

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА  
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА»

# **ВЕСТНИК**

**ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА  
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА**

**Выпуск 4 (32)**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2015

**Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.** — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2015. — Вып. 4 (32). — 246 с.

ISSN 2309-5180

«Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» является научным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 17 июля 2013 г. ПИ № ФС 77-54734).

В Вестнике публикуются материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по основным группам специальностей в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников: **05.22.00 «Транспорт»** в разделах: «Эксплуатация водного транспорта, судовождение», «Водные пути сообщения и гидрография»; **05.08.00 «Кораблестроение»** в разделах: «Судостроение и судоремонт», «Судовые энергетические установки, системы и устройства»; **08.00.00 «Экономические науки»** в разделе «Экономика и управление на транспорте»; **05.09.00 «Электротехника»** в разделе «Электротехнические комплексы и системы»; **05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»** в разделе «Информационные технологии и автоматизация на транспорте».

Статьи публикуются на русском и английском языках.

Статьи тщательно отбираются по критериям новизны, актуальности, научно-практической значимости, возможности реального использования описанных в них новых технологий на водном транспорте. По содержанию статьи должны соответствовать тематике журнала, его целям и задачам.

Статьи рецензируются независимыми экспертами.

Кроме того, в Вестнике публикуются обзорные материалы научных конференций, семинаров и совещаний; сообщения и статьи к юбилейным датам ведущих ученых и знаменательным событиям университета.

Вестник включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ.

Вестнику присвоен международный стандартный номер сериального периодического издания ISSN 2309-5180.

С 2009 г. журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Индекс для подписки в каталоге «Газеты. Журналы» агентства Роспечать: 37276.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ</b> .....	7
<i>Дерябин В. В., Сазонов А. Е.</i> Нейро-нечёткая модель счисления пути судна .....	7
<i>Агарков С. А.</i> Анализ результатов моделирования движения танкера в условиях ветровых нагрузок .....	16
<i>Малыхин М. О., Кириченко А. В.</i> Обоснование исходных данных при моделировании вывоза контейнеров из порта на тыловой терминал с применением технологии «блок-трейн» .....	22
<i>Крюков Н.Д.</i> Рекомендации для судов при плавании в условиях тропических штормов Северной Атлантики .....	31
<i>Ершов А. А., Хухарев Д. А.</i> Определение условий безопасного захода судна в порт .....	38
<i>Бондаренко А. В., Некрасов В. А., Ястреба А. П.</i> Методика выбора оптимального состава буксирного обеспечения порта .....	43
<i>Мойсеенко С. С.</i> Проектирование системы управления рисками в мореплавании и океаническом рыболовстве .....	53
<i>Курников А. С., Мизгирев Д. С., Черепкова Е. А.</i> Расчет гидродинамического кавитатора с тороидальной камерой смещения .....	60
<i>Наумов В. С., Нестерова О. С.</i> Оценка вероятности загрязнения экологически чувствительных зон внутренних водных путей нефтью и нефтепродуктами .....	66
<i>Белов Л. Б.</i> Метод ABC (Activity Based Costing) в распределении операционных затрат комплексного транспортного процесса .....	74
<i>Степанов А. Л., Носкова Е. В.</i> Кадровое обеспечение устойчивого развития морской транспортной инфраструктуры .....	83
<b>ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ</b> .....	90
<i>Афонин А. Б., Лутков С. А., Тезиков А. Л.</i> Особенности построения изобат в условиях недостаточной гидрографической изученности подводного рельефа .....	90
<i>Кожухов И. В., Колосков Е. Н., Фирсов Ю. Г.</i> Электронная инженерная гидрография и перспективы получения новых данных по морфологии и геоэкологии арктических морей .....	95
<i>Тимофеева О. А.</i> Анализ численных методов расчета течения жидкости в водопропускных сооружениях .....	104
<b>СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ</b> .....	109
<i>Карклина Т. О., Павлов А. В., Чистов В. Б.</i> Повышение точности измерения остаточного перегиба корпуса судна .....	109
<i>Голоскоков Д. П.</i> Расчет плоских перекрытий в системах символьных вычислений .....	119
<i>Нгуен Н., Рубан А. Р.</i> Влияние дефектов сварных швов на механические свойства корпусной стали, определяемые при динамическом нагружении .....	126
<b>СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА</b> .....	131
<i>Жуков В. А.</i> Перспективы совершенствования систем охлаждения судовых дизелей .....	131

выпуск **4(32)**  
**2015**

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

#### Главный редактор

**С. О. Барышников,**

д.т.н., профессор

rector@gumrf.ru

#### Зам. гл. редактора

**Т. А. Пантина,** д.э.н., проф.

PantinaTA@gumrf.ru

#### Ю. Н. Горбачев —

ген. конструктор ОАО

«Инженерный центр

судостроения», д.т.н., проф.

#### С. Гуцма —

ректор Морской академии

(г. Щецин, Польша), д.т.н.,

проф.

#### Г. В. Егоров —

ген. директор ЗАО «Морское

инженерное бюро — СПб»,

д.т.н., проф.

#### Ф. В. Кармазинов —

ген. директор ГУП

«Водоканал СПб», д.т.н., проф.

#### Р. Качиньски —

проректор по развитию и

сотрудничеству Технического

университета (г. Белосток,

Польша), д.т.н., проф.

#### А. И. Пошивай —

заместитель руководителя

Федерального агентства

морского и речного транспорта

#### А. Е. Сазонов —

д.т.н., проф., член-

корреспондент РАН

#### Р. М. Юсупов —

директор Санкт-Петербургского

института информатики и

автоматизации РАН, д.т.н.,

проф., член-корреспондент РАН

#### РЕДАКЦИЯ:

E-mail: journal@gumrf.ru

http://journal.gumrf.ru

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-54734 от 17.07.2013 г.

Адрес редакции: 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7.

Подписной индекс в каталоге Роспечать — 37276.

Все материалы, поступившие в редакцию, рецензируются.

<b>Члены редколлегии:</b>	
<i>О. К. Безюков,</i> д.т.н., проф.	
<i>В. В. Веселков,</i> д.т.н., проф.	
<i>П. А. Гарибин,</i> д.т.н., проф.	
<i>Д. П. Голоскоков,</i> д.т.н., проф.	
<i>Б. П. Ивченко,</i> д.т.н., проф.	
<i>Ю. М. Искандеров,</i> д.т.н., проф.	
<i>О. Г. Каратаев,</i> д.т.н., проф.	
<i>А. В. Кириченко,</i> д.т.н., проф.	
<i>М. А. Колосов,</i> д.т.н., проф.	
<i>Е. А. Королева,</i> д.э.н., проф.	
<i>И. И. Костылев,</i> д.т.н., проф.	
<i>Е. А. Лаврентьева,</i> д.э.н., проф.	
<i>А. Ю. Ластовцев,</i> к.т.н., проф.	
<i>С. Б. Лебедев,</i> д.э.н., проф.	
<i>В. А. Логиновский,</i> д.т.н., проф.	
<i>Г. В. Макаров,</i> д.т.н., проф.	
<i>В. Е. Марлей,</i> д.т.н., проф.	
<i>А. М. Никитин,</i> д.т.н., проф.	
<i>А. П. Нырков,</i> д.т.н., проф.	
<i>Л. И. Погодаев,</i> д.т.н., проф.	
<i>Н. В. Растрьгин,</i> к.т.н., доц.	
<i>В. И. Решняк,</i> д.т.н., проф.	
<i>В. В. Романовский,</i> д.т.н., проф.	
<i>А. А. Сикарев,</i> д.т.н., проф.	
<i>И. П. Скобелева,</i> д.э.н., проф.	
<i>С. В. Смоленцев,</i> д.т.н., проф.	
<i>А. Л. Степанов,</i> д.т.н., проф.	
<i>М. В. Сухотерин,</i> д.т.н., проф.	
<i>Е. Г. Трунин,</i> к.э.н., директор РРР	
<i>Г. В. Ушакова,</i> к.и.н., проф.	
<i>В. И. Черненко,</i> д.т.н., проф.	
<i>В. Б. Чистов,</i> д.т.н., проф.	

<i>Боровикова И. А. Оценка технического уровня качества судового двигателя</i>	138
<i>Мартьянов В. В. Расчет крутильных колебаний судового валопровода прогулочного пассажирского теплохода «ЭРИДАН» ПР. Р19-1</i>	146
<i>Булгаков В. П., Уксусов С. С., Цанко Л. А. Втулка шарнира черпаковой цепи земснаряда из двухслойной борированной стали</i>	153
<i>Куликов В. А. Наблюдаемость выборочных распределений при измерениях в судостроении</i>	158
<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ</b>	164
<i>Григорьев А. В., Кулагин Ю. А. Судовые системы электродвижения на базе двигательльно-двигательных систем кольцевой конструкции</i>	164
<i>Родимов Н. В., Сероветников А. С., Сивоконь В. П. Исследование надёжности электроснабжения морской портовой инфраструктуры в приполярном районе</i>	169
<i>Федюк Р. С., Ильинский Ю. Ю., Ибрагимов Д. И. Разработка источника питания устройства для ограничения короткого замыкания на корпус судна</i>	177
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ</b>	186
<i>Зубарев Ю. Я., Кукушкин И. В. Имитационная модель процессов обработки каботажных судов</i>	186
<i>Некрасова А. А., Соколов С. С. Исследование возможности применения теории перколяции для управления потоками данных в информационных сетях на транспорте</i>	192
<i>Жиленков А. А., Титов И. Л., Черный С. Г. Моделирование процесса повышения надежности автоматических систем управления в автономных системах объектов морского транспорта</i>	198
<i>Чертков А. А. Итерационный алгоритм выбора оптимальной стратегии группового взаимодействия подвижных объектов</i>	207
<i>Тарануха С. Н. Дистанционные образовательные технологии в системе качества подготовки членов экипажей судов</i>	216
<b>ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «МОРСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ТЕНДЕНЦИИ И ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА</b>	223
Информация о конференции	223
Министр транспорта Российской Федерации. Участникам Международной научно-практической конференции «Морское образование: тенденции и вызовы XXI века»	226
<i>Барышников С. О. Взаимодействие университета с международными организациями в области морского образования (по материалам доклада)</i>	227
<i>Надежников А., Романов Н. Перспективы развития морского образования и обучения: мнение судовладельцев</i>	229
<i>Панков И. И., Смягликова А. П., Окунев В. Н. Применение методов психологической диагностики для определения текущего состояния профессионально важных качеств моряков</i>	235
Резолюция по итогам конференции	238

## CONTENST

<b>OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION .....</b>	<b>7</b>
<i>Derjabin V. V., Sazonov A. E.</i> Neuro-fuzzy vessel's dead reckoning model .....	7
<i>Agarkov S. A.</i> Tanker motion modeling results analysis under the wind .....	16
<i>Malyhin M. O., Kirichenko A. V.</i> Justification of the original data in the simulation of containers' carriage from sea terminal to dry port with the use of technology «block-train» .....	22
<i>Krjukov N. D.</i> Recommendations for vessels when navigation in a tropical storms of the Northern Atlantic .....	31
<i>Ershov A. A., Huharev D. A.</i> Conditions for safe entry of ships in port .....	38
<i>Bondarenko A. V., Nekrasov V. A., Jastreba A. P.</i> Methodology of selection of optimal structure of the fleet harbour tug .....	43
<i>Mojseenko S. S.</i> Design risk management system in shipping and oceanic fishery .....	53
<i>Kurnikov A. S., Mizgirev D. S., Cherepkova E. A.</i> The calculation of hydrodynamic cavitator with toroidal mixing chamber .....	60
<i>Naumov V. S., Nesterova O. S.</i> Assessment of the probability of pollution of environmentally sensitive areas internal waterways oil and oil products .....	66
<i>Belov L. B.</i> The ABC method (Activity-Based Costing) in the allocation of operating costs of integrated transportation process .....	74
<i>Stepanov A. L., Noskova E. V.</i> Staffing of sustainable development of maritime transport infrastructure .....	83
<b>WATERWAYS AND HYDROGRAPHY .....</b>	<b>90</b>
<i>Afonin A. B., Tezikov A. L., Lutkov S. A.</i> Features creation of depth contours in the conditions of insufficient hydrographic study of the seabed .....	90
<i>Kozhuhov I. V., Koloskov E. N., Firsov Ju. G.</i> Electronic engineering hydrography and the prospects of obtaining new results on the morphology and bottom environmental conditions of the arctic seas .....	95
<i>Timofeeva O. A.</i> Analysis of numerical methods for calculating fluid flow in the culverts .....	104
<b>SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR .....</b>	<b>109</b>
<i>Karklina T. O., Pavlov A. V., Chistov V. B.</i> Enhance the accuracy of residual deflection hull .....	109
<i>Goloskokov D. P.</i> Calculation of plane overlappings in system of symbolical calculations .....	119
<i>Nguen N., Ruban A. R.</i> Effect of weld defects on the mechanical properties of the steel body, determined under dynamic loading .....	126
<b>SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICES .....</b>	<b>131</b>
<i>Zhukov V. A.</i> Outlook of improving of ship diesel engine's cooling system .....	131
<i>Borovikova A. I.</i> Evaluation of the technical level of quality marine engine .....	138
<i>Martjanov V. V.</i> A ship shafting torsional oscillation calculation of the pleasure passenger ship "Eridanus" PR.R19-1 .....	146
<i>Bulgakov V. P., Uksusov S. S., Capko L. A.</i> The dredge chain cherpakova hinge plug from two-layer borirovanny steel .....	153
<i>Kulikov V. A.</i> Observability sampling distributions when measuring in the marine engineering .....	158
<b>ELECTRICAL EQUIPMENT AND SYSTEMS .....</b>	<b>164</b>
<i>Grigorev A. V., Kulagin Ju. A.</i> Theoretical basis of operation modes of ship shaft generator plants with frequency converters and synchronous compensators .....	164

edition **4(32)**  
**2015**

**EDITOR-IN-CHIEF**

**S. O. Baryshnikov**  
doctor of technical Sciences, prof.  
rector@gumrf.ru

**Deputy Editor-in-Chief**

**T. A. Pantina**  
doctor of economic Sciences, Prof.  
PantinaTA@gumrf.ru

**Yu. N. Gorbachev** —  
general Designer of JSC  
"Engineering center of  
shipbuilding", doctor of technical  
Sciences, Prof.

**S. Gutsma** —  
Rector of the Maritime Academy  
(g.Schetsin, Poland), doctor of  
technical Sciences, Prof.

**G. V. Yegorov** —  
General Director of "Marine  
Engineering Bureau - St.  
Petersburg", doctor of technical  
Sciences, Prof.

**F. V. Karmazinov** —  
General Director "Vodokanal  
of St. Petersburg", doctor of  
technical Sciences, Prof.

**R. Kachin'ski** —  
Vice-Rector for Development  
and Cooperation of the Technical  
University (Bialystok, Poland),  
doctor of technical Sciences, Prof.

**A. I. Poshivay** —  
Deputy Head of the Federal  
Agency of Sea and River  
Transport

**A. Ye. Sazonov** —  
doctor of technical Sciences,  
Prof., corresponding member of  
the Russian Academy of Sciences

**R. M. Yusupov** —  
director of "St. Petersburg  
Institute for Informatics and  
Automation of RAS", doctor  
of technical Sciences, Prof.,  
corresponding member of the  
Russian Academy of Sciences

*EDITORIAL STAFF:*  
E-mail: journal@gumrf.ru  
<http://journal.gumrf.ru>

## Editorial Collegium:

*O. K. Bezyukov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*V. V. Veselkov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*P. A. Garibin*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*D. P. Goloskokov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*B. P. Ivchenko*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*Y. M. Iskanderov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*O. G. Karatayev*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. V. Kirichenko*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*M. A. Kolosov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*Ye. A. Koroleva*,  
doctor of economic Sciences, Prof.  
*I. I. Kostylev*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*Ye. A. Lavrentyeva*,  
doctor of economic Sciences, Prof.  
*A. Yu. Lastovtsev*,  
candidate of technical Sciences, Prof.  
*S. B. Lebedev*,  
doctor of economic Sciences, Prof.  
*V. A. Loginovskiy*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*G. V. Makarov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*V. Ye. Marley*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. M. Nikitin*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. P. Nyrkov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*L. I. Pogodayev*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*N. V. Rastrygin*,  
candidate of technical Sciences,  
Associate Prof.  
*V. I. Reshnyak*  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*V. V. Romanovskiy*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. A. Sikarev*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*I. P. Skobeleva*,  
doctor of economic Sciences, Prof.  
*S. V. Smolentsev*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. L. Stepanov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*M. V. Sukhoterin*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*Ye. G. Trumin*,  
candidate of economic Sciences,  
General Director  
of FSI Russian River Register  
*G. V. Ushakova*,  
doctor of History, Prof.  
*V. I. Chernenko*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*V. B. Chistov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.  
*A. A. Yershov*,  
doctor of technical Sciences,  
Associate Prof.  
*A. P. Gorobtsov*,  
candidate of technical Sciences,  
Associate Prof.  
*B. A. Smyslov*,  
Candidate of Law, Prof.  
*A. Yu. Sharonov*,  
candidate of Geography, Associate Prof.  
*A. Ye. Sazonov*,  
doctor of technical Sciences, Prof.

*Rodimov N. V., Serovetnikov A. S., Sivokon V. P.* Investigation of reliability factor of power supply of port's infrastructure in subpolar areas ..... 169  
*Fedjuk R. S., Ilinskij Ju. Ju., Ibragimov D. I.* Development of power supply devices for limitations short circuit on the ship's hull ..... 177

## INFORMATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION IN TRANSPORT

*Zubarev Ju. Ja., Kukushkin I. V.* Imitation model of the coasting ships processing ..... 186  
*Nekrasova A. A., Sokolov S. S.* Study of the possibility of percolation theory for flow control in information networks transport ..... 192  
*Zhilentov A. A., Titov I. L., Chernyj S. G.* Modeling of increasing the reliability automatic control systems in autonomous systems for maritime transport objects ..... 198  
*Chertkov A. A.* An iterative algorithm for choosing the optimal strategy of group interaction for moving objects ..... 207  
*Taranuha S. N.* Distance education technologies in the quality management system of training seafarers ..... 216

## MATERIALS OF INTERNATIONAL PRACTICAL-RESEARCH CONFERENCE «MARITIME EDUCATION AND TRAINING: TRENDS & AND CHALLENGES IN THE XXI CENTURY»

Information about the conference ..... 223  
Minister of Transport of the Russian Federation. To participants of International practical-research conference «Maritime education and training: trends & and challenges in the xxi century» ..... 226  
*Baryshnikov S. O.* Interaction of university with the international organizations in the field of marine education (based on the report materials) ..... 227  
*Nadeznikov A., Romanov N.* Development prospects of met: shipowners' point of view ..... 229  
*Pankov I. I., Smjaglikova A. P., Okunev V. N.* Psychological assessment methods as measure of current state of sailor's important professional skills ..... 235  
The resolution following the results of conference ..... 240

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК. 656.61.052

**В. В. Дерябин,**  
канд. техн. наук, доц.;

**А. Е. Сазонов,**  
д-р техн. наук, проф.

## НЕЙРО-НЕЧЁТКАЯ МОДЕЛЬ СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ СУДНА

### NEURO-FUZZY VESSEL'S DEAD RECKONING MODEL

*Рассматривается построение модели счисления пути судна на основе гибридной нейро-нечёткой системы, которая прогнозирует скорость дрейфа судна в условиях влияния на него управляющих и возмущающих воздействий. К возмущающим воздействиям относятся силы, действующие на корпус судна со стороны ветра и волнения. Предполагается, что для ведения счисления используется информация от относительного лага, измеряющего продольную составляющую скорости, и гирокомпы. Работоспособность построенной системы проверяется при помощи имитационного моделирования с использованием параметров судов нескольких серий. Результаты тестирования позволяют сделать вывод о том, что в рассмотренных модельных ситуациях нечёткая нейронная сеть прогнозирует скорость дрейфа судна с приемлемой для навигационных целей средней точностью.*

*In the article the construction of vessel's dead reckoning model on neural-fuzzy inference system basis is considered. Hybrid system predicts vessel's drift velocity in control and disturbances influence conditions. Forces influencing hull by wind and waves are considered as disturbances. It is assumed that for dead reckoning purposes water-speed log, measuring longitudinal component of vessel speed, and gyrocompass are used. Testing of constructed system was carried out by means of imitation modeling for ships of different series. The results of the test let us to resume, that in considered model situations fuzzy neural network predicts speed of vessel drift with mean accuracy acceptable for navigational purposes.*

*Ключевые слова:* счисление пути судна, нейро-нечёткая система, имитационная модель, скорость дрейфа.

*Key words:* dead reckoning of vessel track, neuro-fuzzy inference system, imitation model, speed of drift.

**В** НАСТОЯЩЕЕ время известны две основные системы определения счисляемых координат места судна. Это системы «навигационного» и «инерциального» счисления. Как правило, в системе «навигационного» счисления информация для вычисления счисляемых координат поступает от относительного лага, измеряющего продольную составляющую скорости судна, и гироскопического компаса. В некоторых случаях относительный лаг может измерять и скорость дрейфа судна. Кроме того, возможно определение счисляемых координат с использованием абсолютного лага, измеряющего продольную и поперечную составляющие скорости, и гирокомпы. В системах «инерциального» счисления информация поступает от инерциальных навигационных систем.

Рассмотрим распространенный на практике случай, когда на судне для ведения счисления используется относительный лаг, измеряющий продольную составляющую скорости, и гирокомпас. Для определения поперечной составляющей относительной скорости — скорости дрейфа — могут использоваться различные классические навигационные методы и расчётные методики, в той или иной степени, учитывающие гидро- и аэродинамические особенности конкретного судна. Более точный подход к прогнозированию скорости дрейфа судна в условиях влияния внешних факторов основан на использовании системы дифференциальных уравнений движения суд-

на. Правые части уравнений учитывают, как правило, своими слагаемыми силы, действующие на корпус судна со стороны ветра и волнения, движительно-рулевого комплекса, а также силы сопротивления. Для расчёта указанных сил используются методики, основанные на определённых теоретических и / или эмпирических соображениях, вопрос об адекватности которых реальности в текущих условиях плавания может вызывать сомнения. Действительно, почему, например, выражение для расчёта ветрового воздействия имеет именно такой вид, и не приведёт ли его использование в нестандартных условиях к существенным ошибкам счисления? Вопросы подобного характера приводят к необходимости поиска новых методов расчёта скорости дрейфа судна в условиях влияния внешних факторов, которые бы позволили повысить точность определения счисляемых координат места судна.

Изменение скорости дрейфа судна во времени носит, в общем случае, нелинейный характер. Более того, измерение величин, характеризующих движение судна, а также действие на его корпус управляющих и возмущающих воздействий происходит, как правило, в условиях значительной неопределённости. В этих условиях обычно для обработки неточно известных значений используется аппарат теории вероятности. При этом неточность отождествляется со случайностью. Это допущение вызывает большое сомнение. Необходимо различать понятия *нечеткость* и *случайность*. Следует отметить, что именно нечеткость, в первую очередь, влияет на точность. Поэтому в условиях нелинейности и неопределённости перспективным является использование методов «мягких вычислений»: нейронных сетей, нечетких систем и генетических алгоритмов.

В настоящее время известен ряд исследований, в которых предлагается моделирование динамики судна или построение систем счисления его пути на основе методов «мягких вычислений». Отметим некоторые из них, посвященные решению задачи прогноза скорости дрейфа. В статьях [1], [2] предлагается построение нейронной сети, прогнозирующей скорость дрейфа судна в условиях влияния внешних факторов, методика формирования образцов для её обучения и тестирования. Исследования [3] – [5] также посвящены вопросам синтеза нейросетевых систем, прогнозирующих параметры движения судна в условиях влияния управляющих и возмущающих воздействий. В статье [6] рассматривается синтез нейронных сетей, прогнозирующих ускорение дрейфа и производную угловой скорости поворота по времени в условиях внешних возмущений. Недостатком нейронных сетей является невозможность объяснения результата на выходе системы, так как все промежуточные значения распределены по нейронам в виде весовых коэффициентов. В нечетких системах весь процесс получения результата может быть достаточно легко формализован в виде протокола логических рассуждений. Поэтому в настоящее время все чаще используются гибридные системы, позволяющие сохранять достоинства нейронных сетей и нечетких систем. Примеры гибридных нейро-нечётких систем, прогнозирующих кинематические параметры судна, описаны в работах [7], [8]. В настоящей статье исследуется возможность использования нейро-нечёткой системы для прогноза скорости дрейфа судна в условиях влияния внешних факторов.

Определим сначала состав и характер входных и выходных сигналов системы нечёткого вывода. Для имитации движения судна в условиях влияния ветра и волнения используется предложенная в статье [9] модель движения судна в горизонтальной плоскости. В соответствии с указанной моделью дифференциальное уравнение для скорости дрейфа судна имеет следующий вид:

$$m(1 + k_{22}) \frac{dV_{y1}}{dt} = -m(1 + k_{11})V_{x1}\omega + F_{vy1} + F_{py1} + F_{ry1} + F_{ay1} + F_{wy1}, \quad (1)$$

где  $m$  — масса судна;  $V_{x1}$  — продольная составляющая относительной скорости судна;  $V_{y1}$  — скорость дрейфа;  $\omega$  — угловая скорость поворота;  $k_{11}$ ,  $k_{22}$  — коэффициенты присоединённых масс; буква  $F_{y1}$  обозначает проекцию сил на поперечную ось, а индексы относятся:  $v$  — к силам и моментам вязкостного трения;  $P$  — к поперечной силе гребного винта;  $R$  — к влиянию руля;  $A$ ,  $W$  характеризуют воздействие ветра и волнения.



Анализ уравнения (1) и выражений для расчёта отдельных сил показывает, что его непосредственное интегрирование приводит к тому, что выходная величина  $Y = V_{y1}$  — скорость дрейфа судна — зависит от интеграла суммы слагаемых правой части. В соответствии с этим в конце промежутка времени длительностью  $\Delta t$  значение выходного сигнала будет зависеть от входа:

$$X = \left( \begin{array}{l} x_1 = \int_0^{\Delta t} V_{x1} dt \\ x_2 = \int_0^{\Delta t} V_{y1} dt \\ x_3 = \int_0^{\Delta t} (V_{x1} w) dt \\ x_4 = \int_0^{\Delta t} \delta dt \\ x_5 = \int_0^{\Delta t} n dt \\ x_6 = \int_0^{\Delta t} V_R^2 \sin \alpha_R dt \\ x_7 = \int_0^{\Delta t} pg (h^2 / \lambda) \sin \gamma dt \end{array} \right),$$

где  $\delta$  — угол перекадки руля;  $n$  — число оборотов винта;  $V_R, \alpha_R$  — скорость и курсовой угол от носительного ветра;  $p$  — плотность воды;  $g$  — ускорение свободного падения;  $h$  — высота волны;  $\lambda$  — длина волны;  $\gamma$  — угол между направлением, противоположным бегу волн, и диаметральной плоскостью судна.

База правил системы нечёткого вывода строится следующим образом:

$$\text{ЕСЛИ } x_1 = x_1^* \text{ И } x_2 = x_2^* \text{ И } x_3 = x_3^* \text{ ..., И } x_7 = x_7^* \text{ ТО } y = e(F) \quad (2)$$

где символом \* обозначены конкретные значения компонент входного сигнала,  $F$  — вес соответствующего правила,  $e$  — некоторое действительное число. Следует отметить, что количество правил в базе составляет  $2^7 = 128$ . Такому же числу равно и количество возможных значений выходной переменной.

Фаззификация входных переменных выполняется путём использования функций принадлежности различных типов, причём каждая переменная описывается двумя термами. Слишком большое количество термов может привести к увеличению длительности обучения нейронной сети или к тому, что обучение будет совсем невозможным из-за ограничений по оперативной памяти компьютера.

Агрегирование условий в правилах нечётких продукций осуществляется с использованием операции нечёткой конъюнкции «И». Если хотя бы одна посылка в каком-либо правиле имеет степень истинности, отличную от нуля, то это правило считается активным и используется при дальнейших расчетах. Весовые коэффициенты  $F$  всех правил в формуле (2) принимают значения, равные единице. Активизация подзаключений в правилах нечётких продукций представляет собой min-активизацию, причём для ускорения расчётов используются лишь активные правила. Аккумуляция заключений нечётких правил фактически отсутствует, так как в расчётах используются обычные числа. Дефаззификация выходной переменной выполняется с использованием метода центра тяжести для одноточечных множеств. Общий вид нейро-нечёткой системы приведен на рис. 1. По своей структуре гибридная система относится к классу нейро-нечётких систем *ANFIS* (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) [10].

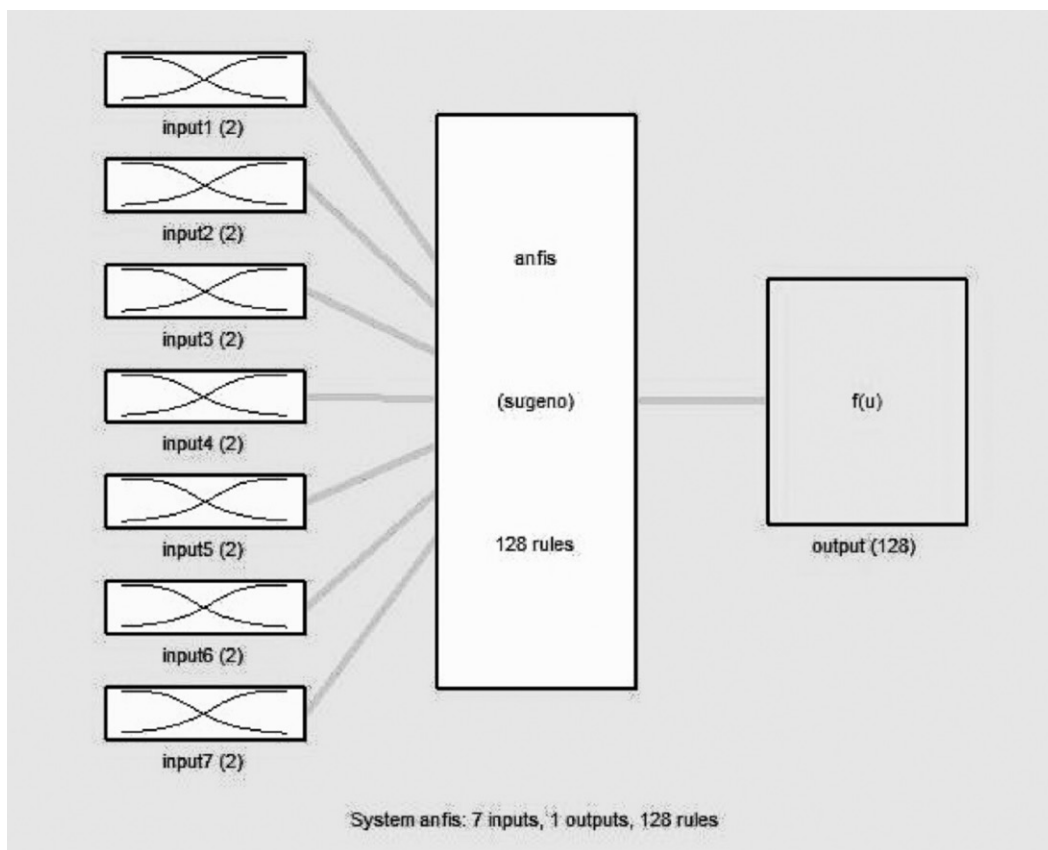


Рис. 1. Общий вид гибридной системы

Следует отметить, что при построении гибридных систем рассматривалось несколько вариантов их архитектуры, характеризующихся следующими функциями принадлежности термов входных переменных:

- треугольными (*trimf*);
- трапециевидными (*trapmf*);
- колоколообразными (*gbellmf*);
- гауссовыми (*gaussmf*);
- комбинациями гауссовых функций (*gauss2mf*);
- П-образными (*pimf*);
- разностями сигмоидальных функций (*dsigmf*);
- произведениями сигмоидальных функций (*psigmf*).

При формировании набора учебных данных используются два подхода. Первый из них заключается в применении технологии, описанной в источнике [2] и состоящей в вариации величин управляющих воздействий при плавании судна в условиях влияния ветра и волнения. Особенностью реализации данного подхода является то, что длительность плавания судна при удерживаемых неизменными угле перекладки руля и числе оборотов винта составляет один час. Второй подход основан на формировании образцов по мере текущей эксплуатации судна с использованием классификации вектора входного сигнала. Смысл указанного подхода заключается в следующем. Промежуток возможных значений каждой компоненты входного сигнала разбивается на определенное количество равных участков. Количество таких участков выбирается равным семи. В таком случае насчитывается  $7^7 = 823543$  возможных классов для вектора входного сигнала. Формирование образцов происходит на основе записи сигналов в 1000 модельных ситуациях, в которых характеристики внешних факторов выбираются случайным образом, поэтому число повторяющихся (принадлежащих одному классу) входных образцов может отличаться от одной

серии модельных испытаний к другой. Более того, даже если гидрометеорологическая ситуация одна и та же для судов различных типов, то изменение параметров их движения и, соответственно, компонент входного сигнала будет носить уникальный характер для каждого такого судна. В результате число повторяющихся сигналов будет различным от одного судна к другому.

Для обучения нечёткой нейронной сети выбран гибридный алгоритм, представляющий собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента [10]. По мере обучения системы проверяется её работоспособность с использованием образцов, которые не принимали участие в настройке её свободных параметров. Число эпох варьируется, как правило, в пределах от 10 до 300 с дискретностью 10. В качестве тестирующего множества при использовании обоих методов обучения выбирается совокупность пар *вход-выход*, формирование которых основано на применении первого метода подготовки образцов. При оценке обобщающих свойств нейронной сети используются следующие характеристики её работоспособности: первая из них – наибольший модуль погрешности прогноза скорости дрейфа  $e_{\max}$ , вторая – среднее значение модуля ошибки скорости дрейфа  $e_{\text{mean}}$ .

Построение нейро-нечёткой системы, её настройка и тестирование были выполнены в программной среде MATLAB R2014a для судов пяти серий, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры моделей судов

Характеристика	Проект «232»	Проект «В-352»	Серия «584Е»	«Севморпуть»	Проект «1511»
Длина по ватерлинию, м	83,1	147,0	176,3	237,3	284,1
Осадка, м	4,65	7,0	9,8	10,4	17,0
Массовое водоизмещение, т	3138	14300	31795	53678	185567
Тип судна	Лесовоз	Лесовоз-контейнеровоз	Балкер	Лихтеровоз	Танкер
Номинальная скорость хода, уз	15,8	13,0	15,3	19,7	15,5

Значения величин  $e_{\max}$  и  $e_{\text{mean}}$ , характеризующих качество обучения гибридных систем, полученных на основе тестирующей выборки, для судов различных серий приведены в табл. 2, где приводятся наименьшие значения указанных величин, а также тип функций принадлежности термов входных переменных, для которых системы показывают наилучшую точность прогноза скорости дрейфа. В таблице указывается также способ формирования набора учебных данных. Если образцы были сформированы с использованием классификации вектора входного сигнала, то используется символ «К», в противном случае, когда учебные примеры формируются первым способом, без применения такой классификации, — символ «БК» (жирным шрифтом выделены наилучшие показатели точности).

Таблица 2

Точность прогноза скорости дрейфа на тестирующих выборках

Характеристика точности прогноза	Проект «232»	Проект «В-352»	Серия «584Е»	«Севморпуть»	Проект «1511»
Наибольший модуль погрешности скорости дрейфа $e_{\max}$ , м/с	1,85 ( <i>trimf</i> -БК)	1,32 ( <i>pimf</i> -К)	<b>1,12</b> ( <i>gbellmf</i> -К)	1,41 ( <i>dsigmf</i> -БК, <i>psigmf</i> -БК)	1,18 ( <i>dsigmf</i> -К)
Средний модуль погрешности скорости дрейфа $e_{\text{mean}}$ , м/с	0,65 ( <i>trimf</i> -БК, <i>gbellmf</i> -БК, <i>gaussmf</i> -БК)	0,41 ( <i>trimf</i> -БК, <i>gbellmf</i> -БК, <i>dsigmf</i> -БК, <i>trimf</i> -К, <i>gbellmf</i> -К)	0,36 ( <i>trimf</i> -К, <i>gaussmf</i> -К)	0,39 ( <i>dsigmf</i> -БК, <i>psigmf</i> -БК, <i>trimf</i> -К, <i>gaussmf</i> -К)	<b>0,31</b> ( <i>trimf</i> -БК, <i>gbellmf</i> -БК, <i>gaussmf</i> -БК, <i>gauss2mf</i> -БК, <i>psigmf</i> -БК, <i>trimf</i> -К, <i>gaussmf</i> -К)

Как видно из табл. 2, процесс коррекции коэффициентов нечёткой нейронной сети имеет ряд особенностей. Во-первых, лучшие по точности результаты для судов различных серий показывают системы с различными функциями принадлежности термов лингвистических переменных. Во-вторых, для некоторых судов наблюдается ситуация, когда наименьшие значения критериев точности соответствуют системам с различными функциями принадлежности термов входных переменных. Например, наименьшей величине  $e_{\max}$  соответствует система с колоколообразными функциями принадлежности, а  $e_{\text{mean}}$  — с треугольными и гауссовыми (результаты для серии «584Е»). Наконец, следует отметить закономерность, справедливую для судов всех серий и состоящую в том, что наименьшее среднее значение модуля ошибки скорости дрейфа на тестирующей выборке наблюдается для нескольких систем, имеющих различные функции принадлежности термов лингвистических переменных.

В процессе обучения изменение величины  $e_{\max}$  — основного критерия способности нейро-нечёткой системы к обобщению — носит, как правило, явно выраженный немонотонный характер. Типичные графики зависимости указанной величины от номера эпохи приведены на рис. 2.

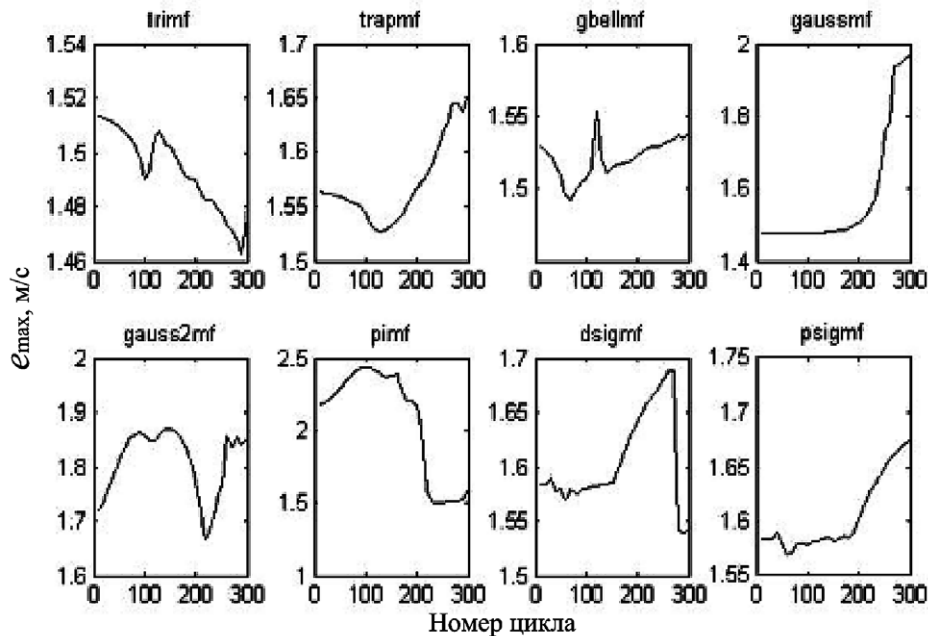


Рис. 2. Графики обучения гибридной модели для лихтеровоза «Севморпуть»

Тестирование гибридных систем было выполнено с использованием специальной методики [2], основанной на принципе постоянства действующих на судно управляющих и возмущающих воздействий. С позиции данного принципа возможны три класса навигационных ситуаций, два из которых имеют подклассы, характеризующиеся постоянным или переменным характером изменения гидрометеорологических условий в процессе плавания. Так как сеть прогнозирует поправки кчислимым координатам, интерес представляет точность определения именно траектории движения судна, характеризующаяся средним и наибольшим значениями максимума модуля невязки на четырёхчасовом промежутке времени плавания. Проверка работоспособности синтезированных систем для судов различных серий была выполнена путём рассмотрения ста модельных ситуаций, в каждой из которых величины, характеризующие внешние факторы и управляющие воздействия, принимали случайно выбранные значения из возможных диапазонов. Было рассмотрено 20 модельных ситуаций первого класса и по 40 ситуаций второго и третьего классов.

Для судна каждой серии было синтезировано по 16 гибридных систем, каждая из которых отличается типом функции принадлежности термов входных переменных и/или методикой формирования образцов для настройки её коэффициентов. В тестировании принимали участие четы-

ре системы для судов каждой серии, показавшие по два лучших результата по критерию  $e_{\max}$  для обоих методов формирования образцов. Результаты проверки работоспособности нечётких нейронных сетей приведены в табл. 3 (жирным шрифтом выделены наилучшие показатели точности).

Таблица 3

**Результаты тестирования гибридных систем**

Характеристика точности счисления	Проект «232»	Проект «В-352»	Серия «584Е»	«Севмор-путь»	Проект «1511»
Наибольшее значение максимума модуля невязки за 4 ч плавания, мили	<b>8,15</b>	12,53	10,57	15,47	15,12
Наибольший модуль ошибки скорости дрейфа, м/с	13,43	9,10	9,39	12,08	<b>8,87</b>
Среднее значение максимума модуля невязки за 4 ч плавания, мили	<b>1,83</b>	2,27	2,97	2,08	2,31
Средний модуль ошибки скорости дрейфа, м/с	0,84	0,62	0,75	0,63	<b>0,55</b>

Таким образом, результаты тестирования гибридных систем, используемых для счисления пути судов различных типов, позволяют сделать следующие выводы.

1. Точность прогноза траектории синтезируемой гибридной системой довольно низкая. Система позволяет получать координаты судна лишь с удовлетворительной средней точностью. Низкая точность наблюдается и при прогнозировании скорости дрейфа судна.

2. Наблюдались ситуации, когда для судна одного типа наилучшая точность по максимальному и среднему значениям модуля невязки обеспечивалась системами, термы лингвистических переменных которых описывались различными функциями принадлежности.

3. Наблюдались ситуации, когда для судна одного типа лучшие результаты по точности определения скорости дрейфа и траектории показывали системы с различными функциями принадлежности термов входных переменных.

4. Нечёткие сети, которые обучаются на образцах, получаемых с применением принципа классификации входного сигнала, демонстрируют в ходе тестирования, как правило, лучшие результаты по сравнению с системами, обучающие множества которых формируются без такой классификации.

Причина невысокой точности синтезируемой системы может заключаться в неоптимальном выборе вида входного сигнала, в несовершенстве её архитектуры, методики подготовки учебных данных и алгоритма настройки её коэффициентов. Рассмотрим данные причины более подробно. Составляющие вектора входного сигнала  $X$  оказывают различное влияние на величину скорости дрейфа судна. В первую очередь, следует заметить, что вторая компонента входного сигнала  $x^2$  представляет собой интеграл скорости дрейфа судна, которую и прогнозирует система. Для вычисления данной компоненты в рабочем режиме необходимо знание значения скорости дрейфа судна в текущий момент времени, в качестве которого принимается величина скорости, спрогнозированная сетью на предыдущем временном шаге. Иными словами, синтезированная система является рекуррентной. При этом ошибка прогноза скорости в данный момент времени приведёт к ошибке её определения в последующем. Поэтому роль данной составляющей в прогнозе выходного сигнала велика. Кроме того, известно, что, например, боковая сила со стороны винта оказывает, как правило, незначительное влияние на величину скорости дрейфа судна. Таким образом, возникает задача определения удельного веса каждой компоненты входного сигнала при влиянии на скорость дрейфа. Подобная задача может быть решена в результате обработки большого количества экспериментальных данных для конкретного судна.

Проблема определения оптимального вида вектора входного сигнала не сводится, однако, только к проблеме назначения весовых коэффициентов его компонент. Она также включает во-

просы определения оптимального интервала  $\Delta t$ , на котором выполняется интегрирование величин при формировании составляющих вектора входного сигнала. С одной стороны, слишком малые значения  $\Delta t$  приведут к большой чувствительности компонент входа на случайные погрешности измерений интегрируемых величин. С другой стороны, если продолжительность интервала  $\Delta t$  принимает существенные значения, то от одного момента времени к другому при малой дискретности измерений векторы входного сигнала практически не будут в смежные моменты времени отличаться один от другого. Поэтому для больших значений  $\Delta t$  потребуется, возможно, рассмотрение большего числа модельных ситуаций, чтобы обеспечить необходимое количество и качество входных образцов.

При синтезе гибридной системы, прогнозирующей скорость дрейфа судна в условиях влияния внешних факторов, так или иначе, приходится выбирать порядок *системы Сугено* (нулевой или первый), вид и количество функций принадлежности термов входных или выходных лингвистических переменных и т.д. Иными словами, существует проблема определения оптимальной архитектуры нечёткой нейронной сети. Найти оптимальную архитектуру системы, исходя из каких-либо теоретических соображений, в настоящее время не представляется возможным, поэтому данный вопрос может быть решён лишь на основе обработки большого количества эмпирических данных.

Методика подготовки учебных данных должна, в первую очередь, быть применима в реальных условиях плавания конкретного судна. Иными словами, следует учитывать факт ограниченности реальных навигационных ситуаций, на основе которых формируется множество учебных примеров. В связи с этим модельные ситуации должны быть организованы таким образом, чтобы, с одной стороны, их было можно повторить в натурном эксперименте, а с другой — образцы, сформированные на их основе, выражали бы основные свойства конкретного судна как физического тела. Алгоритм настройки свободных параметров гибридной системы должен в идеале обеспечить поиск их оптимальных значений, соответствующих глобальному минимуму целевой функции. При реализации того или иного алгоритма обучения возникает также вопрос выбора целевой функции, в качестве которой могут использоваться различные величины: средний квадрат ошибки скорости дрейфа на обучающей или тестирующей выборке, наибольшее значение ошибки и др.

Поиск путей решения задач, направленных на повышение точности синтезируемых гибридных систем, осложняется тем, что неизвестно, будет ли их решение однозначным для судов всех типов. В самом деле, например, методика формирования образцов, оптимальная для судна одной серии или типа, может оказаться далеко не оптимальной для судов других серий. Однозначного и точного ответа на поставленный вопрос, очевидно, не существует, так как требуется рассмотрение динамики судов исключительно всех существующих типов во всех возможных навигационных ситуациях. Последнее представляет собой практически невыполнимую задачу. Приближённое её решение может быть получено при использовании классификации судов и условий их плавания.

Поиск оптимального вида входного сигнала системы, оптимальной её архитектуры и методики обучения приходится выполнять на основе имитационного моделирования динамики судна в различных условиях плавания. Однако окончательный вывод о работоспособности построенной нейро-нечёткой системы, если и может быть сделан, то лишь на основе обработки данных натурных наблюдений. В связи с этим возникает проблема разработки технологии их проведения, позволяющей сделать вывод с заданной степенью уверенности о работоспособности тестируемой системы.

Наряду с рассмотренными ранее вопросами, решение которых даёт возможность повысить точность синтезируемой системы, существует также проблема синтеза системы, позволяющей определять счислимые координаты судна с оценкой их точности. Наконец, существует проблема синтеза нейро-нечёткой системы с заданным уровнем точности с учётом погрешностей определения векторов входного и выходного сигналов. Ошибки определения величин, на основе которых формируются сигналы, оказывают влияние на точность прогноза системы параметров движе-

ния судна двойкой: с одной стороны, они вносят неопределённость в коэффициенты сети на этапе идентификации, а с другой, уменьшают точность прогноза в рабочем режиме системы. Следует отметить, что в процессе настройки коэффициентов гибридной системы ошибки данных и методические погрешности алгоритма обучения действуют совместно. Таким образом, задача синтеза системы с заданным уровнем точности может быть сформулирована следующим образом: «*Определить, с какой погрешностью должны быть измерены величины, на основе которых формируются образцы на стадии обучения, чтобы в рабочем режиме невязка не превышала заданное значение за определённое время плавания.*»

Рассмотренная в настоящей статье гибридная система прогнозирует скорость дрейфа судна, получить точное значение которой на основе экспериментальных данных можно лишь в случае, если на судне имеется лаг, измеряющий указанную составляющую скорости. Большинство относительных лагов, устанавливаемых на суда, измеряют лишь продольную составляющую вектора скорости. В то же время, практически на каждом морском судне имеется приёмник спутниковой навигационной системы, позволяющей получать точные координаты с дискретностью, равной одной секунде. В связи с этим особый интерес представляет синтез гибридной системы, выходным сигналом которой является вектор координат судна или, по меньшей мере, их приращений. Преимуществом использования координат в качестве компонент выходного сигнала системы является также отсутствие этапа численного интегрирования скорости судна, характеризующегося определёнными методическими ошибками.

В работе [11] изложен подход к использованию нейро-нечёткой системы для прогноза координат места судна. Однако в указанном исследовании *ANFIS* представляет собой адаптивную по отношению к траектории движения судна систему, обучение которой выполняется в режиме реального времени по мере обновления данных о координатах места судна. Фактически нечёткая нейронная сеть работает в режиме адаптивного фильтра, не выполняя функцию идентификации модели движения судна в условиях влияния внешних факторов.

Синтезирована гибридная система, которая прогнозирует скорость дрейфа судна в условиях влияния на него управляющих и возмущающих воздействий. Оптимальные значения параметров функций принадлежности термов лингвистических переменных настраиваются градиентным методом оптимизации на основе эталонных ситуаций, полученных с использованием имитационной модели движения судна. Другими словами, гибридная система выполняет функцию идентификации модели движения судна в условиях внешних возмущений. Результаты тестирования системы в различных навигационных ситуациях для судов различных серий позволяют сделать вывод о том, что она прогнозирует скорость дрейфа судна в рассмотренных модельных ситуациях с приемлемой для навигационных целей средней точностью. В рассмотренных модельных ситуациях установлена зависимость обобщающей способности нейро-нечёткой системы от типа функций принадлежности термов её лингвистических переменных, а также способа формирования образцов. Дальнейшие исследования в области применения нейро-нечётких систем для построения модели счисления пути судна должны быть направлены на повышение точности прогноза параметров движения судна, которое может быть достигнуто путём совершенствования методик определения оптимального вида сигналов системы, её архитектуры, технологии формирования набора учебных данных и настройки параметров коэффициентов сети.

#### Список литературы

1. Дерябин В. В. Применение нейронной сети в модели счисления пути судна / В. В. Дерябин // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 3 (65). — С. 20–27.
2. Дерябин В. В. Прогнозирование скорости дрейфа судна на основе нейронной сети / В. В. Дерябин // Транспортное дело России. — 2014. — № 5. — С. 3–7.

3. *Ebada A.* Intelligent techniques-based approach for ship maneuvering simulations and analysis (Artificial Neural Networks Application): Doktor-Ing. genehmigte Dissertation, Institute of Ship Technology und Transport Systems / A. Ebada. — Germany. — 2007. — 156 p.
4. *Moreira L.* Dynamic model of maneuverability using recursive neural networks / L. Moreira, C. G. Soares // *Ocean Engineering*. — 2003. — Vol. 30. — P. 1669–1697.
5. *Zak B.* Modelling of ship's motion using artificial neural networks / B. Zak, J. Malecki, Z. Kitowski // *Advances in Neural Networks and Applications*, World Scientific and Engineering Society Press. — 2001. — P. 298–303.
6. *Ведякова А. О.* Идентификация в условиях внешнего возмущения с использованием нейронных сетей / А. О. Ведякова // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2014. — Vol. 2. — № 3. — P. 18–22.
7. *Ning W.* A Novel Vessel Maneuvering Model via GEBF Based Fuzzy Neural Networks / W. Ning, W. Dan, L. Tieshan // *Proceedings of the 31<sup>st</sup> Chinese Control Conference*, July 25–27, Hefei, China. — 2012. — P. 7026–7031.
8. *Valcic M.* Anfis Based Model for Ship Speed Prediction / M. Valcic, R. Antonic, V. Tomas // *Brodo Gradnja*. — 2011. — 62 (4). — P. 373–382.
9. *Дерябин В. В.* Модель движения судна в горизонтальной плоскости / В. В. Дерябин // *Транспортное дело России*. — 2013. — № 6. — С. 60–67.
10. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
11. *Дерябин В. В.* Адаптивные алгоритмы фильтрации в задаче прогноза координат места судна / В. В. Дерябин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 1 (23). — С. 12–19.

УДК [656.052.55+629.5.035]:629.5.018.71:004.4.942

**С. А. Агарков,**  
д-р экон. наук, проф.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТАНКЕРА В УСЛОВИЯХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

### TANKER MOTION MODELING RESULTS ANALYSIS UNDER THE WIND

*Актуальность исследований в области совершенствования способов управления судном подтверждается большим количеством статей, публикуемых исследователями в этой области. В данной статье рассматривается компьютерное моделирование маневров неуправляемого танкера в условиях действия ветра как предварительный этап исследований принципа управления танкером при помощи отклонений двух разнесенных точек диаметральной плоскости танкера от линии, называемой прицельной. Показаны возможности моделирующей программы. Представленные результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что предложенная компьютерная система способна моделировать выполняемые танкером операции и пригодна для дальнейших исследований.*

*The relevance of research in the field of improving vessel control methods confirmed by a large number of articles published by researchers in the area. This article describes computer simulation exercises are not operated tanker under the action of the wind. This is a preliminary phase of research of the management principle tanker using deviations of two separated points of the center plane of the tanker from the line, called the sighting. Features of simulator had been demonstrated. Presented simulation results lead to the conclusion that the proposed computer system can simulate the operations performed by the tanker, and is suitable for further studies.*