

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>  
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>  
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN614.pdf>  
DOI: 10.15862/40TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/40TVN614>)

**УДК 519.683.2**

**Вунна Чжо**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»  
Россия, Санкт-Петербург<sup>1</sup>  
Аспирант кораблестроения и океанотехники факультета  
E-Mail: [wna.ru.pol@gmail.com](mailto:wna.ru.pol@gmail.com)

**Дегтярев Александр Борисович**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»  
Россия, Санкт-Петербург  
Доктор технических наук  
Профессор кафедры компьютерного моделирования и многопроцессорных систем  
E-Mail: [deg@csa.ru](mailto:deg@csa.ru)

## **Виртуальный полигон по исследованию динамики судов**

---

<sup>1</sup> 190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д.3

**Аннотация.** В статье представлена структура виртуального полигона, позволяющего моделировать как в офисном режиме (проектирование, моделирование, диспетчирзация, ситуационный центр, тренинг ...), так и в режиме бортового вычислительного комплекса (судовождение, обучение, моделирование миссий, сбор данных ...) ветро-волновое поле и динамические характеристики судов в различных условиях эксплуатации. Авторы синтезировали структуру полигона, состоящую из баз данных и баз знаний, управляемых блоками искусственного интеллекта и оптимизации. Отличительной особенностью схемы, разработанной авторами, является интегрирование не только теоретических инструментов моделирования динамики судна на волнении, но и применение статистических, и экспертных знаний. В статье предложено использовать облачные технологии обмена данными с удаленными источниками. Это позволяет представить полигон как одну из возможностей обработки и использования огромных массивов данных, ограниченную лишь возможностями компьютерной техники и скоростью каналов связи. Программный комплекс виртуального полигона позволяет, используя адаптеры, оказывать управляющие воздействия на бортовые успокоитель качки и выдавать рекомендации судоводителю и автопилоту. В статье предложено использование искусственного интеллекта для целей оценки аппаратного комплекса при инсталляции полигона, также в процессе вычислений и интерактивной работы оператора полигона для оптимального решения поставленных задач.

**Ключевые слова:** виртуальный полигон; ветро-волновое поле; динамические характеристики судна; сценарии; экспертные знания; база данных; база знаний.

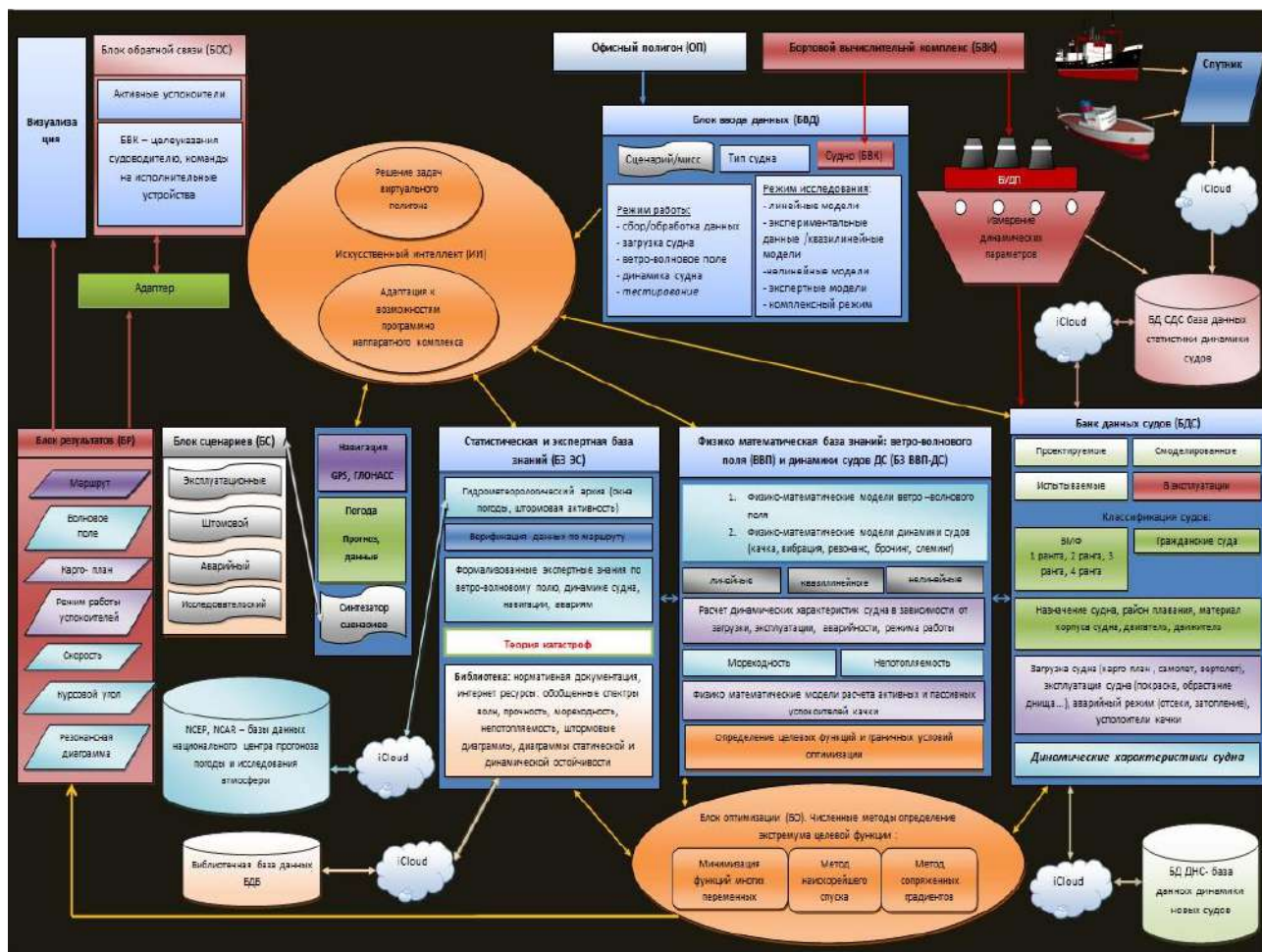
**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Вунна Чжо, Дегтярев А.Б. Виртуальный полигон по исследованию динамики судов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/40TVN614

Достижения информационных технологий в области ситуационных центров и экспертных систем, вычислительной техники, а также наличие существенных теоретических, экспериментальных и натуральных данных по моделированию ветро-волнового поля и динамики судов позволяют синтезировать, на базе информатики, накопленный опыт и знания и реализовать структуру виртуального полигона, позволяющую практически использовать вышеперечисленные возможности. Задачей виртуального полигона в широком смысле, является моделирование динамики судов в различных условиях их эксплуатации во всех возможных обстоятельствах и уголках мирового океана и внутренних водоемах. В узком смысле виртуальный полигон (ВП) может быть реализован в судовом программно аппаратном комплексе, который будем называть далее – бортовой вычислительный комплекс (БВК). Назначением данного полигона является исследование поведения судна в условиях заданных сценариев, например продольное волнение, поперечное волнение, при различных нагрузках и размещении грузов, и повреждениях, а также возможность задания миссий судам, как последовательности сценариев. Предполагается использование блока навигации (БН), который позволяет построить маршрут судна, а также использовать прогноз погоды и морского волнения по маршруту, блок оптимизации, искусственный интеллект, определяющий качество и возможность выполнения задачи и адекватной оценки динамики судна в зависимости от имеющегося в распоряжении программно аппаратного комплекса. Структура такого полигона изображена на Рис.1.

**Виртуальный полигон** состоит из следующих основных частей: блок ввода данных (БВД), банк данных судов (БДС), база знаний ветро-волнового поля и динамики судов (БЗ ВВП-ДС), блок оптимизации (БО), статистическая и экспертная база знаний (БЗ СЭ), блок сценариев (БС), блок результатов (БР), блок миссий и навигации (БМН), блок обратной связи (БОС), искусственный интеллект (ИИ). В состав виртуального полигона также входят удаленные базы данных: статистики динамики судов (БД СДС), динамики новых судов (БД ДНС), библиотечной базы данных (ББД), облачных сервисов для использования данных удаленных баз данных в виртуальном полигоне, которые представлены в виде одного из реально действующих сервисов iCloud.

С помощью **блока ввода данных (БВД)** пользователь определяет тип судна для которого необходимо исследовать его динамику, либо выбирает конкретное судно, которое внесено в банк данных судов. Очевидно, что в БВК параметры судна должны быть однозначно определены и используются постоянно. Особенностью БВК является использование не только численными расчетными данными по динамике судна, но и данными бортового устройства по измерению динамических параметров (БУДП), которыми оснащаются современные суда. При использовании полигона в режиме БВК, данные от БУДП постоянно накапливаются и обрабатываются в банке данных судна. Это позволяет использовать при исследовании динамики судна на виртуальном полигоне квазилинейные уравнения, достаточно точно отражающие поведение судна, на основании обработки данных «натурного эксперимента». Режимы работы ВП: сбор и обработка данных – режим при котором производится подкачка данных по динамике судна из БУДП в базу данных статистики динамики судов (БД СДС). БД СДС – это база, коммутирующая данные по динамике судов из бортовых БУДП группировки судов, в частности с использованием облачной технологии. Режим работы ВП – загрузка судна, это режим при котором происходит сбор и обработки информации по размещению на судне грузов с последующей (или параллельной) обработкой результатов загрузки с точки зрения динамики судна, расположения его центра тяжести, осевых моментов и других динамических характеристик. Режим работы БВК – волновое поле, позволяет производить на основании численных, либо статистических данных по ветровому и волновому полю представление ВВП по маршруту следования судна, либо в режиме задания конкретного сценария представления ВВП.



**Рис. 1.** Разработана авторами структура виртуального полигона по исследованию динамики судна

(Ознакомиться с изображением в высоком разрешении можно по адресу:  
<http://naukovedenie.ru/images/40TVN614/40TVN614.jpg>)

Данные ВВП являются необходимыми исходными данными для исследования динамики судна. Основной режим работы ВП – исследование динамики судна, и также режим тестирования, который позволяет на основании заранее предвычисленных тестовых задач проверить работоспособность и корректность работы программно аппаратного комплекса (ПАК) ВП. Режим исследование динамики судна на ВП – это миссия искусственного интеллекта (ИИ), который с точки зрения возможностей ПАК должен определить возможность и адекватность использования ВП для своих целей, однако при ограниченных ресурсах ПАК, либо для оценочных расчетов динамики, пользователю БВД должна предоставляться возможность самому задать режим исследования с точки зрения возможных допущений и упрощений, в частности: использование линейных моделей, использование квазилинейных моделей, основанных на сборе и обработке значительного количества данных по динамике конкретного судна, либо однотипного судна, что позволяет после соответствующей обработки использовать систему квазилинейных уравнений, достаточно корректно отражающих динамику судна и в то же время не требующих больших вычислительных ресурсов, как например это необходимо при численном решении системы нелинейных уравнений. Предусмотрены также режим исследования динамики судна при использовании численных методов решения системы нелинейных уравнений и численной оптимизации по заданным граничным условиям и целевой функции, экспертный режим исследования – при

использовании формализованных экспертных знаний по динамике судна и его поведению в различных, в том числе в экстремальных ситуациях, а также комплексный режим, при котором пользователь только задает задачу на исследование динамики судна, все решения по использованию того или иного инструмента ВП на основании знаний по адекватности моделей и возможностей данного ПАК принимает искусственный интеллект. Одним из наиболее важных является способность данного виртуального полигона исследовать как сценарии по исследованию динамики судов (качка – ботовая, килевая, ударное воздействие гребня волны, резонансы, броучинг, слеминг, вибрации, посадка летательного аппарата на судно и др.), так и миссии судна, как совокупности сценариев, позволяющих исследовать динамику судна, например при переходе из одного порта в другой с учетом прокладываемых блоком навигации маршрутов, с использованием данных по окнам погоды на маршруте следования судна, данных по ветро-волновому полю на всем маршруте следования и в дальнейшем данный режим позволяет проводить оптимизацию маршрута, с учетом выполняемой миссии судна.

**Банк данных судов (БДС)** представляет собой формализованную с точки зрения динамики судна, базу данных в которой для всей группировки судов, для которой предназначено использование ВП формируются данные на всех этапах, позволяющих получить такие данные в частности: при проектировании судна, при моделировании судна, при постройке судна и при его «натурной» эксплуатации. БДС может быть ограничена только вычислительными ресурсами и желанием исследователей централизованно собирать и хранить подобные данные. БДС содержит классификацию судов, формализованных по динамическому представлению. Все суда требующие исследование динамики, должны быть внесены в БДС. Организация БДС требует формализовать данные на новые суда в виде базы данных динамики на новые суда (БД ДНС), которые находятся на различных этапах исследования или проектирования и постройки, в частности, через облачные технологии позволять использовать их данные для исследований динамики в офисном варианте полигона, либо на флагманском судне группировки. Формализация задач исследования динамики судов, в ВП и качественная организация баз данных позволит с минимальными затратами ресурсов поддерживать ВП в актуальном и масштабном состоянии, позволяющем в короткий срок произвести исследование динамики судна или группировки судов. Основные разделы БДС: этап жизненного цикла судна, классификация судов, загрузка судна (карга план), эксплуатация судна, влияющая на его динамику (свежесть и состояние покраски днища, обрастание днища, иные данные изменившиеся в ходе эксплуатации, особенно при дальних переходах и влияющие на динамику судна, аварийный режим – разделение на отсеки, аварийные параметры судна, успокоители качки и их реальное состояние, основной раздел, представляющий динамические параметры судна, как квинтэссенцию предыдущих данных и расчетных характеристик.

**Физико-математическая база знаний (БЗ) ветро-волнового поля (ВВП) и динамики судна (ДС) - (БЗ ВВП-ДС)** – это база ВП, в котором сформированы физико-математические модели, и прикладное программное обеспечение позволяющее производить теоретические расчеты по заданным алгоритмам и на основании численных методов динамики ветро-волнового поля и динамики судов. Возможны допущения, которые позволят пользователю при задании режима исследования динамики судна при работе в БВД, либо искусственному интеллекту, на основании оценки ограничений на использование физико-математических моделей, их адекватности и также на основании оценки возможностей конкретного ПАК - использовать тот или иной математический аппарат, в частности линейные, квазилинейные или нелинейное моделирование. Математические модели должны описывать ситуацию в различных условиях эксплуатации судна: в зависимости от глубины и ширины форватера, мелководье, причал, ограниченная глубина, ветер – шквал, река, озеро, море, океан и др. Спектр возможных сценариев ветро-волнового поля и физико-математических моделей, описывающих ВВП: двумерное нерегулярное волнение, трехмерное волнение, спектр волнения в подвижной

и неподвижной системе координат. Физико-математическое моделирование динамики судна в БЗ ДС: линейная качка, нелинейная качка судна на регулярном или нерегулярном волнении, многомерные случайные процессы (нерегулярная качка), случайные процессы и движение корабля на нерегулярном волнении, мореходность, непотопляемость, заливаемость, слеминг, брочинг, разгон винта, параметрический резонанс. В БЗ ДС также необходимы модели по расчету пассивных и активных успокоителей качки, также в БЗ ВВП и ДС должны быть формализованы исходные данные для проведения оптимизации по заданной пользователем, либо синтезированной искусственным интеллектом, целевой функции в условиях адекватных ограничений.

**Блок оптимизации (БО)**, позволяет решать класс оптимальных математических задач, в частности оптимизация миссий, маршрутов перехода и динамического поведения судна в экстремальных условиях. Для реализации данного инструмента необходима формализация задачи по оптимизации динамики судна, включая определение целевых функций, граничных условий и численных, либо статистических или экспертных моделей, позволяющих исследовать динамику судна и определить маршрут его перехода в случае исследования миссий. В существенной степени данные задачи решаются в составе виртуального полигона банком данных судов, базами знаний и блоком навигации.

**Статистическая и экспертная база знаний (БЗ ЭС)** – база знаний, состоящая из данных по ветро-волновому полю и формализованные экспертные данные по динамике судна, навигации и авариям, также в данную БЗ включен раздел теории катастроф. БЗ ЭС создается таким образом, чтобы иметь возможность использовать базы статистических данных, обработанных ретроспективно за 49 лет наблюдения, за погодными явлениями и которые содержат огромные объемы данных в открытом формате, которые позволяют их использовать в качестве исходных данных для решения задач по динамике судов. Это базы данных NCEP (National Center of Environmental Prediction) и NCAR (National Center of Atmospheric Research). Связь между такими данными и ВП можно предусмотреть в частности также с использованием облачной технологии. Гидрометеорологический архив по маршруту следования судна может также быть пополнен на основании экспертных данных по окнам погоды и штормам по маршруту следования судна, по данным судов, находящихся в соответствующих районах, а также на основании прогнозов погоды и данных метеорологических станций и спутников. Один из новых разделов – формализованные знания экспертов по ВВП и динамике судов, навигации и авариям. Данные знания в БЗ должны накапливаться в режиме обучения – сбора данных экспертов и их формализации по типам судов, по видам явлений и по результатам. Эта обработка экспертных знаний может быть произведена как в режиме гипертекста и так и в режиме формализованной квазилинейной модели. БЗ ЭС содержит библиотеку нормативной документации и интернет ресурсов. Из нормативной документации, в частности, возможно получение обобщенных спектров волн, прочность, мореходность, непотопляемость судов, штормовые диаграммы, статические и динамические диаграммы остойчивости. Теория катастроф позволяет пользователю ВП проработать вопросы по вероятному развитию аварийных ситуаций и получить необходимые рекомендации действий в экстремальных ситуациях. Удаленные библиотечные базы данных (БДБ) могут быть использованы в ВП также с использованием облачных технологий.

**Блок сценариев (БС)** определяет набор действий и инструментов ВП, который задается пользователем, по следующим сценариям: штатная эксплуатация судна, при котором динамика судна находится в спокойных погодных и эксплуатационных условиях, штормовой сценарий, аварийный сценарий – исследование динамики судна при авариях, в частности при затоплении отсеков, смещении груза, заливе палубы, слеминге, брочинге. Исследовательский сценарий должен позволить пользователю ВП произвести расчеты и получить данные по динамике судна в любой требуемой ситуации, которую задаст непосредственно сам пользователь.

**Блок миссий и навигации (БМН)** позволяет задавать миссию судна, т.е. маршрут перехода, принятие и выгрузку грузов, летательных аппаратов, вероятности возникновения аварийных режимов. Блок навигации (БН) позволяет на основании данных от GPS или ГЛОНАС прокладывать альтернативные маршруты движения судна, получать данные прогноза погоды по маршруту следования и синтезировать совокупность сценариев в зависимости от совокупности всех предыдущих данных.

**Блок искусственного интеллекта (ИИ)** это основа ВП, основными задачами которого является определить оптимальные характеристики выполняемой миссии или сценария и определить допустимые нагрузки на конкретный программно аппаратный комплекс в зависимости от набора инструментов и моделей, требуемых для решения поставленной задачи.

**Блок результатов** ВП формирует на основании выполнения сценария, миссии, с использованием блока оптимизации при математическом моделировании, либо при использовании искусственного интеллекта по решению поставленной задачи исследования динамики судна: маршрут судна, волновое поле, матрицу курсовых углов, матрицу скоростей, резонансные диаграммы, режимы работы успокоителей, варианты выполнения миссий, динамические параметры судна. Блок результатов формирует выходные данные в формате визуализации полученных результатов, ограничивающих загрузку судна, выводящих динамические характеристики судна по маршруту следования как в печатном, так и в визуальном виде для принятия решений проектанту исследователю или судоводителю на мониторе БВК, также в формате обратной связи с БВК и системой управления судном (скорость, курс, маршрут) и в формате данных для управляющих воздействий на активные успокоители качки. Для судоводителя использование прогнозных данных и динамические характеристики судна можно оптимизировать его загрузку, обойти опасные районы и определить допустимые предельные параметры эксплуатации.

Разработке ВП посвящены следующие работы [ 1,2,3,6,7 ], которые однако не имели возможности такого полного и комплексного исследования динамики судна как в структуре, реализованной в представляемом виртуальном полигоне. Представление подобной структуры ВП является возможным в настоящее время, в связи с существенными достижениями в области информационных технологий.

Таким образом, представленный виртуальный полигон по исследованию динамики судов, позволяет анализировать динамику судна по маршруту следования, перед выходом в рейс или на этапе принятия решения о маршруте, предвосхищать и анализировать возможные экстремальные ситуации по маршруту. При этом учитываются такие факторы как загрузка судна, возможные повреждения и аварии, посадка летательного аппарата, ветро-волновое поле по маршруту следования.

Виртуальный полигон используется как офисный инструмент для принятия решений, также может быть встроен в бортовой навигационный и ситуационный аппаратный комплекс судна. Виртуальный полигон позволяет использовать не только численные методы исследования динамики судов, которые зачастую имеют существенные ограничения своего применения, как в силу допущений, принятых при построении физико-математических моделей, так и в силу ограничений вычислительных ресурсов, но и базы знаний, которые содержит гидрометеорологические архивы, постоянно пополняемые новыми данными и позволяющие использовать их данные через облачные технологии, экспертные заключения (осмысление богатого опыта специалистов) по динамике конкретных типов судов, также статистические данные по динамике судов, которые должны систематизироваться и представляться в ВП, в виде применимом для решения поставленной задачи. Существенным усилением ВП, как экспертной системы является использование блока оптимизации и искусственного интеллекта для принятия решений.

Подобная структура превращает полигон в мощный инструмент, анализирующий динамические характеристики судов и позволяет принимать решения о выполнимости той или иной миссии или сценария, анализировать возможные экстремальные ситуации. Состав теоретического, статистического и экспертного материалы в виртуальном полигоне определяет его качество как аналитического и практического инструмента. Состав программно – аппаратных средств, на которых данный полигон может быть реализован определяет возможности и удобство пользования данным виртуальным полигоном (ВП) и его совместимость с бортовыми аппаратными средствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 1. Авиационные системы. Ч. 2. Корабельные системы. М.: Радиотехника, 2006, Ч. 3. Системы корабельной посадки летательных аппаратов. М.: Радиотехника, 2008.
2. Дегтярев А.Б. Методология анализа и прогноза мореходных качеств судов на основе высокопроизводительных компьютерных технологий. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт Петербург. 2004 г. 435 стр.
3. Интеллектуальные системы в морских исследованиях и технологиях /Александров В.Л.,Матлах А.П., Нечаев Ю.И., Поляков В.И., Ростовцев Д.М./ под ред. Ю.И. Нечаева. – СПб.:Изд-во СПбГМТУ, 2001.
4. Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений - Санкт-Петербург: Арт- Экспресс, 2011.-392 с.
5. Нечаев Ю. И. Нейросетевые технологии в интеллектуальных системах в интеллектуальных системах реального времени // труды 4-й Всероссийской конференции "Нейроинформатика-2002". М. : МИФИ, 2002. Лекции по нейроинформатике. Ч. 1. С. 114-163.
6. Нечаев Ю. И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени // Труды 5-й Всероссийской научно-технической конференции "Нейроинформатика-2003". М.: МИФИ, 2003. Нац. по нейроинформатике. Ч. 2. С. 119-179.
7. Соз Моэ Лвин. Разработка элементов виртуального полигона моделирования окружающей морской среды в гетерогенном вычислительном окружении. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт Петербург. 2011г. 235 стр.
8. Справочник по теории корабля. – Л.: Судостроение, 1985.
9. Alexandrov V. L., Matlakh A. P., Nechaev Y.U. I. Polyamory V. I. Intelligence system for ship Dynamics monitoring in extreme situation // Proc. of International conference on marine research and transportation. ICMRT-05. Naples, Italy, 2005. P. 55-63.
10. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol. 37, N3, P. 77-84.

**Рецензент:** Нечаев Юрий Иванович, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.



### **Список использованных сокращений:**

- ВП – виртуальный полигон;
- БВК – бортовой вычислительный комплекс;
- БВД – блок ввода данных;
- БУДП – бортовое устройство измерения динамических параметров;
- БД СДС – банк данных статистики динамики судов;
- БДС – банк данных судов;
- БД ДНС – банк данных динамики новых судов;
- БО – блок оптимизации;
- БЗ ВВП-ДС – база знаний ветро-волнового поля и динамики судов;
- БЗ СЭ – база знаний экспертная и статистическая;
- БДБ – база данных библиотек;
- БС – блок сценариев;
- БР – блок результатов;
- БМН – блок миссий и навигации;
- ИИ – искусственный интеллект;
- ПАК – программно аппаратный комплекс;
- ВМС – военно-морские силы;
- ВВП – ветро-волновое поле;
- ДС – динамика судов;
- ГЛОНАСС – глобальная навигационная система;
- ЛА – летательный аппарат.

**Wunna Kyaw**

State Marine Technical University of Saint-Petersburg  
Russia, Saint-Petersburg  
E-Mail: [wna.ru.pol@gmail.com](mailto:wna.ru.pol@gmail.com)

**Degtyarev Alexander Borisovich**

Saint-Petersburg State University  
Russia, Saint-Petersburg  
E-Mail: [deg@csa.ru](mailto:deg@csa.ru)

## Virtual Polygon for modeling of dynamics ships

**Abstract.** The paper represents the structure of the virtual polygon for modelling both in office mode (design, modelling, scheduling, situation center, training ...) and in the mode of on-board computing system (navigation, training, simulation missions, collecting data ...) wind-wave field and the dynamic characteristics of ships for different scenarios of its operation. The authors synthesized structure polygon consisting of databases and knowledge bases, the control unit of artificial intelligence and optimization. A distinctive feature of the scheme developed by the authors, is to integrate not only the theoretical tools of modelling the dynamics of a ship at sea, but also the application of statistical and expert knowledge. The paper proposed to use cloud technology exchange data with remote sources. This allows us to represent a polygon as one of the possibilities of processing for using huge amounts of data, only limited possibilities of computer technology and the speed of communication channels. Program complex of virtual polygon allows to use adapters to provide control actions on-board marine stabilizer and to make recommendations to skippers and autopilot. The paper proposes the use of artificial intelligence for the purposes of assessing hardware system when installing the polygon, also in the process of computing and interactive work of polygon operator to optimize the task.

**Keywords:** virtual polygon; fields of wind and wave; dynamic characteristic of the ship; scenarios; expert knowledge; database; base of knowledge.

## REFERENCES

1. Onboard intelligent systems. Part 1. aviation system. Part 2. Ship system. M.: Radio Engineering, 2006 Ch 3. Systems shipboard aircraft landing. M.: Radio Engineering, 2008.
2. Degtyarev AB Methodology of analysis and forecast of seaworthiness of vessels on the basis of high-performance computing. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Saint Petersburg. 2004 435 p.
3. Intelligent systems in marine research and technology / VL Alexandrov, Mutley A.P, Nechaev Y.I, Polyakov V.I, Rostovtcev D.M / ed. Y.I Nechayev. - SPb. Univ SPbSMTU, 2001.
4. Nechayev Y.I Catastrophe theory: a modern approach to decision making - St. Petersburg: Art-Express, 2011.-392 p.
5. Nechayev Y.I Neural network technology in intelligent systems in intelligent real-time systems // Proceedings of the 4th All-Russian conference "Neuroinformatics-2002." MM: MEPI, 2002. Lectures on neuroinformatics. Part 1. pp 114-163.
6. Nechayev Y.I Mathematical modeling of airborne intelligent real-time systems // Proceedings of the 5th All-Russian scientific conference "Neuroinformatics 2003". M.: MiFi 2003 Nation on neuroinformatics. Ch 2, pp 119-179.
7. Soe Moe Lwin. Development of elements of the virtual polygon modeling marine environment in a heterogeneous computing environment. Dissertation for the degree of Doctor of Science. Saint Petersburg. 2011. 235 p.
8. Handbook of ship theory. - L.: Shipbuilding, 1985.
9. Alexandrov V. L., Matlakh A. P., Nechaev Yu. I. Polyamory VI Intelligence system for ship Dynamics monitoring in extreme situation // Proc. of International conference on marine research and transportation. ICMRT-05. Naples, Italy, 2005. P. 55-63.
10. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol. 37, N3, P. 77-84.