

УДК 629.5.017:004.896

Еременко А. П.,
Жуков Ю. Д., д-р. техн. наук

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ БОРТОВАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

Аннотация. Предложена структура системы обеспечения безопасности мореплавания на стадиях проектирования и эксплуатации морских судов. Рассмотрен состав судовых систем, необходимых для безопасного мореплавания в условиях шторма. Предложено применение мультиагентных технологий для задач обработки информации в составе системы и выработки рекомендаций капитану по выбору параметров движения судна.

Ключевые слова: интеллектуальная система, безопасность мореплавания, мультиагентная система, принятие решений, режим штормования, диаграмма штормования, радиолокационная система, навигационная система, остойчивость судна, метacentрическая высота, интеллектуальный агент, спектр волнения.

Єременко А. П.,
Жуков Ю. Д., д-р. техн. наук

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНА БОРТОВА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА

Анотація. Запропоновано структуру системи забезпечення безпеки мореплавства на стадіях проектування і експлуатації морських суден. Розглянуто склад судових систем, які необхідні для безпечного мореплавства в умовах шторму. Запропоновано застосування мультиагентних технологій для задач обробки інформації у складі системи і формування рекомендацій капітану щодо вибору параметрів руху судна.

Ключові слова: інтелектуальна система, безпека мореплавства, мультиагентна система, прийняття рішень, режим штормування, діаграма штормування, радіолокаційна система, навігаційна система, остійність судна, метacentрична висота, інтелектуальний агент, спектр хвиль.

Eremenko A. P.,
Zhukov Y. D., Doctor of Sciences

SMART ONBOARD SEAFARING SAFETY ASSURANCE SYSTEM

Abstract. Structure of seafaring safety assurance system on ship design and usage stages has been proposed. The composition of ship systems needed to provide seafaring safety at stormy seas has been considered. Usage of multi-agent technologies for information processing in seafaring safety assurance system and for advisory making to master on choosing ship motion parameters has been proposed.

Keywords: smart system, seafaring safety, multi-agent system, decision making, ship motion mode in storm, storm diagram, radar, navigation system, ship stability, metacentric height, smart agent, wave spectra.

Введение. Современное судоходство характеризуется резким ростом интенсивности. По данным Регистра Ллойда, приведенным в [1], общая масса перевезенных морским путем грузов увеличилась почти в 4 раза за последние 40 лет. Численность флота на 2010 превышает 100 тысяч и возросла почти на 40% с 1985. При этом за указанный период значительно вырос суммарный тоннаж: с 416 до 1000 млн. рег. т. Несмотря на улучшение конструкции судов, оснащение современными навигационными приборами и системами, безопасность мореплавания остается ключевой проблемой проектирования и эксплуатации судов. Уменьшение относитель-

ных потерь флота с 0,4% до 0,15% по данным [1], тем не менее, не привело к значительному уменьшению потерь суммарного тоннажа, поскольку выросла средняя валовая вместимость судов.

Анализ причин аварий судов [1] показывает, что 49% из них затонуло, 18% выброшено на берег или село на мель, 15% погибло вследствие пожара или взрыва, 12% вследствие столкновения с другими судами. Основными факторами, которые приводят к гибели судна, являются погодные условия, изменение состояния груза и самого судна и ошибки судоводителя.

По данным специалистов [2] 80% аварий судов вызваны неправильными действиями судовой команды из-за неточного восприятия окружающей обстановки, неправильных решений или ошибок при выполнении правильных решений.

В значительной степени указанные действия обусловлены недостатком информации о состоянии остойчивости судна, характеристиках его жидких и сыпучих грузов, характеристиках морского волнения, рекомендуемых действиях в сложившейся ситуации (сформулированных на основании многолетней практики плавания). Отсюда следует актуальность разработки систем обеспечения безопасности мореплавания (СОБМ), позволяющих автоматизировать процесс принятия судоводителем решений по управлению судном в условиях реального времени.

Целью работы является разработка структуры системы, обеспечивающей обработку как информации, поступающей от судовых систем, так и информации, содержащейся в базе знаний (опыт проектирования и эксплуатации судов).

Анализ разработок СОБМ. Работы по созданию СОБМ ведутся с 70-х гг. прошлого века и значительно ускорились в связи с появлением высокопроизводительных судовых бортовых компьютеров и развитием технологий распределенных вычислений и методов искусственного интеллекта. Первый этап этих работ связан с исследованиями особенностей движения судна на волнении, его остойчивости при стохастических внешних воздействиях. Так, в работе [3] рассмотрены основы математического обеспечения СОБМ для задач оценивания остойчивости на волнении, в [4] представлена структура информационных потоков в системах контроля остойчивости и рассмотрены методы оценивания остойчивости и вероятности опрокидывания судна в условиях шторма. Предложенные в [5] штормовые диаграммы Ремеза позволяют определить безопасные режимы штормования (значения вектора (v, q) , где v – скорость судна, q – курсовой угол волн). Вопросы оценивания вероятности опрокидывания судна на волнении рассмотрены в работах [6, 7] и многих других. Организацией

Maritime Safety Committee разработан циркуляр [8], в котором представлены допустимые режимы штормования с учетом возможности опрокидывания судна, резонанса качки, брошинга (захвата судна волнами с последующей постановкой его лагом к волне).

Тем не менее, рассмотренные средства оценки безопасности штормования неудобны для практического применения, поскольку требуемые исходных данных (кажущийся период волны, высота волны 3-% обеспеченности) определяются обычно визуальным путем, что приводит к погрешностям.

Начиная с 90-х гг. разрабатываются автоматизированные СОБМ [9, 10], выполняющие сбор информации о параметрах движения судна, состоянии жидких и сыпучих грузов [11, 12], параметрах волнения, получаемых радиолокационным способом по сигналам судовой РЛС [13], и вырабатывающие указания капитану о выборе оптимального режима штормования.

Промышленные образцы СОБМ, выпускаемые в настоящее время построены по модульному принципу и представляют собой комплексы программ, обеспечивающих решения ряда специальных задач [14]. В частности, фирмой Amarcop [15] выпускается система Octopus, включающая в себя такие компоненты как: Onboard (контроль параметров движения и остойчивости судна, поддержка решений капитана), Online (информирование судовладельца о местонахождении судов), Office (анализ гидродинамических характеристик судна), TMS (измерение параметров движения судна), Sloshing Advice (контроль состояния сжиженного газа на танкерах), и ряд других.

Тем не менее подобные системы еще не получили широкого распространения на судах, особенно малотоннажных, вследствие высокой стоимости. Целесообразно построение СОБМ с открытой архитектурой, соответствующей концепции распределенных интеллектуальных вычислений, что позволит расширять ее состав и выполняемые функции по мере накопления опыта эксплуатации системы, совершенствования аппаратного и программного обеспечения.

Структура интеллектуальной бортовой СОБМ. Поскольку задачами СОБМ помимо непосредственного представления информации судоводителю являются обработка информации, поступающей от судовых информационно-измерительных систем, оценка текущей ситуации, анализ проектной документации, имеющихся рекомендаций практики мореплавания, для построения СОБМ необходимо использование средств искусственного интеллекта.

Структура предлагаемой СОБМ представлена на рисунке 1 (блоки, реализуемые на борту судна, выделены серым фоном). Особенностью предлагаемой системы является двунаправленная интеграция стадий проектирования и эксплуатации судов. При оценке безопасности режима штормования используются характеристики судна, известные из проектной документации, в частности инерционные параметры, диаграммы остойчивости, кривые плеч остойчивости и т. д. На основе проектной документации построены диаграммы безопасного штормования, определяющие вероятность опрокидывания судна в зависимости от параметров v и q . В процессе работы системы производится идентификация математической модели движения судна на волнении с учетом состояния жидких и сыпучих грузов.

Исходная информация для идентификации поступает от судовых систем и включает в себя: вектора угловых скоростей $\bar{\omega} = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$, линейных ускорений $\bar{a} = [a_x, a_y, a_z]$, линейных скоростей ориентации (углы курса, крена и дифферента) $[K, \theta, \psi]$, и местоположения (широта и долгота) $[\varphi, \lambda]$.

Определение данных параметров движения производится с помощью судовых инерциальных измерительных блоков, при обработке сигналов которых целесообразно применение нейросетевых алгоритмов оценивания погрешностей [16]. Также используется информация о параметрах волнения, получаемая путем обработки сигналов судовой РЛС: спектр волнения $S(\omega)$ и высота волн 3% обеспеченности [13, 17, 18]. Комплексная

обработка сигналов навигационной системы и РЛС на основе алгоритмов оптимальной фильтрации позволяет повысить точность измерения параметров волнения.

Контроль остойчивости производится путем оценивания значения метацентрической высоты [19] по результатам анализа параметров движения судна и ветро-волновых воздействий.

Для оценки влияния на остойчивость жидких и сыпучих грузов производится контроль их уровня полиметрическим методом [11, 12], в частности могут быть использованы измерительные системы производства НПО «АМІСО».

К задаче оценки динамики судна также относится определение деформаций корпуса судна, поскольку они должны учитываться при выборе оптимального режима штормования. Для решения данной задачи в предлагаемой системе используются как тензорезистивные измерительные системы, так и инерциальные [20].

Взаимосвязь процессов проектирования и эксплуатации судна, положенная в основу СОБМ, позволяет совершенствовать базу проектных решений путем обобщения опыта эксплуатации судов.

Особенностью предлагаемой СОБМ является применение мультиагентных технологий построения интеллектуальных распределенных информационных систем [18]. Представленные на рисунке 1 блоки системы, осуществляющие обработку информации, являются сообществами интеллектуальных агентов, взаимодействующих между собой путем передачи сообщений стандарта FIPA. Использование мультиагентных алгоритмов позволяет реализовать как задачи непосредственного сбора информации, так и задачи совместной обработки информации, полученной от различных датчиков [21].

В качестве средства разработки СОБМ предлагается использовать платформу JADE, поддерживающую стандарты FIPA [22, 23]. Применение в данной платформе языка программирования JAVA значительно упрощает разработку интеллектуальных агентов и средств управления и коммуникации между ними.

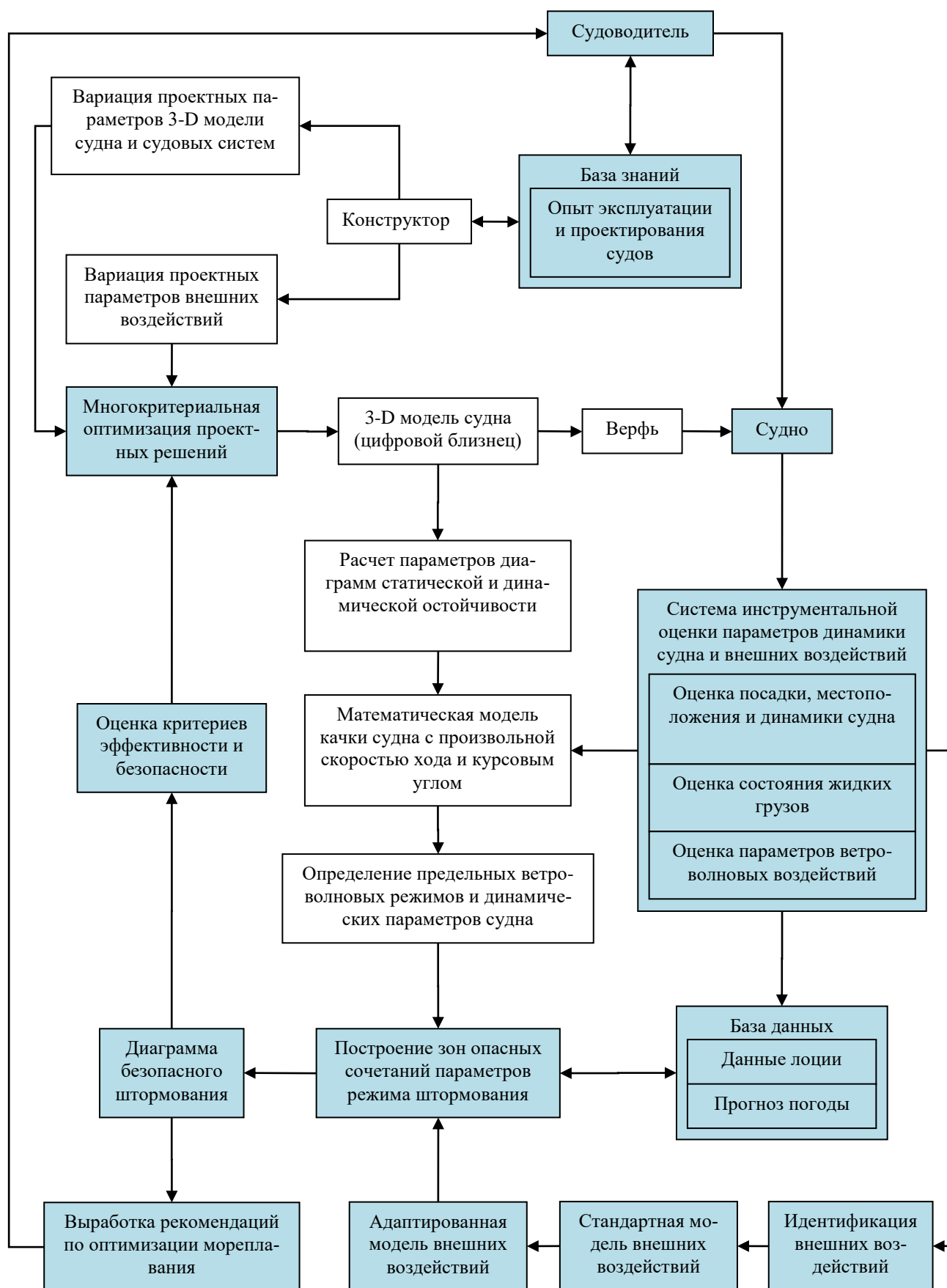


Рис. 1. Структура интеллектуальной бортовой СОБМ

Выводы. Представленная интеллектуальная СОБМ позволяет обеспечить качественно новый уровень информационной поддержки принятия оперативных решений по обеспечению безопасности мореплавания за счет оперативной и интегрированной интеллектуальной обработки объективной измерительной информации

Список использованной литературы

1. Safety and Shipping 1912-2012. From Titanic to Costa Concordia. – Access mode: URL: http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_safety_and_shipping_report.pdf
2. Александров, М. Н. Безопасность человека на море [Текст] / М. Н. Александров. – Л.: Судостроение, 1983. – 208 с.
3. Нечаев, Ю. И. Остойчивость судов на попутном волнении [Текст] / Ю. И. Нечаев. – Л.: Судостроение, 1978. – 272 с.
4. Нечаев, Ю. И. Моделирование остойчивости на волнении. Современные тенденции [Текст] / Ю. И. Нечаев. – Л.: Судостроение, 1989. – 240 с.
5. Липис, В. Б. Безопасные режимы штормового плавания судов. Справочно-практическое пособие [Текст] / В. Б. Липис, Ю. В. Ремез. – М.: Транспорт, 1982. – 117 с.
6. Thompson J. Designing Against Capsize in Beam Seas: Recent Advances and New Insights [Text] // Applied Mechanics Review, Vol. 50, No. 5, 1997, pp. 307-325.
7. Falzarano J. M., Shaw S. W., Troesch A. W. Application of Global Methods for Analyzing Dynamical Systems to Ship Rolling Motion and Capsizing [Text] // International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 2, No. 1, 1992, pp. 101-115.
8. Maritime Safety Committee. MSC/Circ. 707. Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas. 19.10.1995.
9. Жуков, Ю. Д. Обеспечение штормовой безопасности малотоннажных судов при проектировании и эксплуатации [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.08.03 / Ю. Д. Жуков. – Николаев, 1994. – 269 с.
10. Kose E. A Stability Monitoring and Advisory System for Small Ships. PhD Thesis. – The University of British Columbia, 1994. – 191 p.
11. Полиметрические системы: теория и практика: Монография [Текст] / Ю. Д. Жуков, Б. Н. Гордеев, А. В. Зивенко, А. Ю. Грешнов, О. А. Зимина, В. Н. Чегринец, Е. О. Прищепов; под ред. Ю. Д. Жукова. – Николаев: Атолл, 2012. – 382 с.
12. Polymetric Sensing in Intelligent Systems / Yu Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko, A. Nakonechny [Text] // Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation. Ed. by Y. P. Kondratenko, R. J. Duro, 2015. – P. 211-234.
13. Ушаков, И. Е. Радиолокационные методы и средства получения информации о состоянии морской поверхности [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.11.13 / И. Е. Ушаков. – Санкт-Петербург, 2001. – 230 с.
14. Вагущенко, Л. Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности [Текст] / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко, С. И. Заичко. – Одесса: Фенікс, 2005. – 274 с.
15. OSTOPUS-Onboard. Ship Motions Monitoring and Advisory System. – Access Mode: URL: <http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/automation-and-advisory/advisory>
16. Еременко, А. П. Нейросетевые алгоритмы оценивания погрешностей бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст] / А. П. Еременко // Электротехніка і електромеханіка. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених. – Миколаїв: НУК, 2010. – С. 73-74.
17. Хоменко, Д. Б. Разработка способа автоматического определения параметров морского волнения для повышения безопасности плавания судов [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Д. Б. Хоменко. – Владивосток, 2015. – 153 с.
18. Жуков, Ю. Д. Построение систем обеспечения безопасности мореплавания на основе холонических агентов [Текст] / Ю. Д. Жуков, А. П. Еременко // Судостроение и

морская инфраструктура. – Николаев, 2015. – № 2 (4). – С. 86-95.

19. Еременко, А. П. Нейросетевые алгоритмы определения метацентрической высоты морского подвижного объекта [Текст] / А. П. Еременко, А. К. Снигур // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи, 19-20 квітня 2011 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ “КПІ”. – 2011. – С. 23.

20. Снигур, А. К. Нейросетевые алгоритмы определения деформаций корпуса судна инерциальным методом [Текст] / А. П. Еременко, А. К. Снигур // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи» 23-24 квітня 2014, м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2014. – С. 35-36.

21. Павлыгин, Э. Д. Многоагентное моделирование окружающей обстановки морского судна [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Э. Д. Павлыгин. – Ульяновск, 2011. – 189 с.

22. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE, John Wiley & Sons, Ltd. – 2007. – 303 p.

23. Nikraz M., Caire G., Bahri P. A. A Methodology for the Analysis and Design of Multi-Agent Systems using JADE. – Access Mode: URL:

http://jade.tilab.com/doc/tutorials/JADE_methodology_website_version.pdf

Получено 02.05.2016

References

1. Safety and Shipping 1912-2012. From Titanic to Costa Concordia. – Access mode: URL: http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_safety_and_shipping_report.pdf (in English).

2. Aleksandrov M. N. Bezopasnost' cheloveka na more [Human Safety at Sea]. Saint Petersburg: Sudostroenie Publ., 1983. – 208 p. (in Russian).

3. Nechaev Yu. I. Ostoichivost' sudov na poputnom volnenii [Ship Stability in Following Seas]. Saint Petersburg: Sudostroenie Publ., 1978. – 272 p. (in Russian).

4. Nechaev Yu. I. Modelirovanie ostoichivosti na volnenii. Sovremennye tendentsii [Modelling Ship Stability in Waves. Modern Trends]. Saint Petersburg: Sudostroenie Publ., 1989. – 240 p. (in Russian).

5. Lipis V. B., Remez Yu. V. Bezopasnye rezhimy shtormovogo plavaniya sudov. Spravochno-prakticheskoe posobie [Safe Modes of Seafaring. Handbook.]. Moscow: Transport Publ., 1982. – 117 p. (in Russian).

6. Thompson J. Designing Against Capsize in Beam Seas: Recent Advances and New Insights // *Applied Mechanics Review*, Vol. 50, No. 5, 1997, pp. 307-325. (in English).

7. Falzarano J. M., Shaw S. W., Troesch A. W. Application of Global Methods for Analyzing Dynamical Systems to Ship Rolling Motion and Capsizing // *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 2, No. 1, 1992, pp. 101-115. (in English).

8. Maritime Safety Committee. MSC/Circ. 707. Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas. 19.10.1995. (in English).

9. Zhukov Yu.D. Obespechenie shtormovoy bezopasnosti malotonnazhnykh sudov pri proektirovani i ekspluatatsii. Doct. Diss. [Providing storm safety of small-sized ships in their designing and operation. Doct. Diss.]. Nikolaev, 1994. – 269 p. (in Russian).

10. Kose E. A Stability Monitoring and Advisory System for Small Ships. PhD Thesis. – The University of British Columbia, 1994. – 191 p. (in English).

11. Zhukov Yu.D., Gordeev B. N., Zivenko A.V., Greshnov A. Yu., Zimina O.A., Chegrinets V. N., Prishchepov Ye. O. Polimetricheskie sistemy: teoriya i praktika [Polymetric systems: theory and practice]. Nikolaev, Atoll Publ., 2012. – 382 p. (in Russian).

12. Polymetric Sensing in Intelligent Systems / Yu Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko, A. Nakonechny // *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*. Ed. by Y. P. Kondratenko, R. J. Duro, 2015. – P. 211-234. (in English).

13. Ushakov I.Ye. Radiolokatsionnye metody i sredstva polucheniya informatsii o sostoyanii morskoy poverkhnosti Doct. Diss. [Radar-locating methods and means of obtaining information on the state of the sea surface. Doct. Diss.]. Saint Petersburg, 2001. – 230 p. (in Russian).
14. Vagushchenko L. L., Vagushchenko A. L., Zaichko S. I. Bortovye avtomatizirovannye sistemy kontrolya morekhodnosti [Onboard automated navigability control systems]. Odessa, Fenix Publ., 2005, 274 p. (in Russian).
15. OCTOPUS-Onboard. Ship Motions Monitoring and Advisory System. – Access Mode: URL:
<http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/automation-and-advisory/advisory> (in English).
16. Yeremenko A. P. Neyrosetevye algoritmy otsenivaniya pogreshnostey besplatformennykh inertsiyalnykh navigatsionnykh sistem [Neural network algorithms for assessing errors of strapdown inertial navigation systems]. *Elektrotehnika i elektromekhanika: Materialy Mizhnarodnoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv, molodykh vchenykh*. [Electronics and Electrical Engineering: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students, Young Scientists]. Mykolaiv, 2010, pp. 73 –74. (in Russian).
17. Khomenko D.B. Razrabotka sposoba avtomaticheskogo opredeleniya parametrov morskogo volneniya dlya povysheniya bezopasnosti plavaniya sudov. Cand. Diss. [Development of a Method of Automatic Determination of the Seaways Parameters for Improvement of Navigation Safety. Cand. Diss.]. Vladivostok, 2015. – 153 p. (in Russian).
18. Zhukov, Yu. D. Eremenko A. P. Postroenie sistem obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya na osnove kholonicheskikh agentov [Building System of Seafaring Safety Assurance in the Basis of Holonic Agents] *Sudostroenie i morskaya infrastruktura*. [Shipbuilding and Maritime Infrastructure] – Nikolaev, 2015. – № 2 (4). – pp. 86-95. (in Russian).
19. Yeremenko A. P. Neyrosetevye algoritmy opredeleniya metatsentricheskoy vysoty morskogo podvizhnogo obekta [Neural Network Algorithms for Determining the Metacentric Height of a Maritime Mobile Object]. *Zbirnyk tez dopovidei X Mizhnarodnoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii PRYLADOBUDUVANNIA: stan i perspektyvy*, (19–20.04.2011) [Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference «Instrument Engineering: Current State and Prospects»]. Kyiv, 2011. – p. 23. (in Russian).
20. Snigur A. K., Eremenko A. P. Neyrosetevye algoritmy opredeleniya deformatsii korpusa sudna inertsiyal'nym metodom [Neural Networks Algorithms of Ship Hull Deformation Measurement on the Basis of Inertial Sensors]. *Zbirnyk tez dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii PRYLADOBUDUVANNIA: stan i perspektyvy*, (23–24.04.2014) [Proceedings of the 13th International Scientific and Technical Conference «Instrument Engineering: Current State and Prospects»] Kyiv, NTUU “KPI” Publ., 2014. – pp. 35-36. (in Russian).
21. Pavlygin E.D. Mnogoagentnoe modelirovanie okruzhayushchey obstanovki morskogo sudna. Cand. Diss. [Multi-agent modeling of the ship surroundings. Cand. Diss.]. Ulyanovsk, 2011. – 189 p. (in Russian).
22. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE, John Wiley & Sons, Ltd. – 2007. – 303 p. (in English).
23. Nikraz M., Caire G., Bahri P. A. A Methodology for the Analysis and Design of Multi-Agent Systems using JADE. – Access Mode: URL:
http://jade.tilab.com/doc/tutorials/JADE_methodology_website_version.pdf (in English).



Еременко Андрей Петрович,
аспирант кафедры морского
приборостроения Националь-
ного университета ко-
раблестроения, тел.
(066)9320518
адрес: anper2011@gmail.com



Жуков Юрий Даниилович,
доктор техн. наук, проф.,
зав. кафедры морского при-
боростроения Национально-
го университета корабле-
строения, тел. (0512)479250
адрес:
yuriy.zhukov@spasska.com