажа или буксирного каравана, или буксировку в целом. Экипаж должен работать слажено, выполнять те или иные функции согласно конвенции ПДМНВ-78, где прописаны функции и обязанности вахтенных помощников и капитанов, старших механиков и электромехаников, и всего экипажа судна. Из этого следует, что разработка технологий безопасных и эффективных буксировочных операций для нефтяных платформ, актуальной задачей. На данный момент идет сильное освоения углеводородного и минерального сырья, добыча нефти и газа на шельфовых районах Мирового океана.

Все расчеты должны быть сделаны заранее, и подготовлен план перехода один для всех судов, которые участвуют в караване. Если возможно, то погода должна быть доступна круглосуточно на протяжении всей буксировочной операции. Буксирующее судно должно иметь отражаемую в соответствующем документе систему обслуживания всех важных судовых систем, включая аппаратуру связи и навигационную, главные и вспомогательные механизмы, рулевое, грузовое и буксирное устройство.

Независимо от вышеизложенных требований, все буксирующие суда, независимо от их размера, должны иметь, как минимум:

- 1) радиолокатор, удовлетворяющий соответствующим признанным эксплуатационным требованиям для судна данного размера и назначения;

2) оборудование для борьбы с пожаром (станции пенного тушения и другие);

Должно быть установлено следующее оборудование:

- 1) установка прожекторов, на ходовом мостике и, чтобы с него производили управление прожекторами.
- 2) две УКВ радиостанции с цифровым избирательным вызовом, если они еще не установлены в соответствии с Глобальной морской системой связи при бедствии для обеспечения безопасности (ГМССБ);
- 3) Освещаемый путевой магнитный компас или освещаемый магнитный компас с индукционным чувствительным элементом (с резервным источником питания), показания которого можно снимать с главного поста управления рулем;
- 4) эхолот, показания которого можно снимать с главного поста управления рулем;
- 5) электронный прибор определения места;
- 6) откорректированные морские карты района следования, изданные соответствующей властью в масштабе достаточной величины, для того чтобы обеспечить возможность судовождения в районе;
- 7) любые другие откорректированные навигационные издания и извещения, также ЭКНИС (электронно-навигационная картографическая система).

Морская нефтяная платформа — это небольшое сообщество со столовой, спальными помещениями, управлением и другими функциями. Известные морские месторождения сегодня находятся в Северном море, в Мексиканском заливе, в Западной Африке, Юго-Восточной Азии и на Сахалине в России.

Для обеспечения безопасности буксируемого судна на его борту может находиться квалифицированный экипаж или его минимально необходимая часть, возглавляемая капитаном. Буксировка судна с пассажирами на борту запрещается. На всех судах и буровых платформах, остается только минимальный экипаж. Также на судне должен быть буклет аварийной буксировке, который должен содержать: название судна, номер ИМО, позывные, осадка «в грузу» и балласте, водоизмещение, схемы буксирного оборудования, безопасные рабочие нагрузки и другое.

При штормовой погоде, если обстоятельства позволяют переждать, лучше судно на буксир не брать. Так как, могут возникнуть трудности во время перегона. Сама буксировка будет иметь риск обрыва буксирного каната и может быть медленной.

Источники и литература

1. Судовые документы Буровой платформы.
2. СОЛАС-74, Международная конвенция по охране человеческой жизни на море, издание 2017 год. Санкт-Петербург, ЦНИИМФ.
3. Руководство по безопасности океанских буксировок (от 11 декабря 1998 года) MSC/Circ. 884

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

А.А. Дыда, К.Н. Пляшешник¹

Морской государственной университет им. Г.И. Невельского,

г. Владивосток

¹ ksushechka_1991@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена актуальность и значимость компьютерного моделирования во всех сферах человеческой деятельности, в частности в судовождении. Приведена математическая модель нахождения угла поворота судна при движении от одной точки к другой, представлены структурные схемы модели и результаты моделирования.

Ключевые слова: траектория движения, угол поворота, моделирование, судовождение, координаты.

SHIP TRAJECTORY SIMULATION

A.A. Dyda, K.N. Plyasheshnik¹

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,

Vladivostok

¹ ksushechka_1991@mail.ru

Abstract. The relevance and importance of computer modeling in all spheres of human activity, in particular in navigation, is considered. A mathematical model of finding the angle of rotation of the vessel when moving from one point to another is presented, the structural diagrams of the model and the results of modeling are presented.

Keywords: trajectory, angle of rotation, modeling, navigation, coordinates.

Оригинальность: 77,41 %,

14.03.2019

Компьютерное моделирование в настоящее время стало очень важным инструментом для изучения динамического поведения технических систем. «Суть компьютерного моделирования заключена в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему» [2].

Одной из важнейших сфер применения моделирования является судовождение, а именно построение траекторий движения судна. Тенденция к сокращению численности судовых экипажей и широкому совмещению профессий значительно усложнили работу на море. Несмотря на оборудование мостиков современными средствами навигации и управления, на море ежегодно 3-4 судна пропадают без вести, происходит в среднем около 220 аварий, в том числе 50 столкновений. Принято считать, что около 10 % аварий происходит в результате форс-мажорных обстоятельств, около 15 % является следствием отказа технических средств управления судном, их систем и устройств. Оставшиеся 75 % относят к субъективным причинам, которые характеризуют обобщенным понятием — влиянием «человеческого фактора», т. е. в результате ошибок человеческой деятельности при управлении судном. Анализ показывает — количество аварий по вине людей, управляющих судами, не сократились.

Одной из базовых систем, определяющих использование современных компьютерных технологий для решения прикладных задач теории управления и моделирования, является математическая среда MATLAB, которая на текущий момент является одним из наиболее признанных мировых стандартов по данному направлению.

Особое значение имеет специальный пакет программных средств Simulink. Это интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем.

Одной из важных задач компьютерного моделирования в сфере судовождения является задача прокладки траектории движения судна от одной точки к другой по принципу кратчайшего расстояния, учитывая навигационную обстановку, погодные условия и т.д.

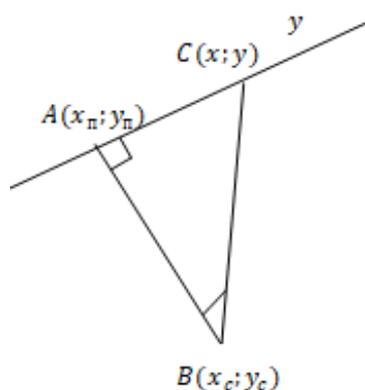


Рис. 1. Траектория движения судна от точки В к точке С

Рассмотрим пример построения траектории движения судна от одной точки к другой, а конкретнее вычисление угла поворота судна, чтобы перейти к заданной точке. Судну нужно перейти из точки В в точку С. Необходимо вычислить

угол поворота судна α , чтобы перейти в точку C . Координаты судна $(x_c; y_c)$, угловой коэффициент k и расстояние BC (обозначим его r) от точки, обозначающей текущее положение судна, до точки, обозначающей следующую точку маршрута судна, заданы (рис. 1).

Опустим перпендикуляр BA из точки B на прямую u и найдем координаты точки аппроксимации $A(x_{п}; y_{п})$ по следующим формулам:

$$F = \frac{1}{2}(x - x_c)^2 + \frac{1}{2}(kx - y_c)^2 = 0, \quad (1)$$

$$F'_x = (x - x_c) + k(ky - y_c) = 0, \quad (2)$$

$$x(1 + k^2) = x_c + ky_c, \quad (3)$$

$$x_{п} = \frac{x_c + ky_c}{1 + k^2}, y_{п} = \frac{k(x_c + ky_c)}{1 + k^2}, \quad (4)$$

где $(x_c; y_c)$ — координаты судна, k — угловой коэффициент.

В данном случае F — уравнение прямой, F'_x — производная от уравнения прямой. Структурная схема вычисления координат точки аппроксимации $A(x_{п}; y_{п})$ в MATLAB представлена на Рисунке 2.

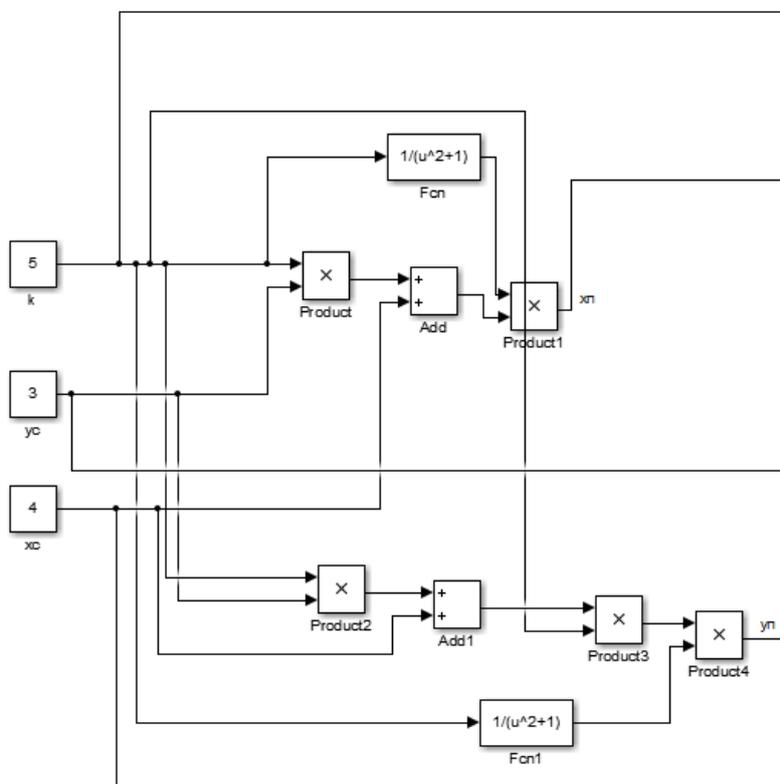


Рис. 2. Структурная схема вычисления координат точки аппроксимации

Далее перейдем к выводу формул для непосредственного нахождения угла поворота судна. По формуле нахождения расстояния между двумя точками в координатах найдем AB и AC (5), (6):

$$AB^2 = (x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2, \quad (5)$$

$$AC^2 = r^2 - ((x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2), \quad (6)$$

где $(x_c; y_c)$ — координаты судна;

$(x_n; y_n)$ — координаты точки аппроксимации;

r — расстояние от текущего местоположения судна до искомого.

Вычислим тангенс угла α и соответственно сам угол α (7):

$$tg\alpha = \frac{AC}{AB} \rightarrow \varphi = arctg \frac{AC}{AB} = arctgk. \quad (7)$$

Получим, что угол поворота φ равен отношению (8):

$$\varphi = \frac{D_y}{D_x}, \quad (8)$$

где D_x и D_y вычисляются по формулам (9), (10):

$$D_x = AB \cdot \cos(arctgk), \quad (9)$$

$$D_y = AC \cdot \sin(arctgk). \quad (10)$$

Искомый угол поворота судна (φ_1) — это угол между вертикальной осью и прямой $BC(r)$ от точки, обозначающей текущее местоположение судна, до точки, обозначающей следующую точку маршрута судна (рис. 4). Угол (φ_1) вычислим через углы $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ по формулам (11), (12), (13):

$$\angle\varphi_1 = \angle\varphi - \angle\varphi_2, \quad (11)$$

$$\angle\varphi_2 = 90^\circ - \angle\varphi_4, \quad (12)$$

$$\angle\varphi_2 = \angle\varphi_4 = k. \quad (13)$$

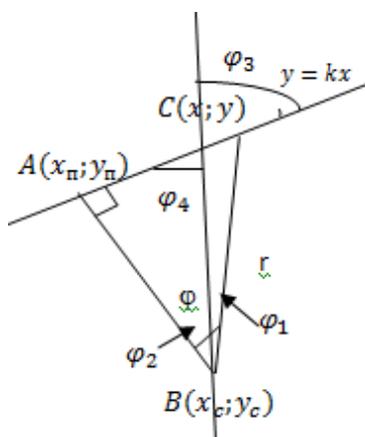


Рис. 4. Структурная схема вычисления угла поворота судна

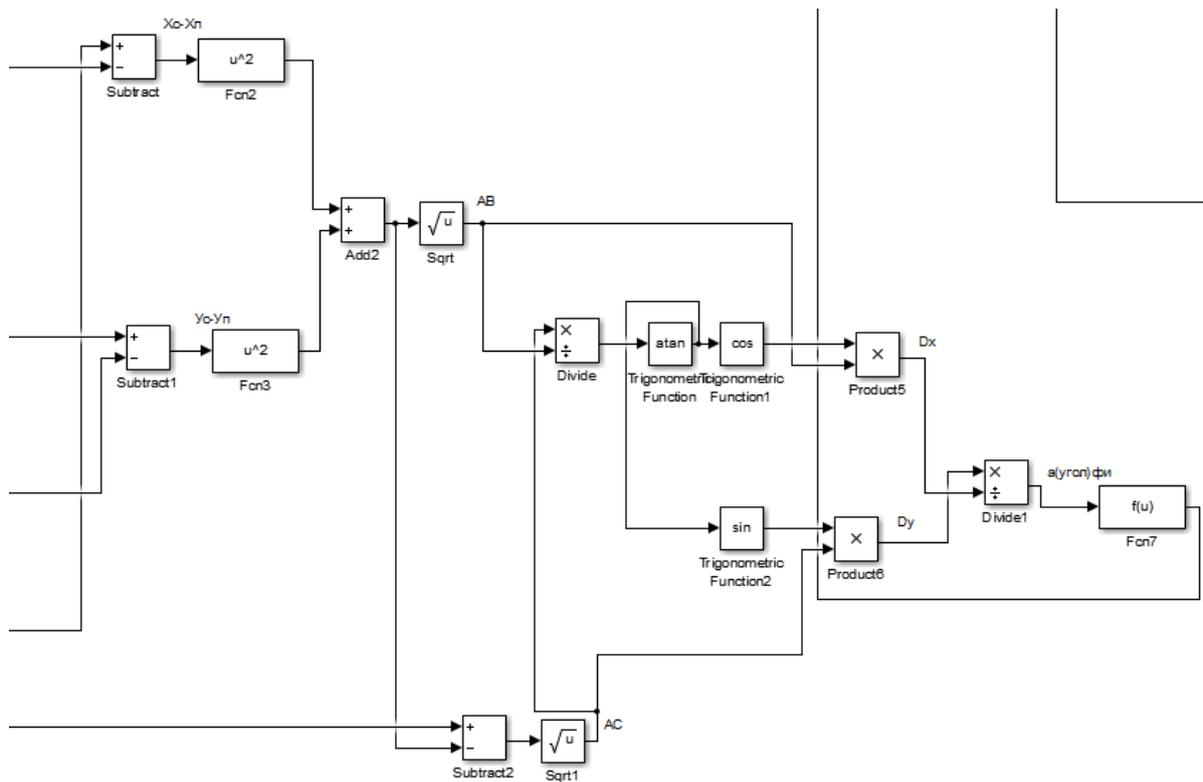


Рис. 3. Структурная схема вычисления угла поворота судна

Структурная схема вычисления угла поворота судна $\angle\varphi_1$ в MATLAB представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Структурная схема вычисления угла поворота судна $\angle\varphi_1$

Полученный угол поворота φ подадим структурную схему модели морского судна, представленную на рисунке 6.

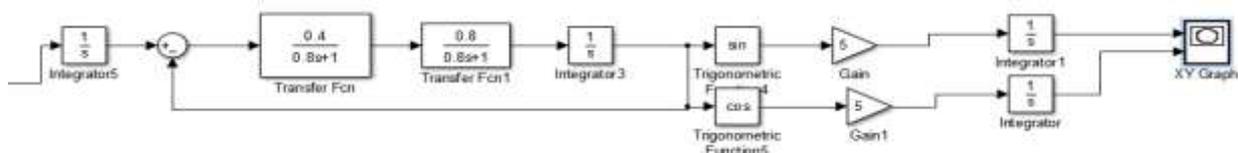


Рис. 6. Структурная схема модели динамики морского судна

Результаты моделирования представлены на рисунке 7.

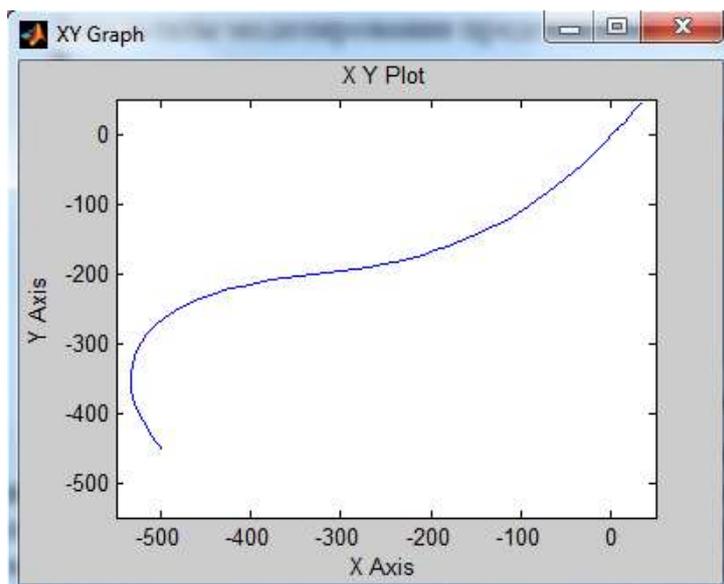


Рис. 7. Результаты моделирования

Данную структурную модель движения можно усложнить с учетом динамических параметров судна (скорость ветра, течения и др.), что позволит еще более точно скорректировать траекторию движения судна и учесть все необходимые параметры на этапе разработки и проектирования.

Источники и литература

1. Аванесова Т.П., Язов Д.В., Меланич А.В. Способ решения проблемы уменьшения влияния человеческого фактора при расхождении судов в море / Т.П. Аванесова // Вестник АГУ. — 2014. — № 1 (133). — С. 123–126.
2. Боев В.Д., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование. — М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. — 526 с.
3. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Поддержка решений по расхождению с судами. — Феникс, 2010. — 229 с.
4. Системный подход к обеспечению безопасности: тенденции и приоритеты развития [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.pandia.ru/text/77/190/26702.php>.
5. Словари и энциклопедии на Академике. [Электронный ресурс]. — URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/emergency/3235/Человеческий>.
6. Смоленцев С.В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С.В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 7–14.
7. Шарлай Г.Н. Управление морским судном: учебное пособие / Г.Н. Шарлай. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. — 543 с.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

УДК 519.872.6

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ

А.А. Дыда, К.Н. Пляшешник¹

Морской государственный университет им. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

¹ ksushechka_1991@mail.ru

Аннотация. Для настройки систем управления движением судна требуется знание параметров его управляемости. В работе строится матричная модель на основе измерений вектора состояния на примере задачи управления курсом судна. Предложен алгоритм определения матричных коэффициентов выбранной модели.

Ключевые слова: безопасность мореплавания, матричная модель динамики судна, вектор состояния, идентификация параметров.

SHIP MOVEMENT MODEL DESIGN BASED ON STATE VECTOR

A.A. Dyda, K.N. Plyasheshnik¹

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok

¹ ksushechka_1991@mail.ru

Abstract. The knowledge of the parameters of its controllability is required to set up the motion control systems of the vessel. The paper builds a matrix model based on measurements of the state vector by the example of a ship heading control problem. N algorithm of matrix coefficient determination is proposed.

Keywords: safety of navigation, matrix model of ship dynamics, state vector, parameter identification.

Оригинальность: 92,83 %,
14.03.2019

Безопасность мореплавания зависит от множества факторов. В том числе от совершенствования систем управления судна. Одной из важнейших задач при построении систем управления является адекватная математическая модель.

В литературе известны различные математические модели. Построение математической модели движения судна связано с определением структуры и пара-

метров уравнений динамики. Для многих практических задач используются линеаризованные (линейные) модели движения судна. Такие как модели Номото 1 и 2 порядка и др.

В настоящей работе предлагается подход к построению матричной модели динамики судна на основе измерений вектора состояний управляемого объекта. Предлагаемый подход рассматривается на простом примере, который далее будет обобщен. Например, построим модель. Пусть движение судна на курсе описывается моделью Номото 1 порядка. Общий вид уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \omega, \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T}\omega + \frac{k}{T}\delta, \end{aligned} \quad (1)$$

где δ — угол поворота пера руля,

φ — курс,

ω — угловая скорость,

T — постоянная времени,

k — коэффициент передачи.

Выполним дискретизацию модели с шагом по времени Δt . Заменяя производные в уравнении (1) конечными разностями получим:

$$\begin{aligned} \frac{\varphi(t_{i+1}) - \varphi(t_i)}{\Delta t} &= \omega(t_i), \\ \frac{\omega(t_{i+1}) - \omega(t_i)}{\Delta t} &= -\frac{1}{T}\omega(t_i) + kT\Delta t_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем вектор состояния $x(i) = \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(t_i) \\ \omega(t_i) \end{pmatrix}$ и $\delta(t_i) = \delta(i)$.

Преобразуем уравнение (2) и получим:

$$\begin{aligned} x_1(i+1) &= x_1(i) + \Delta t \cdot x_2(i), \\ x_2(i+1) &= x_2(i) - \frac{\Delta t}{T} \cdot x_2(i) + \frac{\Delta t}{T} k\delta(i) = \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) x_2(i) + \frac{\Delta t}{T} k\delta(i). \end{aligned}$$

И в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} x_1(i+1) \\ x_2(i+1) \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{pmatrix} + B\delta(i), \quad (3)$$

где $A = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 - \frac{\Delta t}{T} \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{\Delta t}{T} k \end{pmatrix}$.

Матрицы A и B полностью описывают динамику рассматриваемого объекта управления. Задача заключается в нахождении этих матриц, т. е. в идентификации параметров динамики судна.

Представим выражение (3) через блочную матрицу:

$$\begin{pmatrix} x_1(i+1) \\ x_2(i+1) \end{pmatrix} = (A \vdash B) \cdot \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \\ \delta(i) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Формула позволяет при заданном исходном номере шага получить следующие значения. Предлагается, что для конкретного рассматриваемого случая выполнено три шага в дискретном времени. В результате справедливо следующее соотношение (блочные матрицы обозначили через L, S, R):

$$L = SR, \quad (5)$$

$$\text{где } L = \begin{pmatrix} x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) \\ x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) \end{pmatrix},$$

$$R = \begin{pmatrix} x_1(0) & x_1(1) & x_1(2) \\ x_2(0) & x_2(1) & x_2(2) \\ \delta(0) & \delta(1) & \delta(2) \end{pmatrix},$$

$$S = A \vdash B.$$

Очевидно, что матрица R является квадратной, и для нахождения матрицы S , представляющей собой объединение матриц A и B , достаточно умножить на обратную матрицу R^{-1} :

$$S = LR^{-1}. \quad (6)$$

R и L формируются на основе измерений вектора состояния (курса, угловой скорости и т. д.).

Численный пример. Для проверки предлагаемого подхода зададимся конкретными параметрами модели Номото: $\Delta t = 1, T = 20, k = 0,2$. Тогда матрицы A и B соответственно будут равны:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0,95 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,01 \end{pmatrix}.$$

Проверим, позволяет ли полученная формула получить LR^{-1} . Моделирование уравнения Номото в дискретном времени при заданных $\delta(i)$ позволяет сформировать матрицы, составленные из измерений вектора состояний, матрицы L и R примут вид:

	A	B	C	D	E
i		0	1	2	3
x1(i)		1	1	0,995	0,98625
x2(i)		0	-0,005	-0,00875	-0,03831
$\delta(i)$		-0,5	-0,4	-3	3

Рис. Матрицы L и R

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 0,995 & 0,98625 \\ -0,005 & -0,00875 & -0,03831 \end{pmatrix};$$

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0,995 \\ 0 & -0,005 & -0,00875 \\ -0,5 & -0,4 & -3 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Обратная матрица } R^{-1} = \begin{pmatrix} 0,85901 & 194,3604 & -0,28197946 \\ 0,326797 & -186,928 & 0,653594771 \\ -0,18674 & -7,46965 & -0,37348273 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Произведение } LR^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5,55112E - 17 \\ -1,73472E - 18 & 0,95 & 0,01 \end{pmatrix}.$$

Как видно выполнена параметрическая идентификация модели Номото.

Рассмотренный выше случай является идеализированным. На практике компоненты вектора состояния измеряются с погрешностью и в результате идентификации матрицы A и B могут существенно изменяться для вычислений, выполняемых в различные моменты дискретного времени. Для повышения точности определения параметров матриц модели, представляется естественным использование избыточного количества измерений.

Источники и литература

1. Аванесова Т.П., Язов Д.В., Меланич А.В. Способ решения проблемы уменьшения влияния человеческого фактора при расхождении судов в море / Т.П. Аванесова // Вестник АГУ. — 2014. — № 1 (133). — С. 123–126.
2. Боев В.Д., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование. — М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. — 526 с.
3. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Поддержка решений по расхождению с судами. — Феникс, 2010. — 229 с.

4. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС – 72). — 5-е изд. — М.: Моркнига, 2011. — 142 с.
5. Системный подход к обеспечению безопасности: тенденции и приоритеты развития [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.pandia.ru/text/77/190/26702.php>.
6. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. — URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/emergency/3235/Человеческий>.
7. Смоленцев С.В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С.В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 7–14.
8. Смоленцев С.В. Проблема оценки навигационной ситуации в море / С.В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова. — 2015. — № 6 (34). — С. 23–28.
9. Шарлай Г.Н. Управление морским судном: учебное пособие/ Г.Н. Шарлай. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. — 543 с.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТРАФИКА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ
С УЧЁТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ СУДОВОДИТЕЛЯМИ

А.В. Шуленина

Дальневосточный федеральный университет,

г. Владивосток

shuleninaav@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения навигационной безопасности движения морских судов. Рассматривается задача оценки опасности навигационных ситуаций и степени сложности принятия решений судоводителями в условиях реального трафика конкретных морских акваторий. Исходными данными для анализа являются ретроспективные навигационные данные судов, предоставляемые Автоматической идентификационной системой (АИС) и доступные на открытых интернет-ресурсах. Степень сложности принятия решений судоводителями является важным показателем, определяющим безопасность движения на акватории в целом. Метрику опасности того или иного участка акватории предлагается ввести на основе вычисления соотношения скоростей и курсов, при которых возможно опасное сближение судов, и безопасных скоростей и курсов.

Ключевые слова: безопасность движения судов, принятие решений, опасное сближение, управление движением судов.

ESTIMATION OF MARINE TRAFFIC SAFETY IN CONDITIONS
OF UNCERTAINTY IN MAKING DECISIONS BY NAVIGATOR

A.V. Shulenina

Far Eastern Federal University,

Vladivostok

shuleninaav@mail.ru

Abstract. This paper is about the problem of marine traffic safety. The problem of assessing dangerous situations and the degree of complexity of decision-making by navigators is considered on the basis of a retrospective analysis of the movement of ships. The source data for the analysis are the navigation data of ships provided by the Automatic identification system (AIS) and available on open Internet resources.

It is proposed to introduce the danger metric of a certain part of the aquatic area on the basis of calculating the ratio of speeds and courses at which dangerous convergence of vessels is possible, and safe speeds and courses.

Keywords: safety vessel traffic, decision making, vessel traffic control, collision avoidance.

Оригинальность: 73,14 %, 18.03.2019

Навигационная безопасность движения судов — актуальная проблема мореплавания [1]. Основная ответственность за безопасность движения судна ложится на судоводителя, который должен суметь на основании данных о текущей обстановке на акватории, с учётом её специфики, выбрать подходящий курс для движения или манёвра. Принятие этого решения происходит в условиях неопределённости: у судоводителя есть как разрешенные (безопасные) возможные значения скорости и курса, так и запрещенные (ведущие к опасному сближению) в условиях коллективного движения. Соотношение запрещенных и разрешенных скоростей и курсов движения судна может служить показателем (метрикой) эмоциональной нагрузки на судоводителя при принятии решения. Для решения поставленной задачи необходимо определить точки опасного сближения для каждого возможного значения скорости и курса, оценить характерное значение отношения опасных значений скоростей и курсов к безопасным в каждой точке акватории и сделать удобную визуальную интерпретацию полученных результатов. В целом такое представление даст возможность оценить существующую схему движения судов с точки зрения эмоциональной нагрузки на судоводителя, связанной со сложностью принятия им решений.

Модельные представления. Данные о движении судов, доступные в открытых источниках, [2] представляют собой множество кортежей следующего вида

$$\{SID, LAT, LON, V, K, AGE, TIME\}, \quad (1)$$

где *SID* — идентификатор судна; *LON* — географическая долгота; *LAT* — географическая широта; *V* — скорость движения; *K* — курс; *AGE* — возраст данных, определяющий фактический момент времени, которому они соответствуют; *TIME* — время поступления данных.

В случае, если требуется осуществлять моделирование движения судна по конкретной локальной акватории, размеры которой не превышают сотни километров,

целесообразным является переход от географических координат судна к местным прямоугольным, как в работе [3], с преобразованием их по следующему правилу:

$$x = R \cdot \cos(LAT) \cdot \sin(LON - LON^*); y = R \cdot \sin(LAT - LAT^*),$$

где LAT^* и LON^* — широта и долгота точки, принимаемой за начало местной прямоугольной системы координат; R — средний радиус Земли в случае представления её сферой. В силу локальности задачи погрешности, обусловленные представлением Земли сферой будут несущественными.

Рассматривая задачу «судно - судно» для каждой пары судов на акватории, приведём следующие уравнения движения судов:

$$x_1(t) = x_1(t_1^0) + V_1 \cdot \sin(K_1)(t - t_1^0); y_1(t) = y_1(t_1^0) + V_1 \cdot \sin(K_1)(t - t_1^0),$$

$$x_2(t) = x_2(t_2^0) + V_2 \cdot \sin(K_2)(t - t_2^0); y_2(t) = y_2(t_2^0) + V_2 \cdot \sin(K_2)(t - t_2^0),$$

где V_1, K_1, V_2, K_2 — соответственно скорости и курсы первого и второго судна; $x_1(t), y_1(t), x_2(t), y_2(t)$ — координаты судов в момент времени t ; t_1^0, t_2^0 — моменты времени, соответствующие возрасту данных каждого судна, так что $t_i^0 = TIME_i - AGE_i$.

При таких представлениях расстояние между судами в момент времени t составляет:

$$r(t) = \sqrt{((x_1(t) - x_2(t))^2 + (y_1(t) - y_2(t))^2)}.$$

Решая уравнение вида $\frac{dr(t)}{dt} = 0$ относительно переменной t , получим момент времени кратчайшего сближения судов t_{CPA} , соответствующую ему величину $r_{CPA} = r(t_{CPA})$, а так же координаты судов:

$$x_1(t_{CPA}), y_1(t_{CPA}), x_2(t_{CPA}), y_2(t_{CPA}).$$

Величина r_{CPA} , сопоставленная с геометрическими размерами судов, характеризует степень опасности ситуации в момент кратчайшего сближения, координаты судов и величина t_{CPA} — место и предполагаемое время её возникновения. Обработывая такие наборы данных о движении судов такого вида за большой период времени можно получить представление о локализации точек кратчайшего сближения, соответствующих «опасным» значениям — r_{CPA} , а также о частоте опасных сближений.

Данные о состоянии судов в момент кратчайшего сближения, получаемые описанным выше способом, характеризуются тем, что для каждой пары судов будем иметь различные наборы данных:

$$\{r_{CPA}, t_{CPA}, x_1(t_{CPA}), y_1(t_{CPA}), x_2(t_{CPA}), y_2(t_{CPA})\}, \quad (2)$$

которые получены на основе множества (1) при различных значениях *TIME*.

По данным (2) для каждого судна возможно построить диаграмму опасных и безопасных значений скорости и курса. Эта диаграмма строится следующим образом: описываем коллективное движение двух судов с координатами $x^{(1)}$, $x^{(2)}$, $y^{(1)}$ и $y^{(2)}$ и скоростями $v_x^{(1)}, v_y^{(1)}$ и $v_x^{(2)}, v_y^{(2)}$ набором величин $s = (r_x, r_y, v_x, v_y)$ — вектором состояния коллективного движения двух судов, где $v_x = v_x^{(1)} - v_x^{(2)}$, $v_y = v_y^{(1)} - v_y^{(2)}$ — компоненты вектора относительной скорости движения судов v , $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$, $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ — компоненты вектора относительного положения судов r .

Основным условием безопасного движения является избегание опасного сближения судов, которое обеспечивается соблюдением зоны навигационной безопасности вокруг судна, называемой также «корабельным доменом». В данной работе корабельный домен является статическим, жёстко привязанным к судну с номером n и интерпретируется окружностью радиусом R_n . Совокупность величин r_x, r_y, v_x, v_y подтверждает потенциально опасное движение двух судов в случае выполнения нижеперечисленных условий: направление вектора скорости относительного движения судов такое, что вектор v находится внутри сектора, который определяется расстоянием между судами и размером корабельного домена (рис. 1); суда движутся равномерно и прямолинейно; время, которое осталось до максимального сближения судов, ниже допустимого.

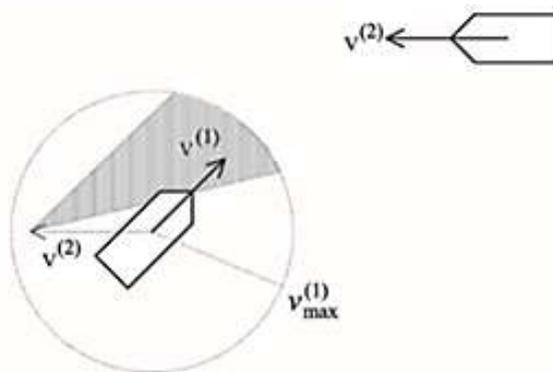


Рис. 1. Принцип построения диаграммы «скорость — курс»

Судно под номером 1 будем считать управляемым. При переходе от относительного движения судов к абсолютному в процессе определения потенциально

опасного сближения, будем иметь множество значений вектора скорости первого (управляемого) судна $v^{(1)}$, которые соответствуют «опасным» значениям вектора относительной скорости движения судов v (область серого цвета в окрестности на рис. 1).

Имея ретроспективные данные о движении судов, возможно описанным способом оценить характерные значения отношения опасных скоростей и курсов к безопасным в той или иной точке акватории. На рис. 2 и 3 показаны результаты расчётов в акватории Сангарского пролива и в районе порта Пусан. Красным цветом обозначены районы акватории с наибольшей степенью сложности принятия решений (более 80 % курсов и скоростей являются опасными), зеленым — с наименьшей степенью (опасных курсов и скоростей до 50 %), желтым — со средней (от 50-80 % опасных курсов и скоростей).

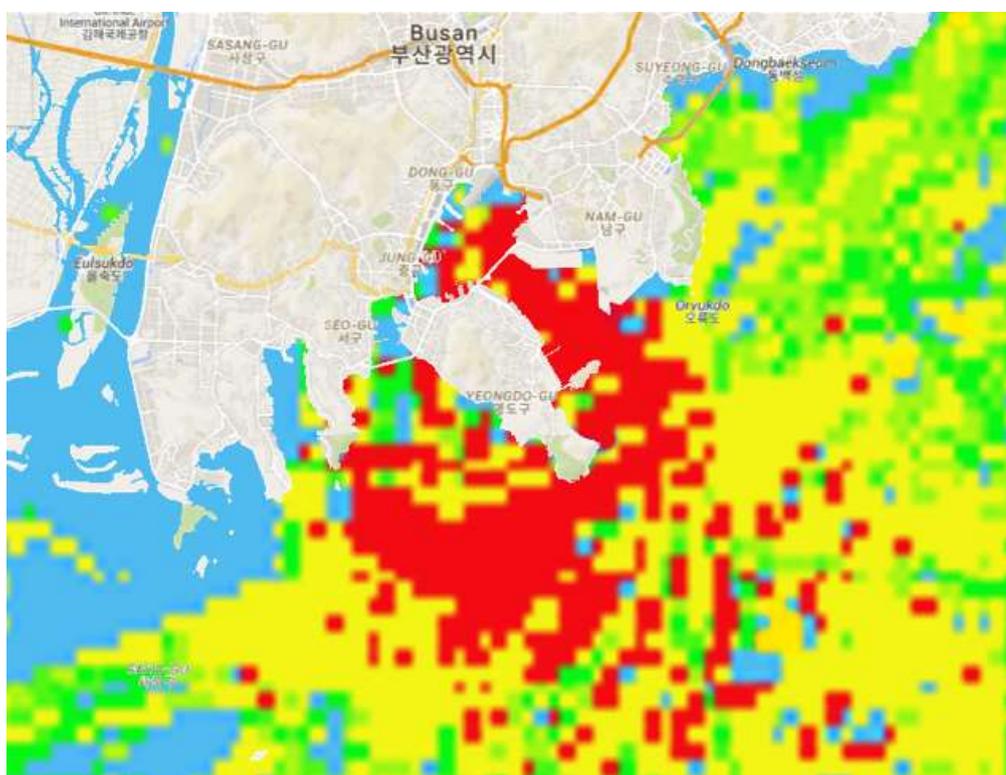


Рис. 2. Результаты расчётов в акватории, прилегающей к порту Пусан

Из рисунков 2 и 3 видно, что наиболее сложными для судоводителей, как и следовало предполагать, являются районы, прилегающие к морским портам (красные зоны рис. 2 и 3). Результаты расчетов в Сангарском проливе также показывают зону повышенной опасности участка с пересекающимися судопотоками «запад — восток» и «север — юг» (жёлтый участок в центре пролива).

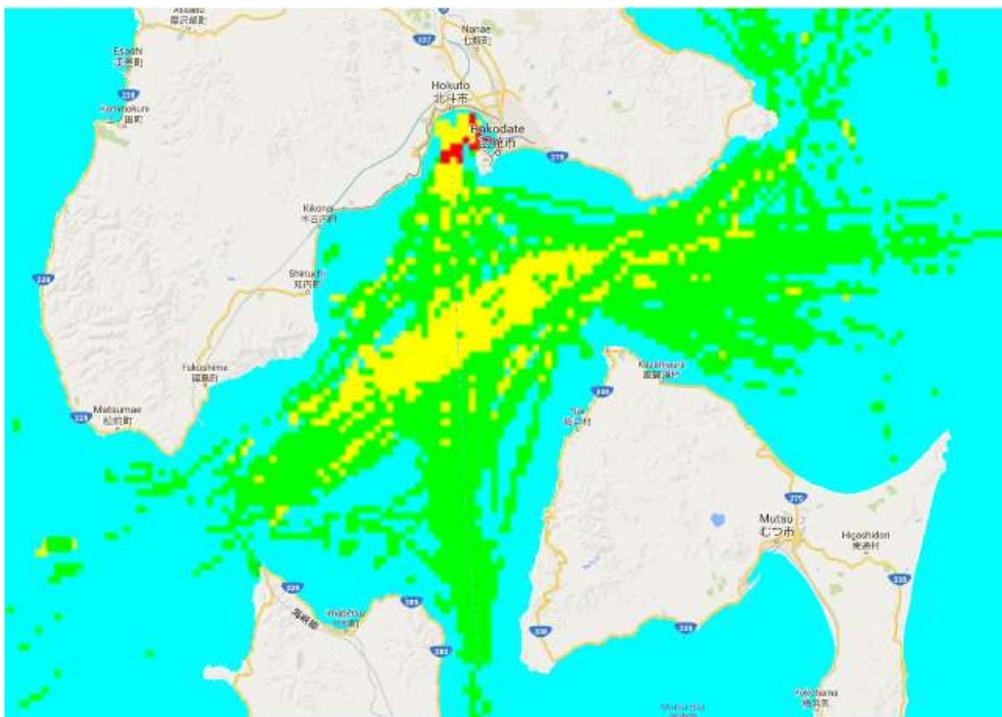


Рис. 3. Результаты расчётов в Сангарском проливе

Полученные результаты расчётов и моделирования позволяют сформировать адекватное представление о степени опасности движения на различных участках морских акваторий с учётом степени сложности принятия решений. Соотношение опасных и безопасных курсов и скоростей является удобной метрикой, позволяющей оценить эмоциональную нагрузку на судоводителя [4].

Источники и литература

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС-72). — М.: РКонсульт, 2004. — 80 с.
2. MarineTraffic [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.marinetraffic.com>
3. Гриняк В.М. Оценка опасности трафика морской акватории по данным автоматической идентификационной системы / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный, В.И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690.
4. Гриняк В.М. Оценка и представление параметров безопасного движения судна / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов, В.И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2016. — № 4. — С. 51–61.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

УДК 004.8:656.614.3(985)

ЭТАП РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ТРАНСПОРТНО–ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ СУРОВЫХ
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ

Е.Ю. Соболевская¹

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
г. Владивосток

С.В. Глушков², Н.Г. Левченко³

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

¹ study_z@list.ru

² gluskov@msun.ru

³ levchenko@msun.ru

Аннотация. Сформированы таблицы основных термов для формирования правил базы знаний интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления с учетом характеристик ледовых условий плавания в Арктической зоне России и субарктической зоне Дальнего Востока России на основе математического аппарата нечеткой логики. Проанализированы карты-схемы ледовой обстановки и сформирована таблица для формирования правил в системе нечеткого вывода Мамдани.

Ключевые слова: морская логистика, Арктика, информационная система управления, нечеткая логика, нечеткая система Мамдани.

THE STAGE OF DEVELOPMENT OF INTELLIGENT
TRANSPORT AND LOGISTICS INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM
TAKING INTO ACCOUNT THE HARD CLIMATIC
OF NAVIGATION CONDITIONS

E.Yu. Sobolevskaya¹

Vladivostok State University of Economics and Service,
г. Владивосток

S.V. Glushkov², N.G. Levchenko³

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok

¹ study_z@list.ru

² gluskov@msun.ru

³ levchenko@msun.ru

Abstract. The tables of the basic terms for the formation of the rules of the knowledge base of an intelligent information transport and logistics management system have been formed taking into account the characteristics of ice navigation conditions in the Arctic zone of Russia and the subarctic zone of the Russian Far East based on the mathematical apparatus of fuzzy logic. Maps of the ice situation have been and analyzed a table for the formation of rules in the Mamdani system of fuzzy inference has been formed.

Keywords: sea logistics, Arctic, information management system, fuzzy logic, Mamdani fuzzy system

Оригинальность: 85,7 %,
26.03.2019

Арктическая зона России и субарктическая зоны Дальнего Востока в данный момент времени является перспективным направлением развития, о чем свидетельствуют принятые государственные программы по развитию данного региона. Впервые очередь это связано с богатым природным шельфом, изменением климата в данном регионе, и, как следствие, интенсификация морских грузоперевозок.

Был проведен анализ существующих программных средств и информационных ресурсов в сфере организации морских грузоперевозок в данном регионе, который показал необходимость разработки внедрения искусственного интеллекта [1].

Основной подход в разработке интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления основан на применении интеллектуальных технологий, таких как нейронные сети, математический аппарат нечеткой логики.

Выбор данных технологий обоснован тем, что большое количество показателей, участвующих и влияющих на процесс Арктической и субарктической грузоперевозки, имеют качественный, лингвистический или размытый характер. Также важным моментом в выборе технологий является необходимость обработки и использования накопленных знаний экспертов — специалистов в сфере судовождения и морских грузоперевозок [2].

Для того, чтобы описать навигационную обстановку района плавания в зависимости от времени года и возможных рисков безопасности, перевозки грузов в систему нечеткой логики, необходимо составить базу правил нечеткого вывода. База правил для нечеткого вывода формируется на основе знаний экспертов в данной предметной области. Проанализировав «природу» входных переменных, был выбран нечеткий вывод Мамдани. Необходимо выделить основные классификационные факторы и их весовые коэффициенты. База знаний Мамдани

задается нечеткими терминами, поэтому требуется сформировать термины лингвистических переменных.

Основной целью повышения безопасности мореплавания и эффективности грузоперевозок в арктической и субарктической зоне Дальнего Востока России, является минимизация рисков доставки с учетом не нарушения графика и изменения стоимости.

Базовый компонент информационной транспортно-логистической системы управления — это блок нечеткого вывода для модуля расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях. При разработке данного модуля основной входной параметр — это вектор навигации, который включает:

- торосистость;
- сплоченность льда;
- возраст льда;
- форма льда;
- сжатие;
- заснеженность.

Данные параметры дадут возможность учитывать безопасность мореплавания в данном регионе при планировании маршрута следования.

При анализе данного региона плавания, были рассмотрены следующие документы: Закон о Северном морском пути; Приказ об утверждении правил плавания в акватории Северного морского пути; Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах; Атлас ледовых образований; Номенклатура морских льдов; Лоции морей [3-10].

Выделены ледовые классы судна в зависимости от периода навигации (таблица 1).

Таблица 1

Ледовые классы судна в зависимости от периода навигации

Период навигации	Ледовый класс судна
летне-осенний	Ice 1
	Ice 2
	Ice 3
	Arc 4
	Arc 5
	Arc 6 — Arc 9
зимне-весенний	Arc 4
	Arc 5
	Arc 6 — Arc 9
	Icebreaker 6 — Icebreaker 8

В данной работе, для примера, маршрут будем включать в себя порты (Магадан, Петропавловск-Камчатский, Анадырь, Провидения, Певек) в разных вариациях, то есть в разной очередности и количестве посещений.

Периоды навигации в морском порту:

- Магадан и Петропавловск-Камчатский: круглогодичная;
- Анадырь: с 01.07. по 01.10;
- Провидения: с 01.06. по 01.12;
- Певек: с 03.07 по 25.10.

Воспользовавшись данными из лоции морей, обозначим самый протяженный маршрут с включением всех портов, рассчитаем расстояние в морских милях, так как оно потребуется в дальнейшем для расчета тарифа и времени в пути:

- Магадан — 722 морских миль;
- Петропавловск-Камчатский — 1077 морских миль;
- Анадырь — 253 морских миль;
- Провидения — 744 морских миль — Певек;
- Петропавловск-Камчатский — 1117 морских миль — Провидения.

Период навигации в морском порту также необходимо соотносить с ледовым классом судна. Для данного района плавания характерна особая ледовая обстановка, которую разделяют на легкую, среднюю и тяжелую. Зависит ледовая обстановка от возраста льда, торосистости, сплоченности льда и формы льда.

Проанализировав все вышеперечисленное, переходим к выявлению/выделению основных классификационных факторов и их весовых коэффициентов для перехода к нечеткому выводу Мамдани.

Выделим термы лингвистических переменных: «Период», «Торосистость», «Сплоченность льда», «Возраст льда», «Форма льда», «Сжатие», «Заснеженность», «Судно», «Маршрут». Для примера один из них приведен в таблице 2.

Таблица 2

Термы лингвистической переменной «Торосистость»

Диапазон значений	Характеристика терма	Обозначение терма
[0..1.25]	низкий	L_H
[1.25..2.5]	средний	M_H
[2.5..5]	высокий	H_H

Проанализировав часть карт-схем ледовой обстановки (фрагмент представлен на рис. 1), составим таблицу для дальнейшего формирования правил в системе нечеткого вывода Мамдани (таблица 3).

Ледовая обстановка по маршрутам следования

Маршрут	Порт	Период/ Дата	Возраст льда	Тороси- стость	Сплочен- ность льда	Форма льда
2	Магадан	13- 15/01/2019	Серый лед (10-15 см)	-	8-10	Мелкобитый лед 2 – 20 м
	Анадырь	8-10/01/2019	Тонкий лед (30-70 см)	-		100 – 500 м

Также при составлении правил с учетом выбранного ледового класса судна, зная расстояния между портами по выбранным маршрутам, скорость в узлах, используя таблицы времени и скорости, определим примерное время в пути, что в дальнейшем послужит для составления правил в системе нечеткого вывода Мамдани. Это позволит в дальнейшем обучить нечеткую нейронную систему.

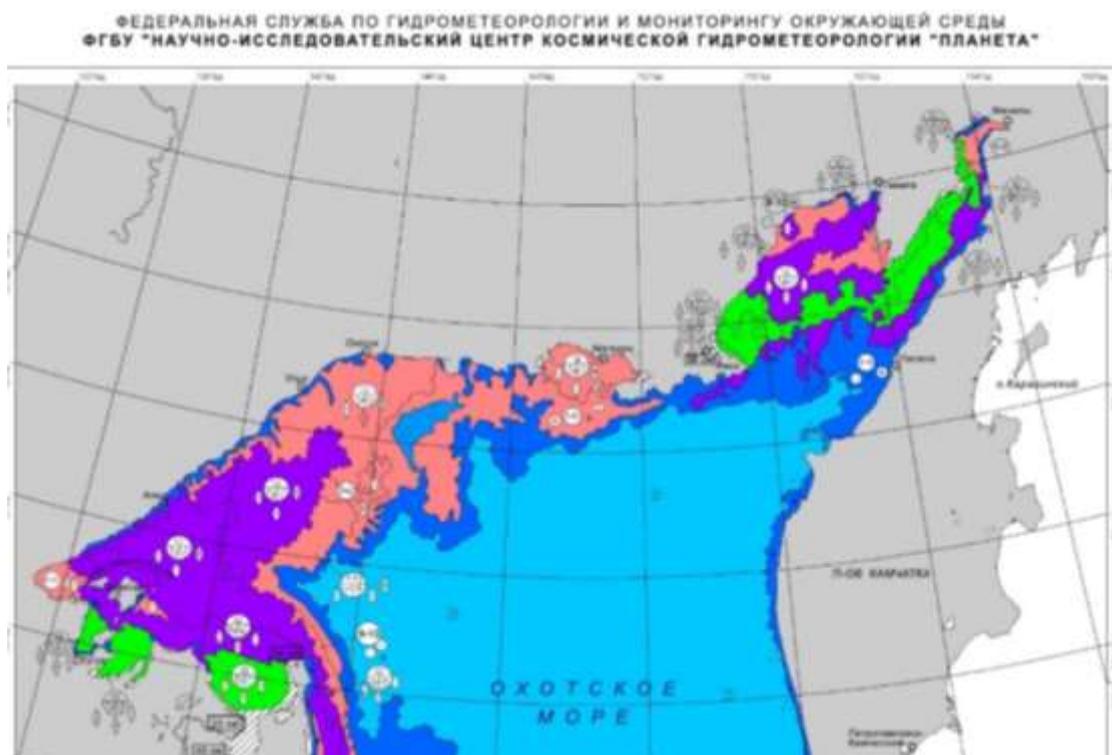


Рис. 1. Фрагмент карты-схемы ледовой обстановки Охотского моря

Таким образом, в работе были составлены таблицы основных термов для формирования правил базы знаний с учетом характеристик ледовых условий плавания. При разработке системы нечеткого вывода для модуля расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях используются

аналитические методы исследования, а также компьютерного моделирования и экспериментальные исследования. Следующий этап — это формирование базы правил для системы нечеткого вывода. База правил формируется на основе базы знаний, а она, в свою очередь, на знаниях экспертов в данной области. После формирования базы правил осуществляется переход к этапу «Дефазификация».

Источники и литература

1. Development of intellectual system for managing the arctic and sub-arctic sea freight. Levchenko N.G., Sobolevskaya E.Yu., Glushkov S.V. *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*. — 2018. — V. 8. — №1. — P. 10–22.
2. Соболевская Е.Ю., Глушков С.В., Левченко Н.Г. Архитектура интеллектуальной системы организации арктических морских грузоперевозок // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал. — № 4 (19). — 2017. — [Электронный ресурс]. — URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/10/Sobolevskaya_4_1_17.pdf — (дата обращения: 15.02.2019).
3. Таблицы морских расстояний. Управление начальника Гидрографической службы ВМФ. — 1958. — 225 с.
4. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). International code for ship operating in polar waters (Polar code). — СПб: АО «ЦНИИМФ», 2016. — 232 с.
5. Бушуев А.В., Волков Н.А., Лоцилов В.С. Атлас ледовых образований. Гл. упр. гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Арктики и Антарктики науч.-исслед. ин-т. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 139 с.
6. Номенклатура морских льдов условные обозначения для ледовых карт ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ. — Л., 1974. — 63 с.
7. Лоция Охотского моря. Выпуск 1. Южная часть моря Адм. № 1406. — 1984. — 332 с.
8. Лоция Берингова моря. Часть 1. Адм. № 1408. — 1981. — 586 с.
9. Таблицы морских расстояний. — Том III. — М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. — 132 с.
10. Лоция Восточно-Сибирского моря. Адм. № 1119. — 1998. — 352 с.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И АРКТИКИ

УДК 66.974.434

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО, ЛАПТЕВЫХ МОРЕЙ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

А.В. Алаторцев¹, М.В. Иванов, К.И. Аксентов
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева,
г. Владивосток
¹ alatortsev@poi.dvo.ru
¹ Zer1909@mail.ru

MERCURY CONTENT IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE EAST SIBERIAN, LAPTEV SEAS AND THE ADJACENT PART OF THE ARCTIC OCEAN

A.V. Alatortsev¹, M.V. Ivanov, K.I. Aksentov
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute,
Vladivostok
¹ alatortsev@poi.dvo.ru
¹ Zer1909@mail.ru

Аннотация. Изучено содержание ртути в донных осадках Восточно-Сибирского, Лаптевых, Чукотского морей и примыкающей части Северного Ледовитого океана. Установлена зависимость содержаний ее от гранулометрического состава осадков и редокс-условий придонных вод, что в общем виде проявляется как батиметрическая зональность распределения.

Ключевые слова: ртуть, донные осадки, геоэкология, Арктика, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых.

Abstract. The mercury content in the bottom sediments of the East Siberian, Laptev, Chukchi seas and the adjacent part of the Arctic Ocean was studied. The dependence of its contents on the granulometric composition of sediments and redox conditions of bottom waters is established, which generally manifests itself as the bathymetric zonality of the distribution.

Keywords: mercury, bottom sediments, geochemistry, Arctic, East Siberian sea, Laptev sea.

Определено содержание ртути в 35 поверхностных донных осадках, в 4 коротких колонках, полученных малтикорером, и в одной длинной колонке, полученных в 77 и 83 рейсах НИС Академик М.А. Лаврентьев (рис. 1). Для определения ртути, использовался анализатор ртути Ра-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915. Нижний предел обнаружения — 0,5 нг/г. Погрешность анализа составляла 2-3 %. Стандартными образцами на ртуть служили СПДС-1,2,3. Внешний контроль ежегодно выполнялся в лаборатории фирмы-производителя (ООО Люмэкс, г. Санкт-Петербург). Статистические параметры распределения были определены с помощью программы GeoStat (версия 7.06).

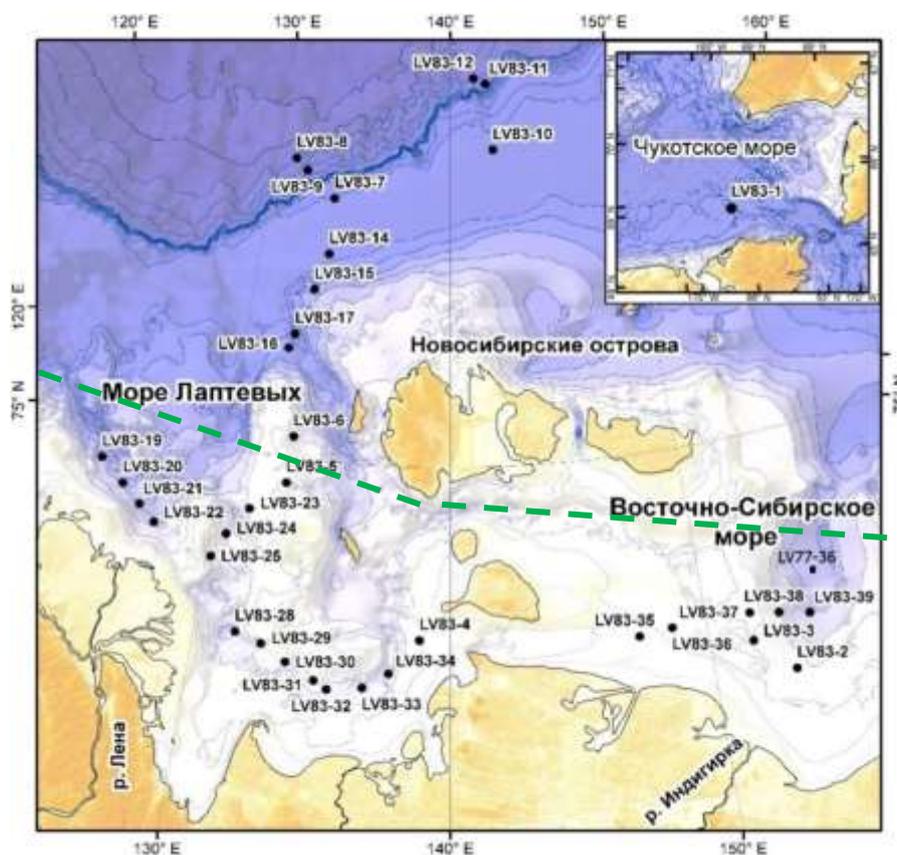


Рис.1. Карта станций. Зеленой штриховой линией показана трасса Северного морского пути

Ртуть в донных осадках. В результате обработки данных было установлено, что в распределении ртути проявляется батиметрическая зональность. Район исследований характеризуется выборкой 35 проб поверхностных донных осадков (0 – 5 см), которые подразделяются на 2 группы: 1) до глубин 100 м ($n = 31$) и 2) интервале глубин 1000-2400 м ($n = 4$). Содержания ртути для данного района варьирует от 3 до 50 мкг/кг, при среднем и медианном содержании 27 и 29 мкг/кг

соответственно. За фоновое содержание принято значение медианы, что хорошо согласуется с ранее определенным фоном, который составляет 28 мкг/кг для донных осадков Чукотского моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана. [Иванов, 2014]. Для колонки LN77-36 (рис. 4), длина которой составляет 3,7 м, содержание ртути варьирует от 29 до 53 мкг/кг, при медианном значении 38 мкг/кг. Отслеживается так же четкий тренд, увеличивающийся с глубиной колонки.

Таблица 1

Содержания ртути (мкг/кг) в поверхностных донных осадках арктических и дальневосточных морей

Объект	Количество проб	Hg, ср.	Фон	Пределы вариаций фона	Аномально высокие содержания	Источник
Чукотское море и прилегающая часть Северного Ледовитого океана	263	36	26	7–92	146	Иванов, 2014
Котловина Дерюгина Охотского моря	51	61	29	6–197	371	Иванов 2014
Амурский залив Японского моря	119	50	13	12–198	550	Иванов 2018
Восточно-Сибирское, Лаптевых морей	35	27	28	3–50	—	Наши данные 2018
Карское море	—	28	—	—	—	Федоров 2018
Море Бофорта	—	—	—	17–74	—	Федоров 2018

Основным фактором, определяющим изменчивость содержания ртути в донных осадках, является наличие окисленных или восстановленных осадков. Превышение над фоном в 2 раза характерно для глубоководной части (глубина 1000 – 2400 м) района (рис. 2), где распространены окисленные осадки. В мелководной части (0 – 50 м) море Лаптевых, где распространены восстановленные осадки различного состава, содержания ртути значительно меньше, однако также прослеживается влияние р. Лены. Необходимо учитывать, что поступление терригенного органического вещества в море определяется продуктами термической и волновой абразии материала берегового ледового комплекса. В пробах поверхностных донных осадках, отобранных в устье р. Лены в 2008 – 2009 гг., были получены аналогичные содержания ртути [Иванов, 2011].

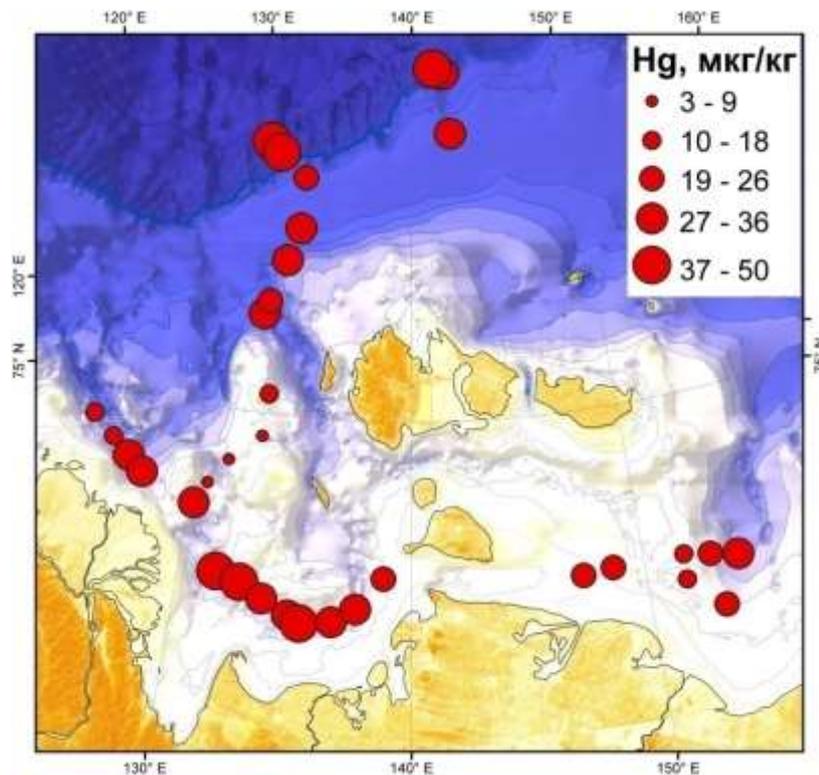


Рис. 2. Распределение ртути в поверхностных донных осадках

Подобная картина распределения ртути в поверхностных донных осадках характерна для других районов Арктики с природными источниками её поступления. В центральной части Северного Ледовитого океана, где распространены окисленные осадки содержания ее, составляют 80 – 100 мкг/кг, в поверхностных осадках прибрежной части моря Бофорта составляют — 20 – 100 мкг/кг, прибрежной части Восточно-Сибирского и моря Лаптевых — 20 – 40 мкг/кг, в районе устья крупных рек около 60 – 80 мкг/кг [Экологический атлас Арктики, 2000].

При анализе распределения ртути в малтикорегах донных осадков можно отметить, что в глубоководной части оно характеризуется весьма большой изменчивостью по вертикали, что связано с чередованием в разрезе окисленных и восстановленных осадков, накапливавшихся, соответственно, в периоды потепления и похолодания.

Содержания ртути в малтикоре LV83-8-3, отобранных в глубоководном районе составляют от 25 до 51 мкг/кг (рис. 3). В малтикорегах LV83-1-2 и LV83-17-3, расположенных на шельфе (рис. 3), содержания ртути значительно меньше, около 25 мкг/кг.

Результаты исследований показали, что основным фактором, определяющим изменчивость содержаний ртути в поверхностных донных осадках и кернах исследуемого района, являются условия накопления осадков — окислительные или восстановительные. В связи с этим проявлено существенное различие в содержаниях между глубоководными и шельфовыми осадками (рис. 3). Так же, как и для других морей Арктики содержания ртути зависят от гранулометрического состава донных осадков.

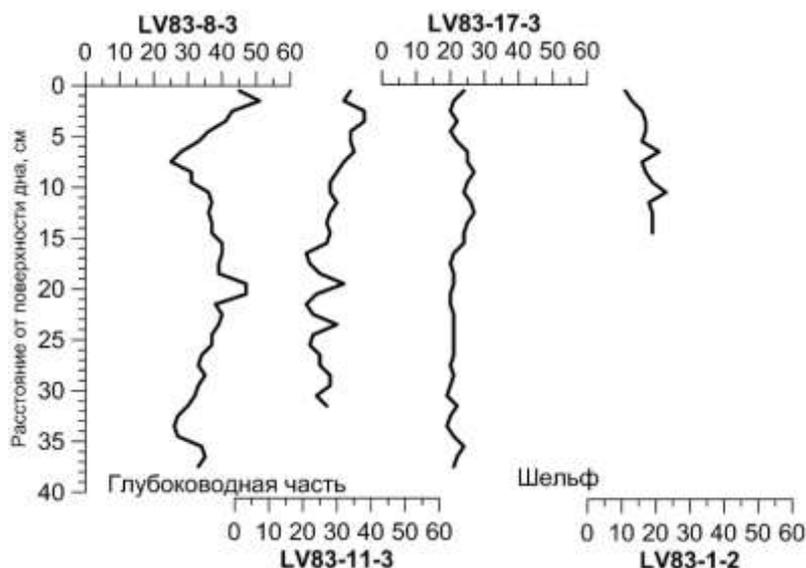


Рис. 3. Содержание ртути (мкг/кг) в некоторых малтикорегах

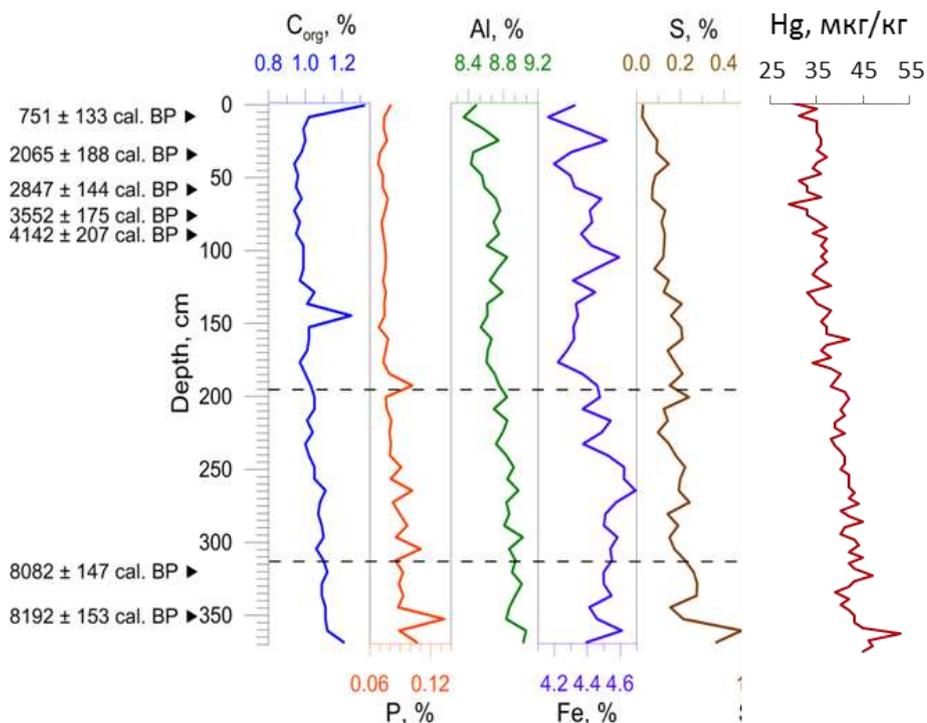


Рис. 4. Вариации химического состава, радиоуглеродные датировки (лет) (по Astakhov et al., inprint) и содержания ртути в колонке LV77-36

Антропогенное загрязнение осадков ртутью нами не отмечено, но нельзя исключать, что какая-то её часть, поступающая с речными водами р. Лены и накапливающая в мелководной части моря Лаптевых, может иметь антропогенное происхождение. Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-05-60104.

Источники и литература

1. Иванов М.В. Ртуть в донных осадках окраинных морей северо-восточной Азии // Тихоокеанская геология. — 2014. — № 4. — С. 63–74.
2. Экологический атлас Арктики. 2000 [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.arctic.noaa.gov/aro/atlas/>.
3. Иванов М.В. Ртуть в поверхностных донных осадках моря Лаптевых // Строение литосферы и геодинамики: Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции. — Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. — С. 95–96.
4. Fedorov Yury A., Ovsepyan Asya E., Zimovets Alina A., et al. Mercury Distribution in Bottom Sediments of the White Sea and the Rivers of Its Basin // Sedimentation Processes in the White Sea. — 2018. — P. 207–240.
5. Astakhov A.S., Sattarova V.V., Shi X.-F., Hu L.-M., Aksentov K.I., Kolesnik O.N., Vasilenko Yu.P., Alatorcev A.V. Rare earths elements in the bottom sediments of East Siberian and Chukchi Seas // Polar Science. In print.

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

СИСТЕМА ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Р.А. Белогор
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток
rombelogor@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема миграции балластных вод и ее влияние на окружающую среду, а также устройство и принцип действия установки BSKYBWMC для очистки балластных вод, показаны плюсы и минусы данного агрегата.

Ключевые слова: способы очистки балласта, MARPOL, конвенция по управлению балластными водами, предотвращение загрязнения вод.

BALLAST WATER CLEANING SYSTEM

R.A. Belogor
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok
rombelogor@gmail.com

Abstract. This article is devoted to the problem of ballast water migration was reviewed and its impact on the environment, also BSKY BWMC plant design and principle of operation for ballast water cleaning was reviewed. The plus and mines of this plant have been reviewed.

Keywords: the ballast water cleaning methods, MARPOL, ballast water management convention, water pollution prevention.

Оригинальность: 84,31 %,
11.03.2019

Ни для кого не является открытием, что большая часть поверхности нашей планеты занята океаном. Огромные неизведанные просторы и глубины, уникальная флора и фауна.

Казалось бы, океан огромное единое целое, но не все так просто. Например, все замечали, что море в разных местах имеет различную окраску. Например, в Карибском море вода голубая, в Северном — темно-синяя, в Атлантическом океане — зеленоватая. Зависит данный фактор от ряда причин, таких как глубина моря, наличие в воде мелкодисперсных примесей, положения солнца и количества микроорганизмов.

Перевоз грузов морским транспортом предусматривает наличие в балластных танках большого количества заборной воды. Само собой разумеется, что в воде могут содержаться различные живые организмы — бактерии, водоросли и т. д., которые могут проникнуть через трубопроводы и арматуру. Кроме того, в балластных водах могут содержаться различные вредные бактерии. Сброс балластных вод, принятых в другой точке земного шара, может нанести ущерб местной фауне и стать причиной возникновения заболеваний.

И конечно же есть примеры этих случаев. В 1990 – 2000-х североамериканский гребневик (*Mnemiopsis leidyi*), попавший вместе с судовыми балластными водами из восточного побережья Америки в Черное, Азовское и Каспийское моря. Этот вид истощает зоопланктон; нарушил пищевую цепочку и функции экосистемы. Этот вид значительно повлиял на катастрофическое падение промысла в Азовском, Черном и Каспийском морях.

Амурская морская звезда (*Asterias amurensis*) попала в балластной воде из северной части Тихого океана в южную Австралию. Морской организм воспроизводится в большом количестве, быстро достигая критического порога в оккупированных средах. Этот вид привел к значительным экономическим потерям, поскольку питается моллюсками, в том числе коммерчески ценными видами гребешка, устрицы и моллюсков.

Возрастающие объемы морских грузоперевозок и рост числа судов только обостряют эту проблему. Эту проблему сложно увидеть невооруженным взглядом. Если разлив нефтепродуктов легко заметить и ликвидировать, то влияние чужеродных морских микроорганизмов сложно отследить без специальных исследований. Такие микроорганизмы могут значительно нарушить баланс и привести к вымиранию местных видов флоры и фауны. Это происходит потому, что занесенные микроорганизмы, в большинстве случаев, не имеют «противников», следовательно, они быстро размножаются и угнетают местные формы жизни. Самое сложное в этой ситуации то, что последствие такого выброса практически невозможно устранить.

В связи с активным освоением арктического шельфа данная зона также оказывается в опасности. В погоне за углеводородами, которых в данном регионе значительное количество, увеличивается число судов, а значит местные обитатели (ламинария, моллюски, которые могут быть использованы в пищевой промышленности) могут быть уничтожены. Поэтому крайне важно в погоне за нефтью и газом не нанести ущерб экологии.

Как было указано ранее увеличение скорости и акватории работы морских судов приводит к более частой смене балласта. Что ведет к увеличению шанса загрязнения вод.

Мировой океан является объектом пристальной охраны и наблюдения. Для предотвращения и контроля над загрязнением вод международной морской

организацией ИМО (International Maritime Organization) принята конвенция МАРПОЛ (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships). Для осознания масштабности проекта стоит отметить, что ИМО является специализированным учреждением ООН, служит аппаратом для сотрудничества и обмена информацией по техническим вопросам, связанным с международным торговым судоходством. Основная задача организации – обеспечение безопасности на море и предотвращению загрязнения с судов окружающей среды.

ИМО занимается проблемой судовых балластных судов с 1980-х годов, когда государства-члены организации, испытывающие особые проблемы, обратились в Комитет ИМО по защите морской среды (МЕРС). Конечно же, проблема с миграцией балласта не осталась без внимания организации ИМО и с 8 сентября 2017 года вступает в силу Международная конвенция по балластным водам (Ballast Water Management Convention). Ранее вступление Конвенции в силу было перенесено на год в связи с тем, что не был набран необходимый для ее ратификации процент подписантов (34,56 % при необходимых 35 %). Кроме того, страны-члены ИМО все это время пытались прийти к консенсусу по вопросам норм и сроков переоборудования судов. Конвенция затрагивает все морские суда, способные брать балласт. Она требует, чтобы все суда вместимостью более 400 рег. тонн имели международный сертификат по управлению балластными водами International Ballast Water Management Certificate (IBWMC). Требования конвенции не распространяются на суда, не спроектированные для использования водяного балласта, суда, которые используют один и тот же балласт без его сброса.

В соответствии с Конвенцией все торговые суда обязаны контролировать сброс и обмен балластных вод. Для этого суда необходимо оборудовать системами для очистки балластных вод путем удаления, обезвреживания, предотвращения поступления или сброса морских организмов и патогенов в балластных водах и осадках. С целью реализации требований Конвенции были разработаны два стандарта. Стандарт D-1 означает, что судно будет осуществлять обмен балластных вод в открытом море, на расстоянии не менее 200 морских миль от берега и на глубине не менее 200 м. Стандарт D-2 определяет максимальное количество жизнеспособных организмов, которые могут содержаться в балластных водах.

Суда, которые строятся, в настоящее время должны будут соответствовать стандарту D-2. Этот стандарт подразумевает оборудование по очистке балластных вод. Такие установки могут включать технологии с использованием фильтрации, УФ излучения или электрохлорирования. Системы очистки, которые используют активные вещества для очистки балластной воды, должны пройти строгую процедуру утверждения и быть проверены ИМО.

После третьего курса обучения практику я проходил на контейнеровозе “SEATRADEORANGE”судоходной компании Seatrade Groningen. Поскольку судно 2016 года постройки, на нем установлена система по очистке балластных вод.

Установка фирмы BSKYBWMS, которая состоит из трех ступеней очистки: центробежного сепаратора для удаления тяжелых частиц, ультразвукового фильтра, ультрафиолетового модуля. Производительность системы 350 м³/ч. Первая ступень — «гидроциклон». Гидроциклон используется для сепарации частиц, находящихся в жидкости, эффект основан на разнице плотностей. За счет центробежной силы частицы отводятся к периферии. Эта ступень удаляет из воды осадок и органику.

Вторая ступень — ультразвуковой фильтр. Особые преимущества ультразвукового фильтра — колебания, позволяет получить высокую скорость и качество очистки частиц без ручной работы и ущерба компонентов. Бактерицидный эффект от высокой частоты ультразвуковых волн достигается кавитацией, повышенным давлением и как следствие нагрева, образования свободных радикалов с помощью звуколюминесценции.

Третья ступень — ультрафиолетовый модуль. На этой стадии происходит физическая дезинфекция, как противоположная форма хлору и другим химикатам.

Все это позволяет сделать вывод, что проблема балластных вод может быть эффективно решена. На новых судах с момента постройки. На старых же судах требуется установка дорогостоящего оборудования и время на его установку.

В рамках судов, которые посещают Арктику, а это танкера серии Panamax, мощность балластных насосов уже около 1500 м³/ч, а значит мощность и энергопотребление модулей будет значительно выше (примерно 170 кВт). В рамках мощности судовых энергоустановок это незначительная величина. Основные расходы это конечно же закупка и установка данных установок, стоимость установки с вышеуказанными ступенями очистки 1,2 млн \$. (около 80 млн рублей). И разумеется увеличенные затраты на перевозку грузов в конечном итоге пойдут в виде увеличения стоимости грузоперевозок и роста цен на углеводороды.

И, конечно, стоит помнить, чистая и безопасная окружающая среда — это процесс, а не результат.

Источники и литература

1. Ballast water management convention от 8 сентября 2017 года. (Принята резолюцией ИМО в 2004 г.) [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>
2. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. — URL: <https://en.wikipedia.org>
3. Горбонос В.А. Проблемы загрязнения морской среды сбросами балласта и методы очистки балластных вод [Текст] // Вологдинские чтения. — 2010. — С. 164–165.
4. Морской бизнес - электрон. журн. 2014. [Электронный ресурс]. — URL: <http://mbsz.ru/>

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

УДК 662.76

ГИБРИДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ БУКСИРА,
ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО МОРСКИЕ ОБЪЕКТЫ ШЕЛЬФА
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И АРКТИКИ

А.Н. Соболенко¹, Г.П. Кича

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

¹ sobolenko_a@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены строящиеся гибридные энергетические установки судов с газовым и электрическим питанием. Предложена гибридная энергетическая установка для буксира, включающая в себя два главных дизель-генератора, преобразователи тока, блок аккумуляторов, гребные электромоторы постоянного тока. Главные дизели двухтопливные — работают как на жидком топливе, так и на природном газе.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, природный газ, гибридная.

THE HYBRID PROPULSION FOR TUG SERVICING
THE FAR EASTERN AND ARCTIC MARINE OFFSHORE

A.N. Sobolenko¹, G.P. Kicha

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok

¹ sobolenko_a@mail.ru

Abstract. Ship power installations using Gas Mode and Electric Mode are considered. The hybrid power installation for tug is proposed. It consists of two main diesel generators, current transformers, battery pack, and constant current electric motor for screw. Main engines are dual fuel. They can use as liquid fuel, so natural gas.

Keywords: ship power plant, natural gas, hybrid.

Оригинальность: 86,46 %,

11.03.2019

При освоении арктического шельфа и Северного Ледовитого океана огромное внимание должно быть уделено экологической безопасности СЭУ. В это связи предпочтительнее использование топлива, которое не производит загрязнений

в окружающую среду, как в атмосферу, так и в льяльные воды. Таким топливом по нашему мнению является природный газ, который не только экологически чище жидкого топлива, но и многократно дешевле жидкого топлива.

В данном докладе предлагается рассмотреть проект энергетической установки судна для обслуживания морских объектов шельфа.

Выбирая главные двигатели для пропульсивной установки, следует учитывать рабочий диапазон режимов работы с таким расчетом, чтобы их наилучшая экономичность была в диапазоне наибольших мощностей. Также учитываются их габариты и масса, что особенно важно для буксиров. В этой связи целесообразно использование на данных судах средне- и высокооборотных дизелей в качестве главных двигателей.

Для буксиров характерным является длительная работа на переменных режимах. Энергетическая установка должна работать на газомоторном топливе. Но при этом следует иметь в виду, что фирмы изготовители двухтопливных двигателей рекомендуют при нагрузке менее 80 % переходить на жидкое дизельное топливо. Газомоторное топливо можно использовать исключительно при нагрузке выше 80 %. Для буксира такое ограничение неприемлемо. Какой же здесь выход?

Первый выход — это использовать двигатели автотракторного типа, для которых имеются разработанные системы топливоподачи жидкого топлива и газа, с быстрым переходом из одного вида топлива на другой. Но что мы в таком случае выиграем? Наше судно в этом случае будет работать в основном на дизельном топливе и в редких случаях на газомоторном.

Второй выход — это переход на гибридную СЭУ. В этом случае двигатель будет работать в режиме постоянной нагрузки на аккумулятор, а расход энергии для движения судна будет происходить от аккумулятора на электромоторы.

В этом направлении работает ряд компаний при проектировании и изготовлении рыболовецких судов будущего.

Норвежская компания Liafjord инвестирует в новое судно. К настоящему времени представлены первые эскизы новых судов серии Libas. Два гибрида уже строятся, а третий находится на подходе.

Libas станет первым в мире рыболовецким судном, оборудованным газовым и аккумуляторным энергопитанием, на его борту будет установлен резервуар для сжиженного природного газа (СПГ) объемом 350 куб. м, сообщает морской журнал Salt Ship Design.

Судно-ярусолов ледового класса с гибридной энергетической установкой (ЭУ) строится в норвежском городе Олесунн. Благодаря использованию гибридной технологии судно сэкономит несколько десятков тонн дизельного топлива в год. Это приводит к мощному сокращению выбросов парниковых газов. Аккумулятор,

который будет на борту судна, работающего в Атлантике, будет в первую очередь снабжать главный двигатель, так что он может работать на более выгодных частотах вращения. В дополнение к батарейному блоку на судне предусмотрена система утилизации теплоты.

Компания Reiarlaget Lie Group в Мичигане (США) недавно заключила контракт на судно с гибридным энергопитанием с использованием сжиженного природного газа и электричества.

Использование СПГ с электричеством позволяет осуществить большой шаг в направлении снижения воздействия выбросов на климат. Выбросы окислов азота NO_x сокращаются на 90 %, а выбросы углекислого газа CO_2 , создающего парниковый эффект, — на 20 %.

Энергетическая установка с гибридным энергопитанием включает в себя один или несколько дизель-генераторов, и источник или ряд источников электрической энергии, например, аккумуляторные батареи [1].

Железоникелевые аккумуляторные батареи (АБ) и свинцово-кислотные АБ обладают наименьшей стоимостью.

Для подзарядки АБ целесообразно установить на судне солнечные элементы в составе гибридной энергетической установки.

Успешное применение гибридных энергоустановок на наземных транспортных средствах — автомобилях типа Toyota Harrier, Lexus GS 450h, Toyota Prius, Honda Civic, Toyota Alphard и ряд других показывают целесообразность испытания подобных агрегатов на морских прибрежных малотоннажных судах, работающих с частыми маневренными режимами. Применение гибридной энергетической установки позволяет уменьшить потребление горюче-смазочных материалов, сократить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия работы теплового двигателя.

Для малотоннажного судна гибридная ЭУ имеет ограничение по массе, поэтому источник должен обладать наибольшей удельной энергией и в то же время его мощности должно хватать для пиковых нагрузок на валу гребного электродвигателя. В вышеупомянутых автомобилях применяются литий-ионные (Li-Ion) и никель-маталл-гидридные (NiMH) аккумуляторы. Плотность энергии первого типа батарей составляет 60 – 80 Вт·ч/кг, второго — 100. Электроход с аккумуляторной батареей массой 500 кг может обеспечить работу малотоннажного судна водоизмещением 300 тонн в течение суток без подзарядки.

Железоникелевые аккумуляторные и свинцово-кислотные и батареи являются одними из самых дешёвых источников питания электрическим током с плотностью энергии порядка 30 Вт·ч/кг. Преимуществом щёлочных аккумуляторов типа ТНЖК по сравнению со свинцовыми является низкая зависимость ёмкости от режима разряда. Поэтому запас судна-электрохода с таким аккумулятором

будет больше, чем в случае применения других АБ с такой же ёмкостью. По сравнению с кислотными АБ щелочные АБ требуют менее тщательного ухода, не подвержены сульфатации, обладают повышенной взрыво- и пожаробезопасностью, большей механической прочностью, не боятся ударов, вибрации, хорошо выдерживают короткие замыкания.

Таким образом, можно сделать заключение следующее. Использование гибридных энергоустановок на малотоннажных судах возможно и целесообразно.

С точки зрения наименьшей цены следует использовать свинцово-кислотные или железоникелевые АБ. При использовании гибридной дизель-аккумуляторной установки для подзарядки АБ целесообразно установить на судне кроме дизель-генераторов также солнечные элементы.

Для предлагаемого проекта буксира водоизмещением 300 тонн можно принять главную гибридную дизель-электрическую установку с двумя дизель-генераторами с дизелями 12ГЖЧ15/18 производства ОАО «Барнаултрансмаш» г. Барнаул мощностью по 330 кВт каждый. Дизели выпускаются для работы на газомоторном топливе [2]. Выходная мощность каждого дизель-генератора будет по 300 кВт.

В качестве гребного электродвигателя принимаем электродвигатель постоянного тока. Для преобразования переменного тока в постоянный, принимаем к установке специальные преобразователи.

Гибкая схема позволяет суммировать энергию, вырабатываемую ГД и ВДГ на ГРЩ с целью увеличения скорости судна, либо замещать ВДГ главным дизель-генератором с целью энергосбережения.

Принимаем к установке никель-железные щелочные аккумуляторные батареи 36ТНЖК-1000 по ГОСТ 22492–77 в количестве 10 штук, соединённых последовательно. Это позволяет получить выходное напряжение порядка 400 В. Такие батареи выпускаются для безрельсового транспорта. Удельная энергия аккумуляторов серии ТНЖК составляет $31 \div 36$ Вт·ч/кг, ресурс 7 000 ч 10 аккумуляторов будут весить 660 кг и занимать объём $0,6$ м³.

Аккумуляторные батареи устанавливаем в специальном помещении вне машинного отделения. Помещение выполнено из негорючих материалов. Вход в аккумуляторное помещение должен осуществляться через тамбур.

Температура аккумуляторного помещения на уровне расположения аккумуляторов не должна быть ниже $+15$ °С. Отопление и вентиляция осуществляются специальным калориферным устройством, располагаемым вне аккумуляторного помещения и подающего тёплый воздух в вентиляционный канал.

Аккумуляторные батареи должны иметь проходы для обслуживания шириной не менее 1 м при двустороннем расположении аккумуляторов и не менее 0,8 м при одностороннем расположении. Расстояние между стенами и сосудами должно быть не менее 150 мм.

В качестве гребного электродвигателя принимаем сверхкомпактные тяговые электродвигатели постоянного тока ТЭД 18-300 мощностью по 330 кВт [3]. Масса ТЭД 18-300 не более 80 кг. Он является доработкой тягового электродвигателя для проекта автомобиля на топливных элементах «Лада АНТЭЛ-2».

Конструктивно ТЭД 18-300 состоит из трёх частей: корпуса, сверхлёгкого ротора, который крепится на валу в подшипниковых опорах и статорного модуля, который крепится к корпусу. Внутри статорного модуля располагаются обмотки, магнитопроводы и датчик положения ротора. Обмотки имеют непосредственное жидкостное охлаждение трансформаторным маслом. Для ограничения величины силового напряжения обмотки ТЭД 18-80 выполнены шестифазными.

Принципиальная схема гибридной энергетической установки для буксирного судна приведена на рисунке.

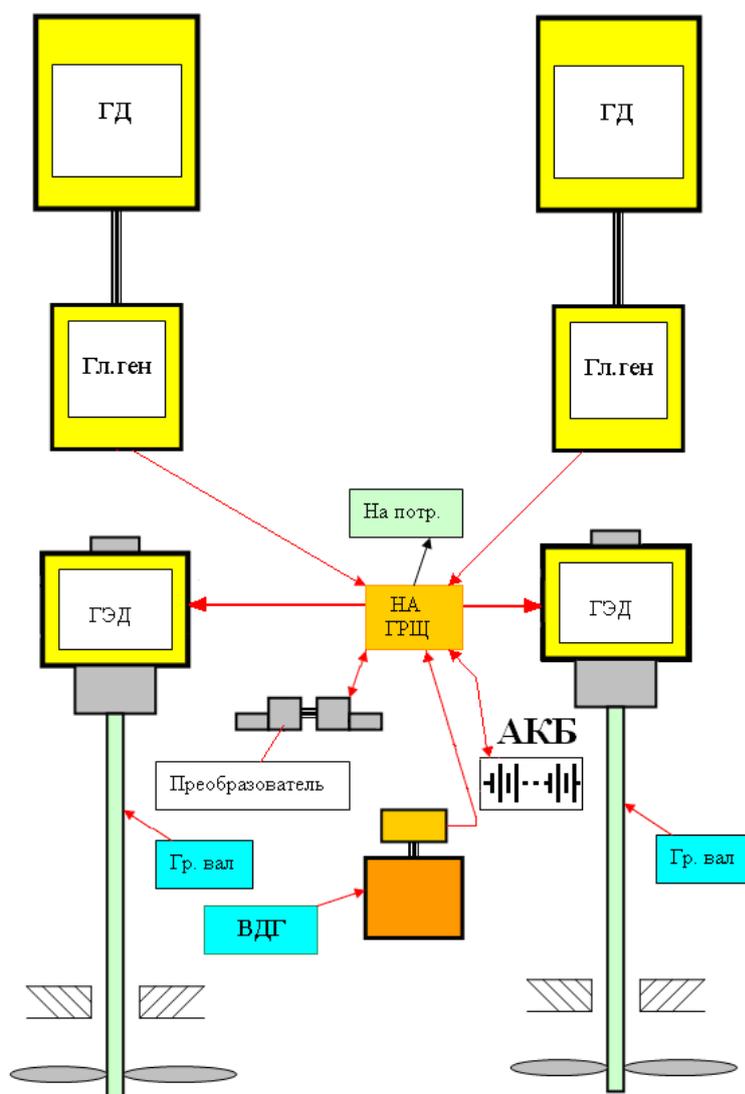


Рис. Принципиальная схема распределения электроэнергии энергетической установки проектируемого судна

Коммерческими фирмами в России отработана технология перевода автомобильных двигателей на природный газ. Имеется много коммерческих предложений по переводу двигателей со стоимостью в пределах 100 тыс. рублей. Российскими заводами уже выпускаются двухтопливные дизели небольшой мощности вполне пригодные для установки на небольших судах. В этой связи проект энергетической установки работающей на двойном топливе для буксира представляется весьма актуальным.

Источники и литература

1. Веревкин В.Ф., Миханошин В.В. Возможности использования комбинированных энергоустановок на малотоннажных судах // Проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — № 1, 2009. — С. 259–262.
2. Able Observer [Электронный ресурс]. — URL: <http://www/rosavtodiesel.ru>.
3. Центр исследований силовых и энергетических установок. Корабельная силовая установка. [Электронный ресурс]. — URL: http://nild/narod/ru/gibrid_korabel.html.

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКА

УДК 656.61.052

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ И ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

Е.В. Адамюк¹, А.А. Дыда

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,

г. Владивосток

¹ Adamyuk@msun.ru

Аннотация. Статья посвящена оптимизационному и MPC подходу в ТАУ. В ней рассмотрены теоретические аспекты оптимизации, рассмотрена задача оптимального управления и ее связь с прогнозирующими моделями.

Ключевые слова: оптимизация, ТАУ, MPC, прогнозирующие модели.

APPLICATION OF THE MODEL PREDICTIVE CONTROL, OPTIMIZATION IN THE PROBLEM OF CONTROL OF THE VESSEL

E.V. Adamyuk¹, A.A. Dyda

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,

Vladivostok

¹ Adamyuk@msun.ru

Abstract. The article is devoted to the optimization and MPC approach in automatic control theory. It discusses the theoretical aspects of optimization, considers the problem of optimal control and its connection with predictive models.

Keywords: optimization, MPC, control automatic theory, model predictive control.

Оригинальность: 90,12 %,
25.03.2019

Существует множество математических моделей используемых для решения задач управления судном. В частности, с точки зрения теории автоматического управления можно рассмотреть линейные и нелинейные модели, непрерывные и дискретные модели и т.д. Используя оптимизационный подход можно рассмотреть эти же самые модели с использованием различного математического аппарата.

Оптимизация — крайне желательный аспект нашей жизни. Нам нравится работать и использовать наше время оптимальным образом, оптимально использовать ресурсы и так далее. Объектом оптимизации может быть все, что угодно. Его (объект) можно рассматривать по-разному. В зависимости от подхода (определение управляющих сигналов, которые заставят процесс (объект) удовлетворять некоторым физическим ограничениям, и в то же время находить экстремум (максимизировать или минимизировать) выбранный критерий производительности (индекс производительности или функция стоимости) алгебраического или геометрического, числа выходов (одного или нескольких), характера сигналов (детерминированных или стохастических) и стадии (один или несколько), используемых в оптимизации.

В оптимизации для синтеза моделей используется критерий, объединяющий требования к модели. В случае, если мы говорим о модели движения судна, это могут быть, например, требования к ограничениям на переключку руля и т. д.

Целью синтеза такой модели может являться корректировка движения судна, стабилизация показателей работы систем, предупреждение сбоя работы систем и устройств, и так далее.

Оптимизационная модель довольно популярна и часто используется для синтеза сложных процессов. Кроме того, она неоднократно синтезирована и использована в широчайшем спектре устройств.

В результате синтеза такой модели можно получить устройство, которое корректирует работу рулевой машины таким образом, что курс будет оптимальным, траектория — минимальна.

Рассмотрим простейшую модель движения судна. Пусть функция φ задает курс. При этом $\varphi(0)$ — начальный курс (постоянная величина), $\varphi(N)$ — в T -й момент времени, $\varphi(D)$ — желаемый курс, δ — угловое положение руля, $\delta(i)$ — в i -й момент времени.

Рассмотрим варианты решения задачи об оптимизации. Решение задачи об оптимизации в канонической форме будет сводиться к поиску критерия J :

$$J = \frac{1}{2} [\varphi_d - \varphi_N]^2 + \sum_{i=0}^{N-1} \delta^2(i). \quad (1)$$

Прежде чем обратиться к решению, рассмотрим разностную модель процесса и попробуем его дискретизировать, чтобы свести аналитические рассуждения к уже известным методам решения задачи.

Рассмотрим скорость ω как производную от φ и дискретизируем модель:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\varphi^{(i+1)} - \varphi^{(i)}}{\Delta t} \approx \omega^{(i)}, \quad (2)$$

$$\frac{\omega^{(i+1)} - \omega^{(i)}}{\Delta t} = -\frac{1}{T} \omega^{(i)} + \frac{K}{T} \delta^{(i)}, \quad (3)$$

$$\frac{\omega^{(i+1)} - \omega^{(t)}}{\Delta t} = -\frac{1}{T} \omega^{(i)} + \frac{K}{T} \delta^{(i)}. \quad (4)$$

Определим функции, по которой можно рассчитать курс φ и скорость ω :

$$\varphi(i+1) = \varphi(i) + \Delta t * \omega(i),$$

$$\omega(i+1) = \omega(i) + \Delta t \left(-\frac{1}{T} \omega(i) \right) + \frac{K}{T} \delta(i). \quad (5)$$

Минимизируя φ ($\varphi \rightarrow \min$), можно получить значение $\varphi(D)$ и таким образом решить задачу оптимизации.

Рассмотрим дискретную модель до 3 шага. При этом определим, что $\varphi(0)$, $\omega(0)$ — начальные условия, N — известное дискретное количество шагов, определяющее горизонт прогноза, T — постоянная времени:

$$\varphi(1) = \varphi(0) + \Delta t * \omega(0),$$

$$\omega(1) = a * \omega(0) + b * \delta(0),$$

где a и b — постоянные коэффициенты;

$$\varphi(2) = \varphi(1) + \Delta t * \omega(1) = (\varphi(0) + \Delta t * \omega(0)) + \Delta t (a * \omega(0) + b * \delta(0)),$$

$$\omega(2) = a * \omega(1) + b * \delta(1) = a * (a * \omega(0) + b * \delta(0)) + b * \delta(1), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varphi(3) = \varphi(2) + \Delta t * \omega(2) = & (\varphi(0) + \Delta t * \omega(0)) + \Delta t (a * \omega(0) + b * \delta(0)) + \\ & + \Delta t * (a * (a * \omega(0) + b * \delta(0)) + b * \delta(1)), \end{aligned}$$

$$\omega(3) = a * \omega(2) + b * \delta(2) = a * (a * (a * \omega(0) + b * \delta(0)) + b * \delta(1)) + b * \delta(2).$$

Установим целевую функцию:

$$F = \frac{1}{2}(\varphi(N) - \varphi_d)^2 + \frac{1}{2} + \delta(2)^2. \quad (7)$$

Метод неопределенных множителей Лагранжа позволит найти экстремум этой функции, и таким образом, решить задачу оптимизации.

Кроме разностной модели, можно рассмотреть матричную:

$$x(i) = \begin{pmatrix} \varphi(i) \\ \omega(i) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \varphi(i+1) \\ \omega(i+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 - \frac{\Delta t}{T} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \varphi(i) \\ \omega(i) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta t * b \end{pmatrix} * \delta(i), \quad (8)$$

$$x(i + 1) = A * x(i) + B * \delta(i).$$

Далее можно реализовать задачу через матричные выражения.

Можно рассмотреть задачу оптимизации движения судна и в среде Matlab Simulink.

На подготовительном этапе можно построить такую простейшую разомкнутую схему:

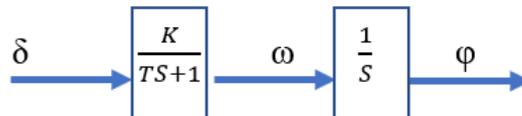


Рис. 1. Разомкнутая схема

На рисунке 1 та же самая модель представлена комбинацией двух элементов — Pi-регулятора (Pi-пропорционального интегрального) и интегратора. Данная модель является линейной. Она неустойчива.

Усложним модель. Добавим отрицательную обратную связь, еще один Pi-регулятор и посмотрим на характеристики работы модели на осциллографе (рис. 2):

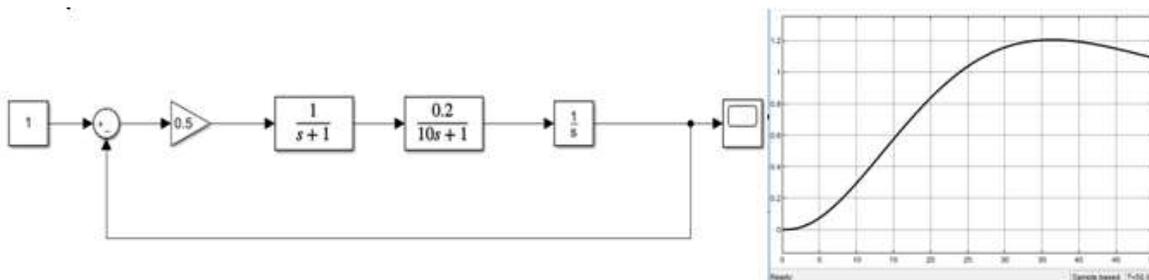


Рис. 2. Усложненная модель и показания осциллографа

На показаниях осциллографа видно, что в интервале 50 секунд модель по-прежнему не достигла устойчивости при данных коэффициентах P_i -регуляторов.

Изменим модель. Уберем интегратор, а усилитель перенесем в обратную связь.

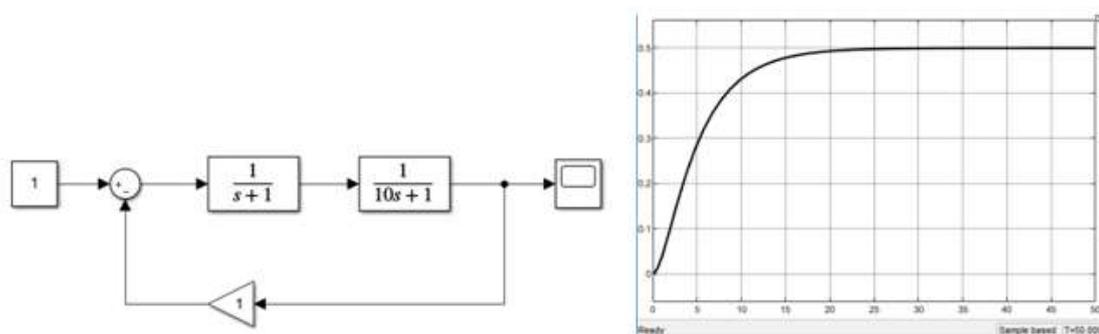


Рис. 3. Измененная модель и показания осциллографа

На показаниях осциллографа видно, что с 25 секунды модель достигает состояния устойчивости. Путем изменения показателей P_i - регуляторов можно уменьшить промежуток времени, который требуется системе, чтобы достичь устойчивого состояния.

В современной теории автоматического управления есть направление, которое изучает оптимизационные модели с обратной связью, причем в аспекте наиболее успешного и многократного применения оптимизации различного рода задачам, в том числе к синтезу модели движения. Этот аспект позволяет управлять сложными структурированными объектами, в том числе нелинейными, оптимизировать процессы в режиме реального времени, учитывая переменные разной степени влияния, неопределенности в возмущениях и объектах. Направление называется прогнозирующим управлением. В иностранной литературе используется термин MPC — Model Predictive Control.

В формате данной модели оптимизация — всего лишь часть прогноза. Сущность MPC-подхода составляет следующая схема управления динамическими объектами по принципу обратной связи:

- Создается математическая модель объекта с определенными переменными, находящаяся в п. При определенном управлении выполняется интегрирование уравнений этой модели, что позволяет получить горизонт прогноза (как будет двигаться объект).
- Реализуется оптимизация программного управления, целью которого служит приближение регулируемых переменных прогнозирующей модели к соответствующим задающим сигналам на горизонте прогноза. Оптимизация

осуществляется с учётом всего комплекса ограничений, наложенных на управляющие и регулируемые переменные.

- На шаге вычислений, составляющем фиксированную малую часть горизонта прогноза, реализуется найденное оптимальное управление и осуществляется измерение (или восстановление по измеренным переменным) фактического состояния объекта на конец шага.
- Горизонт прогноза сдвигается на шаг вперед, и повторяются пункты 1 – 3 данной последовательности действий.

Приведенная схема может быть объединена с предварительным проведением идентификации уравнений модели, используемой для выполнения прогноза (рис. 4).

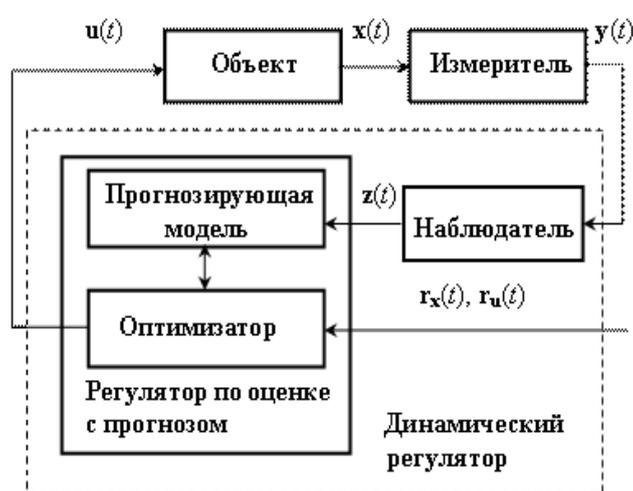


Рис. 4. Схема, объединенная с предварительным проведением идентификации уравнений модели

Коррекция может в свою очередь определяться курсом, внешними возмущениями, состоянием устройства, условиями управления.

Усложнив оптимальную модель до прогнозирующей, добавив дополнительные элементы в обратную связь, можно достигнуть устойчивого состояния быстрее, а так же получить необходимые показатели переменных, соответствующих заданным критериям.

Оптимизация, как часть прогнозирующей модели, многократно повторяется в каждом такте времени. Это позволяет увеличить как число объектов модели, так и сферу задач, к которой можно их применить.

Вопрос исследования МРС моделей в управлении подвижными объектами развивается в направлении создания алгоритмов управления с предсказанием с различающимися целями для всевозможных классов подвижных объектов, включая различные типы объектов в водной среде.

В рамках работы в этом направлении авторами планируется усложнить модель, во-первых, добавлением новых переменных в систему, во-вторых, преобразованием оптимизационной модели в прогнозирующую.

Источники и литература

1. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. — СПб: Питер, 2005. — 271 с.
2. Bishop R.H Modern control system analysis and Design using Matlab. — Austin, 2015. — P. 84.
3. Edoardo Mosca. Optimal, Predictive, And Adaptive Control. — Robotics & Automation, 2009. — P. 425.
4. Model Predictive Control Toolbox User's Guide. — The MathWorks, Inc. — 1998. — P. 250.
5. Kirk Donald E. Optimal control theory. — Prentice Hall, 2004. — P. 472.

Поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

УДК 621.313.3.013

ТОКИ АБСОРБЦИИ В ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК
СУДОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

С.И. Борисов
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток
borisovS@msun.ru

Аннотация. Рассматривается расчет токов абсорбции в изоляции обмоток асинхронных двигателей по электрической схеме замещения.

Ключевые слова: ток абсорбции, диагностика, изоляция, асинхронный двигатель.

ABSORPTION CURRENTS IN THE INSULATION
OF WINDINGS OF SHIP INDUCTION MOTORS

S.I. Borisov
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok
borisovS@msun.ru

Abstract. The calculation of absorption currents in the insulation of the windings of asynchronous motors is considered according to the electrical equivalent circuit.

Keywords: absorption current, diagnostics, isolation, asynchronous motor.

Оригинальность: 100 %,
26.03.2019

Абсорбционный метод определения качества изоляции основан на анализе абсорбционных характеристик тока заряда или разряда при постоянном напряжении, характеризующих процесс междуслойной поляризации [1-3]. Процессы междуслойной поляризации связаны с изменениями структуры изоляции.

Электрическая схема замещения изоляции асинхронного двигателя для анализа токов абсорбции должна быть с максимальным количеством слоев пазовой изоляции и лобовой изоляции для того, чтобы выполнялись все допущения при расчетах. Выбираем схему замещения с тремя слоями пазовой изоляции и двумя слоями лобовой изоляции, что характерно для судовых асинхронных двигателей типов АМ, АМЛ, АМШ, МАП, МАФ.

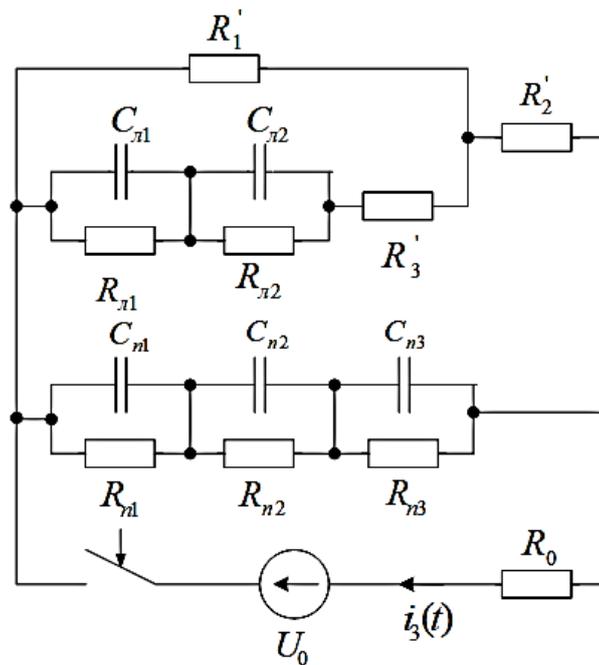


Рис. 1. Схема замещения изоляции асинхронного двигателя

На рис.1 обозначено:

$R_{лк}$ — объемное сопротивление k слоя лобовой изоляции;

$R_{нк}$ — объемное сопротивление k слоя пазовой изоляции;

R'_1, R'_2, R'_3 — эквивалентные сопротивления, учитывающие сопротивления изоляции клемного плато, выводного провода и других участков обмотки;

R_0 — внутреннее сопротивление источника постоянного напряжения U_0 , которым можно пренебречь;

$C_{лк}, C_{нк}$ — емкость k слоя лобовой и пазовой изоляции.

Ток объемной сквозной проводимости пазовой изоляции определяется:

$$I_n(0) = \frac{U_0}{\sum_{k=1}^3 R_{нк}}. \quad (1)$$

Ток сквозной проводимости лобовой изоляции равен:

$$I_l(0) = U_0 / ((R'_{12} \sum_{k=1}^3 R_{лк} + R'_{123}) / (\sum_{k=1}^2 R_{лк} + R'_{13})), \quad (2)$$

где

$$R'_{12} = R'_1 + R'_2; R'_{13} = R'_1 + R'_3; R'_{123} = R'_1 R'_2 + R'_1 R'_3 + R'_2 R'_3.$$

Свободная составляющая тока заряда, обусловленная процессами межслоевой поляризации пазовой изоляции, определяется:

$$i_{св.п} = \sum_{j=1}^2 (U_0 / (\sum_{k=1}^3 (R_{nk} T_{nk} \tau_j / (\tau_j - T_{nk})^2))) e^{-\frac{t}{\tau_j}}. \quad (3)$$

Для определения τ_j необходимо решить уравнение:

$$\sum_{k=1}^3 \frac{R_{nk}}{\tau_j - T_{nk}} = 0, \quad (4)$$

где

$$T_{nk} = R_{nk} C_{nk}.$$

Свободная составляющая, обусловленная процессом заряда геометрической емкости лобовой изоляции и процессами её межслоевой поляризации:

$$i_{св.л} = \sum_{s=1}^2 (U_0 / ((\frac{R'_{12}}{R_1})^2 \sum_{k=1}^2 (R_{лк} T_{лк} \tau_s / \tau_s - T_{лк})^2)) e^{-\frac{t}{\tau_s}}. \quad (5)$$

Для определения τ_s необходимо решить уравнение:

$$\sum_{k=1}^2 \frac{R_{лк} \tau_s}{\tau_s - T_{лк}} = -\frac{R'_{123}}{R_{12}}, \quad (6)$$

где

$$T_{лк} = R_{лк} C_{лк}.$$

Зарядный ток можно представить в виде:

$$i_3(t) = I_n(0) + I_l(0) + i_{св.п}(t). \quad (7)$$

Производная зарядного тока абсорбции равна:

$$i'_3(t) = -\frac{1}{\tau_j} \sum_{j=1}^2 \frac{U_0}{\sum_{k=1}^3 \frac{R_{nk} T_{nk} \tau_j}{(\tau_j - T_{nk})^2}} e^{-\frac{t}{\tau_j}} - \frac{1}{\tau_s} \sum_{s=1}^2 \frac{U_0}{(\frac{R'_{12}}{R_1})^2 \sum_{k=1}^2 \frac{R_{лк} T_{лк} \tau_s}{(\tau_s - T_{лк})^2}} e^{-\frac{t}{\tau_s}}. \quad (8)$$

Сопротивление изоляции при постоянном напряжении определяется:

$$R(t) = U_0/i_3(t). \quad (9)$$

Зависимости тока абсорбции $i_3(t)$, сопротивления изоляции $R(t)$ и производной тока $i_3'(t)$ могут быть использованы для оценки состояния изоляции [1-3].

Источники и литература

1. Белоногов В.П., Гуменюк В.М., Тенёткин Ю.П. Методы оценки степени старения изоляции судовых электрических машин // Судовая электротехника и связь. — Вып. 27. — 1980.
2. Володин Н.М. Определение годности изоляции методом поляризации. — Челябинск, 1959.
3. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытание электроизоляционных материалов. — М.: Госэнергоиздат, 1963.

Поступила в редакцию 08 марта 2019 г.

УДК 519.872.6

МЕТОД НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА НА ОСНОВЕ ЭТАЛОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Е.П. Чинчукова

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
г. Владивосток

Chinchukova_lena@mail.ru

Аннотация. В статье представлен метод настройки параметров регулятора системы управления движением судна по курсу. Достижение эталонной динамики системы, на примере системы управления курсом судна, позволяет настроить параметры системы управления. Это возможно после идентификации параметров объекта управления (судна). Модель системы настройки, представленный в работе, подтверждает работоспособность метода.

Ключевые слова: эталонная динамика, адаптивная настройка, движение судна по курсу, параметры регулятора.

THE METHOD OF PARAMETERS DESIGN FOR SHIP COURSE CONTROL SYSTEM BASED REFERENTS MODEL

E.P. Chinchukova

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok

Chinchukova_lena@mail.ru

Abstract. The approach to regulator parameter design for ship course control system is proposed in the paper. It is supposed that dynamics ship control system should satisfy a desirable referents aquarist. It makes possible to determine regulator parameter after ship parameter identification. Examples to illustrate the approach a given in the paper.

Keywords: the reference dynamics, adaptive tuning, ship course, the parameters of the regulator.

Оригинальность: 82,89 %,
15.03.2019

Судно, как объект управления обладает достаточно сложной [3, 5, 7], нелинейной динамикой, для практических целей, в общем случае, часто используют

линеаризованные модели Номото первого и второго порядка и подобные им. Для настройки регулятора (авторулевого) системы управления, в частности, курсом судна, первостепенное значение имеет знание параметров управляемости судна. Процедура их определения – идентификация может быть выполнена различными методами [2, 4, 6, 8]. После выполнения идентификации следующим шагом является настройка параметров регулятора. В теории и практике систем автоматического управления известны подходы к настройке регуляторов, обеспечивающих желаемое качество процессов управления [1]. Ниже рассматривается задача синтеза параметров регулятора, обеспечивающего оптимальное управление курсом судна.

Для настройки параметров регулятора системы управления движением судна по эталонной динамике необходимо, привести характеристическое уравнение системы к нормированной форме, например, Вышнеградского.

$$W = \frac{k}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1}, \quad (1)$$

где W — передаточная функция системы, K — коэффициент, s — оператор дифференцирования $s = \frac{d}{dt}$, a_n — коэффициент при n -степени дифференцирования.

Переход к нормированной форме Вышнеградского осуществляется введением нормированного оператора q :

$$q = \sqrt[n]{a_n} s \rightarrow s = \frac{q}{\sqrt[n]{a_n}}. \quad (2)$$

После подстановки характеристический полином системы:

$$D(p) = q^n + b_{n-1} q^{n-1} + \dots + b_1 q + 1. \quad (3)$$

Параметры в нормированном уравнении должны соответствовать определенным численным значениям параметров уравнения, при которых достигается эталонная динамика системы.

Пример эталонной динамики — достижение технического или симметричного оптимума или переходный процесс минимальным временем.

Сочетание коэффициентов характеристического полинома, при которых система будет близка к техническому оптимуму для различных значений n , представлено в табл. 1.

Таблица 1

Характеристические полиномы, соответствующие
техническому оптимуму системы

n	Характеристический полином
2	$q^2+1.41q+1$
3	$q^3+2.06q^2+1.31q+1$
4	$q^4+2.6q^3+3.8q^2+2.8q+1$

Кроме технического оптимума, систему возможно настроить параметры регулятора для достижения минимального времени переходного процесса, для этого воспользуемся параметрами из таблицы 2.

Таблица 2

Характеристические полиномы, соответствующие аperiodическому
переходному процессу с минимальным временем

n	Характеристический полином
2	q^2+2q+1
3	q^3+3q^2+3q+1
4	$q^4+4q^3+6q^2+4q+1$

Определим характеристическое уравнение для системы управления движением судна по курсу.

Пусть модель движения судна по курсу, описывается уравнением (Номото I порядка) [9, 10]:

$$\frac{K}{s(Ts+1)} \quad (4)$$

Так же в математической модели будем учитывать динамику рулевой машины:

$$\frac{K_p}{T_p s+1} \quad (5)$$

Уравнение ПИД-регулятора:

$$\frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

Приведем характеристическое уравнение системы (6) к нормированной форме Вышнеградского (4):

$$T_c T_p s^4 + (T_c + T_p) s^3 + (1 + K K_p K_d) s^2 + K K_p K_i s + K K_p K_i = 0, \quad (6)$$

$$s^4 + \frac{(T_c + T_p) \sqrt[4]{KK_p K_i}}{KK_p K_i} s^3 + \frac{(1 + KK_p K_D) \sqrt[4]{KK_p K_i}}{KK_p K_i} s^2 + \frac{K_{\Pi} \sqrt[4]{KK_p K_i}}{K_i} s + 1 = 0. \quad (7)$$

Введем замену — $q = s \sqrt[4]{\frac{T_c T_p}{KK_p K_i}}$, и $s = q \sqrt[4]{\frac{KK_p K_i}{T_c T_p}}$. Далее определим, что коэффициенты характеристического уравнения четвертого порядка рассчитываются согласно формулам (2):

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{(T_c + T_p) \sqrt[4]{KK_p K_i}}{KK_p K_i} \sqrt{\frac{T_c T_p}{KK_p K_i}}, \\ a_2 &= \frac{(1 + KK_p K_D) \sqrt[4]{KK_p K_i}}{KK_p K_i} \sqrt{\frac{T_c T_p}{KK_p K_i}}, \\ a_3 &= \frac{K_{\Pi} \sqrt[4]{KK_p K_i}}{K_i} \sqrt{\frac{T_c T_p}{KK_p K_i}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Модель системы управления, реализованная в среде Matlab Simulink, с настроенными параметрами регулятора для обеспечения технического оптимума системы управления движением судна по курсу или для обеспечения минимального времени переходного процесса системы управления движением судна по курсу.

Результаты моделирования изображены на рисунках 3 – 5.

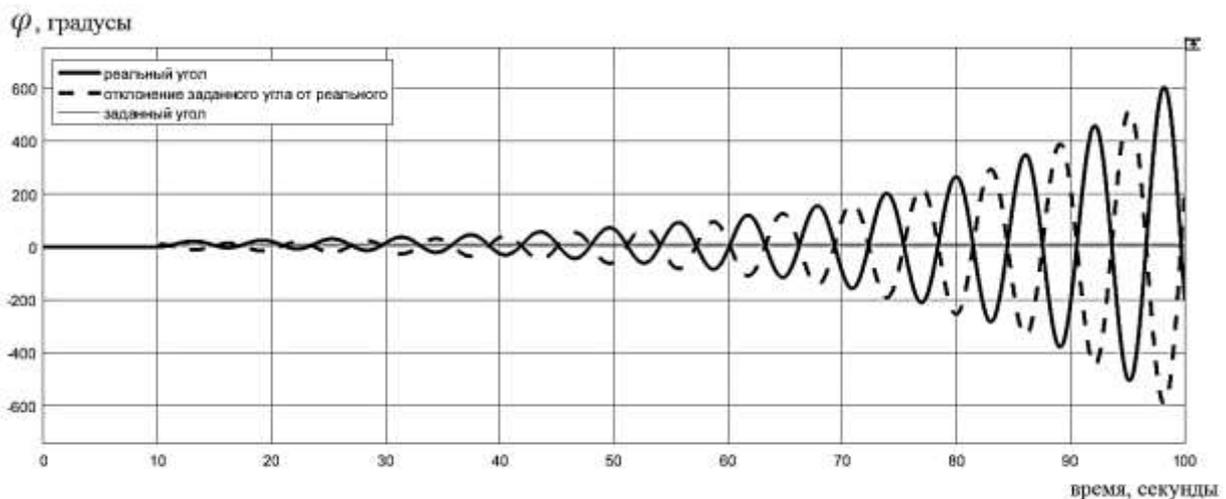


Рис. 3. Графики, отображающие работу системы управления движением судна по курсу, без настройки регулятора по техническому оптимуму

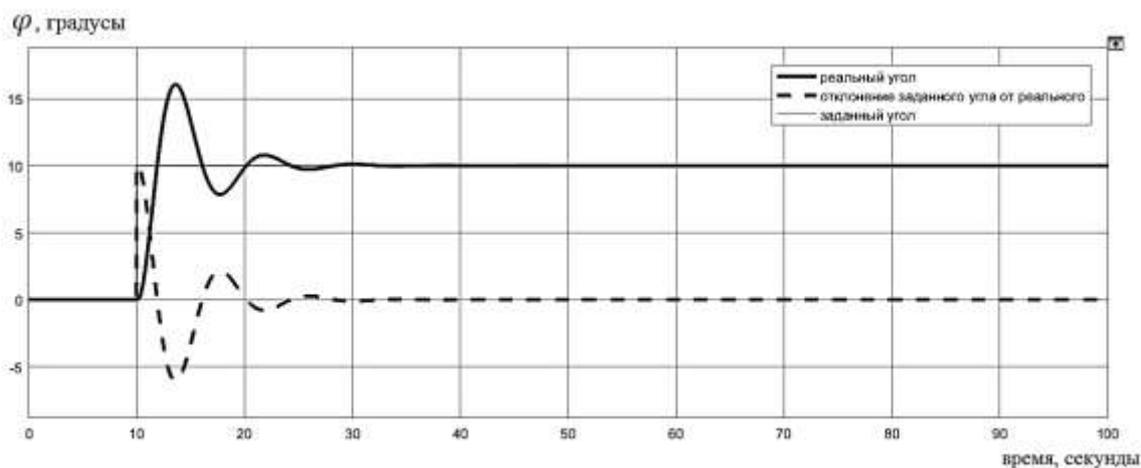


Рис. 4. Графики, отображающие работу системы управления движением судна по курсу, с настроенным регулятором по техническому оптимуму, при входном сигнале 10 градусов

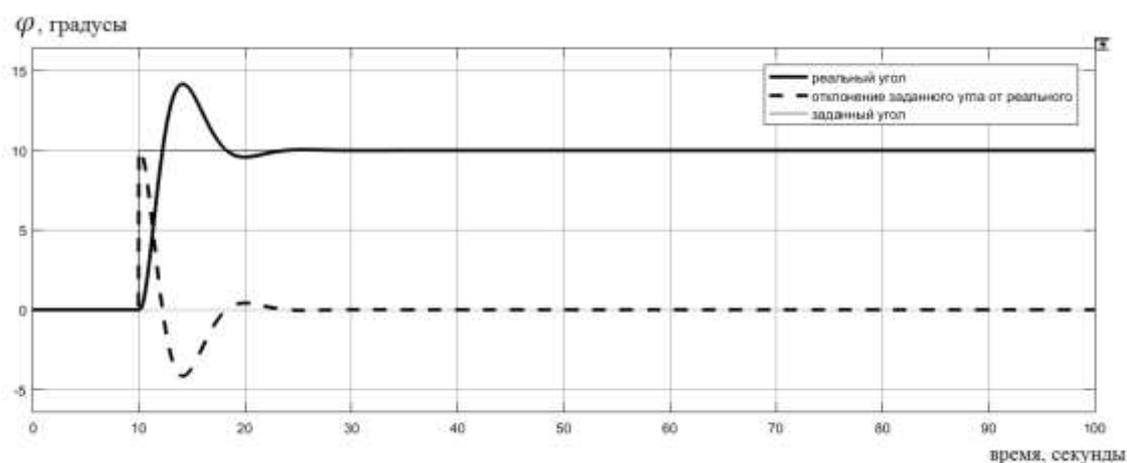


Рис. 5. Графики, отображающие работу системы управления движением судна по курсу, с настроенным регулятором с минимальным временем переходного процесса

Как видно из рисунков 4 и 5, система управления движением судна по курсу с ПИД-регулятором, настроенным по техническому оптимуму и минимальному времени переходного процесса достаточно работоспособна.

Источники и литература

1. Башарин А.В. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 392 с.
2. Дыда А.А. Адаптивная идентификация параметров моделей судна на основе алгоритма скоростного градиента / А.А. Дыда, П.А. Дыда, Е.Б. Осокина, Д.А. Оськин. — СПб: НИЦ Моринтех. — 2016. — № 3 (33), Т. 1. — С. 250–257.
3. Дыда А.А. Адаптивное и нейросетевое управления сложными динамическими объектами. — Владивосток : Дальнаука, 2006. — 149 с.
4. Дыда А.А. Задача идентификации в проблеме управления беспилотным судном / А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, Е.Б. Осокина // Перспективы беспилотных технологий на водном транспорте. Сборник докладов национальной научно-практической конференции. — 2018. — С. 17–22.

5. Лукомский Ю.А. Управление морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.М. Корчанов. — СПб: Элмор, 1996. — 320 с.
6. Осокина Е.Б. Адаптивная идентификация параметров судна на основе простых моделей / Е.Б. Осокина, А.А. Дыда, Д.А. Оськин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2015. — № 2. — С. 24–31.
7. Суевалов Л.В. Справочник по расчетам судовых автоматических систем / Л.В. Суевалов. — Л.: Судостроение, 1989. — 408 с.
8. Dyda A.A. Algorithms of ship parameters' identification via speed gradient method // Asia-Pacific journal of marine science & education. — Vol. 8. — No. 1. — 2018. — P. 4–9.
9. Nomoto K. On the Steering Quality of Ships / K. Nomoto, K. Taguchi, K. Honda and S. Hirano // Int. Shipbuilding Progress. — Vol. 4. — P. 354–370.
10. Nomoto K. Simulators from the naval architects' point of view / K. Nomoto // Proceedings of MARSIM. — Southampton, 1978. — P. 554-556.

Поступила в редакцию 12 марта 2019 г.

УДК 519.872.6

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА
С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ
НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА

Е.П. Чинчукова

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,

г. Владивосток

Chinchukova_lena@mail.ru

Аннотация. В статье решается проблема адаптивной настройки параметров системы управления курсом судна. Алгоритмы адаптивной настройки основываются на методе скоростного градиента. Оптимизационный локальный критерий для настройки параметров выбран в квадратичной форме.

Ключевые слова: адаптивное управление, курс судна, нелинейная рулевая машина, локальный критерий качества, моделирование.

SHIP COURSE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM WITH NON-LINEAR
STEERING MACHINE DYNAMICS AND LOCAL QUALITY CRITERION

E.P. Chinchukova

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy,

Vladivostok

Chinchukova_lena@mail.ru

Abstract. The paper is devoted to the problem of adaptive regulated tuning for ship course control system. Adaptive algorithms are derived on the bases of speed gradients method. Local optimization criterion to design parameter tuning algorithms is chosen in the quadratic foam.

Keywords: adaptive control, Ship course, non-linear steering machine, local quality criterion.

Оригинальность: 84,64 %,

15.03.2019

Качество систем управления курсом судна имеет большое значение для безопасности судовождения [2, 3, 5]. В традиционных системах управления курсом судна, как правило, судоводитель настраивает коэффициенты регулятора в зависимости от различных условий функционирования судна — его загруженности, глубины и так далее [3, 5].

В работе предлагается подход к построению адаптивных систем управления курсом судна, основанный на методе скоростного градиента [1, 2, 4, 7].

Система управления курсом судна должна обеспечивать с одной стороны высокую точность движения вдоль траектории, или малую ошибку, и с другой стороны желательны малые отклонения пера руля, для предотвращения потерь скорости судна. Таким образом, выбор критерия качества процессов управления движением судна определяется двумя указанными требованиями.

Синтез адаптивной системы управления курсом судна.

Для представления динамики судна воспользуемся моделью Номото первого порядка [8, 9]. Модель Номото 1-го порядка имеет простейший вид линейного дифференциального уравнения 1-го порядка:

$$T_c \dot{\omega} + \omega = K_c \delta, \quad (1)$$

где ω — угловая скорость рысканья, имеющего два параметра T_c и K_c — параметры управляемости судна.

Для иллюстрации предлагаемого подхода к синтезу системы управления, в качестве примера, выберем ПИД-регулятор, параметры которого далее будут настраиваться. В этом случае передаточная функция регулятора $W(s)$ имеет следующий вид:

$$W(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s, \quad (2)$$

где K_p , K_i , K_d — пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты ПИД-регулятора соответственно.

Применение метода скоростного градиента предполагает выбор критерия в качестве процесса управления [6]. Зададимся следующим локальным критерием качества [6].

С учетом сказанного выше, выберем локальный критерий в следующей форме:

$$Q = \frac{1}{2} \varepsilon^2 + \frac{c}{2} \delta^2, \quad (3)$$

где ε — отклонение курса судна от заданного значения, δ — отклонение пера руля, c — весовой коэффициент критерия.

Следуя рекомендациям [6], запишем законы настройки (алгоритмы) ПИД-регулятора:

$$\dot{K}_d = \gamma c \delta \dot{\varepsilon}, \quad \dot{K}_p = \gamma c \delta \dot{\varepsilon}, \quad \dot{K}_i = \gamma c \delta \varepsilon, \quad (4)$$

где γ — константа, скорость настройки параметров.

Очевидно, что минимизация этого критерия обеспечивает одновременное уменьшение ошибки по курсу и отклонение пера руля (что способствует, как отмечалось выше для сохранения продольной скорости хода судна).

Математическая модель рулевой машины может быть представлена, как нелинейная рулевая машина:

$$\dot{\delta} = K_p f(u - \delta). \quad (5)$$

Воспользуемся разработанным алгоритмом настройки параметров регулятора (4) для системы управления курсом судна с учетом динамики нелинейной рулевой машины на основе более упрощенной модели судна.

Для проверки работоспособности предложенного метода реализуем схема системы управления движением судна по курсу с учетом динамики нелинейной рулевой машины и с адаптивной настройкой параметров регулятора по локальному критерию качества в среде Matlab Simulink.

Сравним результаты двух систем управления движением судна по курсу с учетом динамики нелинейной рулевой машины — одна модель с адаптивно-настраиваемыми параметрами ПИД-регулятора и вторая модель — без адаптивной настройки параметров регулятора. Начальные условия в регуляторах одинаковы.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования — графики, показывающие курс судна без настройки параметров регулятора и с адаптивной настройкой, при желаемом курсе судна (рис. 1).

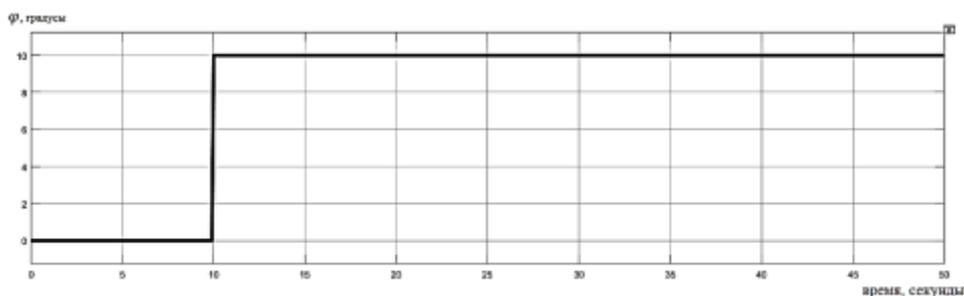


Рис. 1. Входной сигнал модели судна

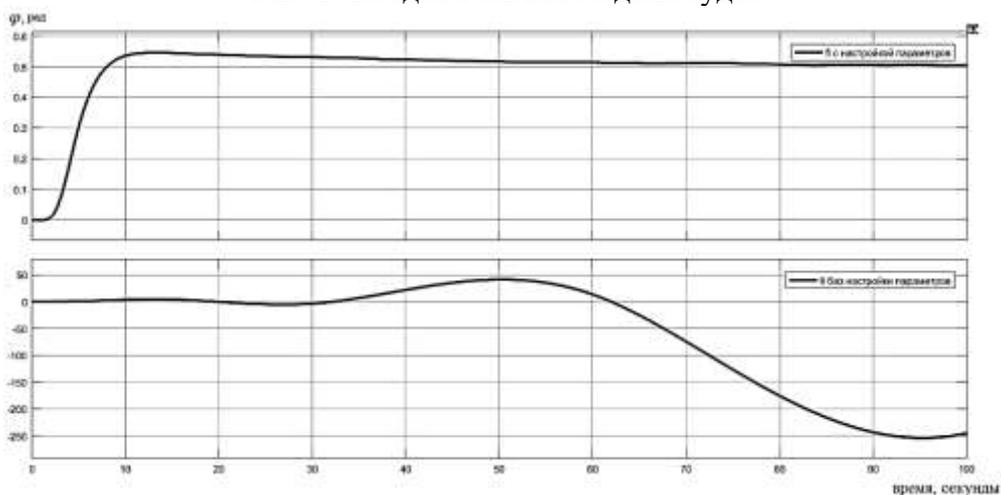


Рис. 2. Выходной сигнал модели

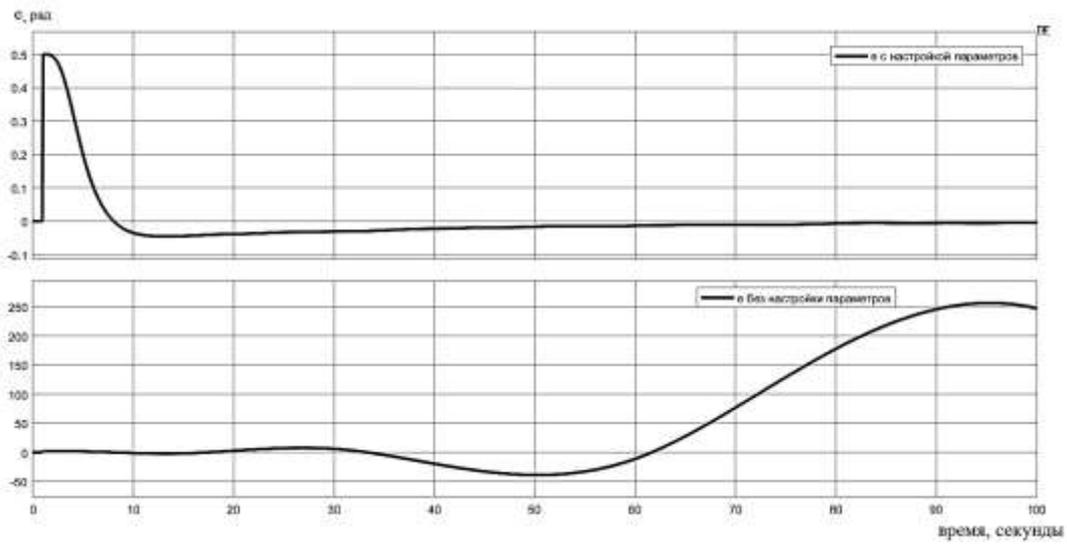


Рис. 3. Отклонение сигнала управления движения судна по курсу от реального

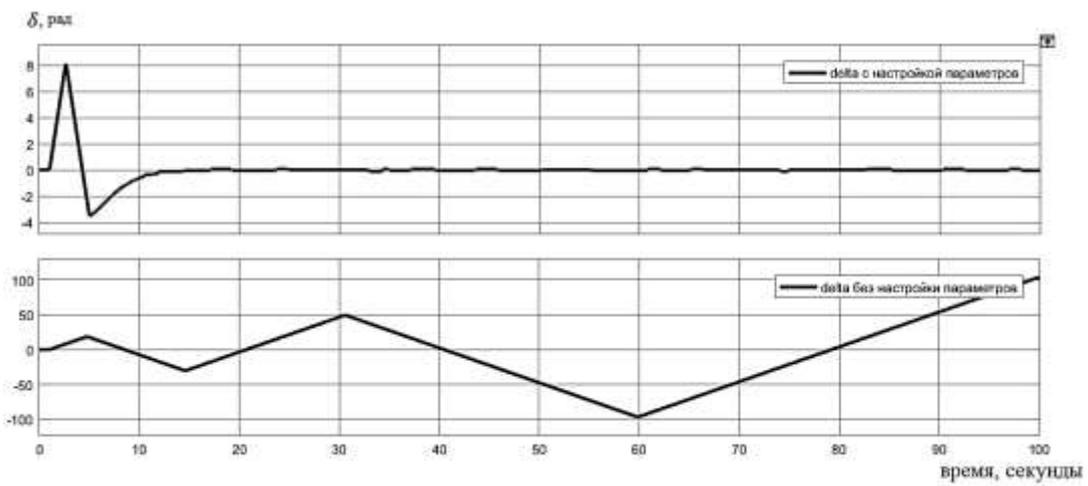


Рис. 4. Угол поворота пера руля рулевой машины судна

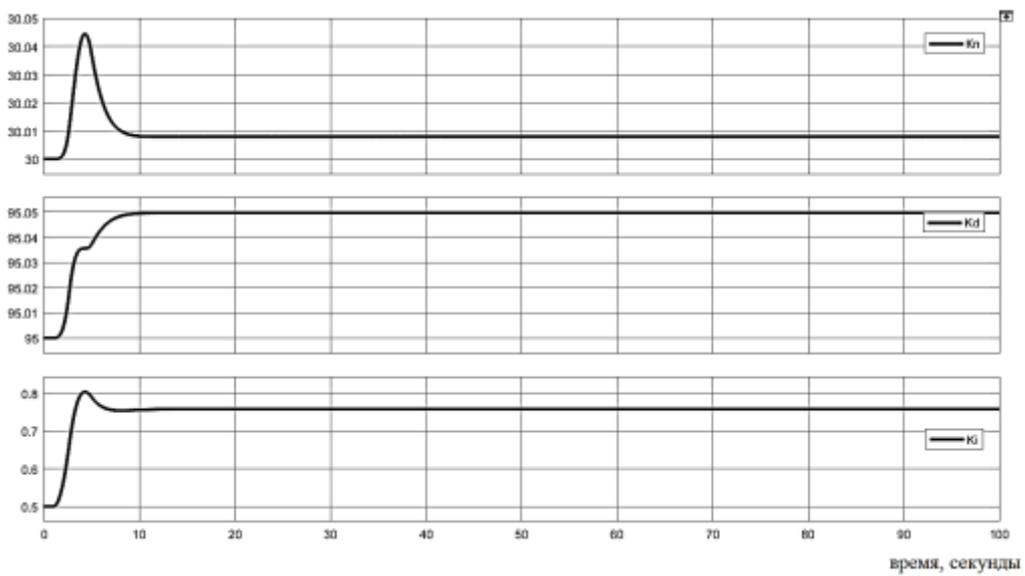


Рис. 5. Графики настройки параметров регулятора

Графики настройки параметров регулятора, изображенные на рисунке 5, показывают настроенные значения коэффициентов ПИД-регулятора.

На рисунках 4 и 3 показаны графики, показывающие, что при адаптивной настройке параметров системы управления минимизируется ошибка по курсу и минимизируется угол отклонения рулевой машины.

Разработанная система адаптивного управления курсом судна, основанная на применении локального квадратичного критерия качества, объединяет в себе требования к точности движения судна по курсу с малыми отклонениями пера руля. Что способствует уменьшению потерь полезной скорости движения судна и сохранению (рациональному использованию) ресурса рулевой машины.

Результаты моделирования подтвердили эффективность и работоспособность предложенного адаптивного алгоритма управления курсом судна.

Источники и литература

1. Дыда А.А. Адаптивное и нейросетевое управления сложными динамическими объектами. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — 149 с.
2. Дыда А.А. Задача идентификации в проблеме управления беспилотным судном / А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, Е.Б. Осокина // Перспективы беспилотных технологий на водном транспорте. Сборник докладов национальной научно-практической конференции. — 2018. — С. 17–22.
3. Лукомский Ю.А. Управление морскими подвижными объектами : учебник / Ю.А. Лукомский, В.М. Корчанов. — СПб: Элмор, 1996. — 320 с.
4. Осокина Е.Б. Адаптивная идентификация параметров судна на основе простых моделей / Е.Б. Осокина, А.А. Дыда, Д.А. Оськин. // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2015. — № 2. — С. 24-31.
5. Суевалов Л.В. Справочник по расчетам судовых автоматических систем / Л.В. Суевалов. — Л.: Судостроение, 1989. — 408 с.
6. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. — М.: Наука, 1990. — 296 с.
7. Dyda A.A. Algorithms of ship parameters' identification via speed gradient method / A.A. Dyda, E.B. Osokina, E.P. Chinchukova // Asia-Pacific journal of marine science & education. — Vol. 8, No. 1. — 2018. — P. 4-9.
8. Nomoto K. On the Steering Quality of Ships / K. Nomoto, K. Taguchi, K. Honda and S. Hirano // Int. Shipbuilding Progress. — Vol. 4. — P. 354–370.
9. Nomoto K. Simulators from the naval architects' point of view // Proceedings of MARSIM. — Southampton. — 1978. — P. 554–556.

Поступила в редакцию 12 марта 2019 г.

Научное издание

ВЕСТНИК
МОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Спецвыпуск
Материалы III Региональной
научно-практической конференции
«Морские исследования на Дальнем Востоке»,
14-15 марта 2019 г.

Вып. 86 / 2020

Научный редактор
кандидат технических наук, профессор
С. Н. Павликов

3,2 уч.–изд. л. Формат 60 × 84 1/16

Подготовлено в Морском государственном университете
им. адм. Г. И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а