

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 5 (33)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015**

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2015. — Вып. 5 (33). — 228 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.



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. Гуца —

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

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ 7

Дерябин В. В. Нейросетевые системы прогноза скорости дрейфа судна 7

Агарков С. А. Влияние ветра при движении лагом на управление по отклонениям 14

Ершов А. А., Теренчук А. В. Практический способ определения параметрического
резонанса по бортовой качке судна 18Майоров Н. Н., Кириченко А. В., Фетисов В. А. Моделирование контейнерооборота
морской транспортной системы на основе математического аппарата
гравитационной модели 26Кузнецов А. Л., Павленко С. С., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Моделирование сетей
контейнерного грузораспределения 33Чебан А. Ю. Комплекс для перегрузки насыпных строительных материалов
в средства водного транспорта 43Мойсеев С. С., Мейлер Л. Е. Методика оценки рисков аварийности
рыболовных судов 47Акмайкин Д. А., Ключева С. Ф., Салюк П. А. Эвристический поиск оптимального
маршрута судна по северному морскому пути 55

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ 63

Фирсов Ю. Г. Геодезические аспекты разграничения морских пространств
с США и пересмотренное представление России по границам континентального
шельфа в Арктике 63Ермаков С. В. Особенности определения фактической дальности видимости огней
маяков по указанной на карте величине 73Нычик Т. Ю. Управление риском аварий и транспортных происшествий
в судоходных шлюзах 80

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ 86

Красюк А. Б., Чистов В. Б. Дефектация и ремонт листов ледового пояса ледоколов
речного флота 86Лебедева М. П., Васильева А. Б., [Инютина Т. Н.] Гидродинамические характеристики
взаимодействия корпуса судна с плоской вертикальной стенкой 92Метелица С. С. Экспериментальное исследование влияния расхода газа
для создания воздушной каверны на днище катамаранов 102Куликов В. А. Моделирование программными средствами случайных погрешностей
измерения в судостроении 110СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ,
СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА 119Безюков О. К., Денисова А. А. Методы оценки научно-технического уровня судов,
энергетических установок и контрольно-измерительных приборов 119Цветков Ю. Н., Волков А. С. Особенности относительного положения
кривых Герси – Штрибека, построенных для масел разной вязкости,
в области гидродинамической смазки 130Чернышов Е. А., Романова Е. А., Романов А. Д. Развитие воздухонезависимых
энергетических установок подводных лодок 140

**Члены
редколлегии:**

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

Петров А. П., Живлюк Г. Е. Развитие электронных систем управления судовыми двигателями внутреннего сгорания152
Саушев А. В., Троян Д. И. Идентификация электроприводов портовых перегрузочных машин169

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
НА ТРАНСПОРТЕ184**

Люсьченко А. Н., Нырков А. П., Швед В. Г. Модель системы обеспечения информационной безопасности на транспорте184
Чертков А. А., Вардомская А. А., Дмитриев А. А. Автоматизация определения критического пути в логистической системе194
Кирсанов М. Н. Модификация и анализ фильтров выделения контуров изображений201
Голоскоков Д. П. Моделирование конформных отображений вариационным методом в системе символьных вычислений Maple207
Семенов Е. С., Галич С. В., Тюхтяев Д. А. Анализ и классификация задержек, возникающих при работе протокола ARP в программно-конфигурируемых сетях217

Международная выставка и конференция по гражданскому судостроению, судоходству, деятельности портов и освоению океана и шельфа «НЕВА-2015»225
Памяти Горбачева Юрия Николаевича227

OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION	7
<i>Deryabin V. V.</i> Neural network based vessel's speed of drift prediction systems	7
<i>Agarkov S. A.</i> Wind effect on operation by deviations during broadside motion	14
<i>Ershov A. A., Terenchuk A. V.</i> Practical method for determining the parametric resonance of rolling of the vessel	18
<i>Majorov N. N., Kirichenko A. V., Fetisov V. A.</i> Modeling of marine container transport system on the basis of the mathematical apparatus of the gravity model	26
<i>Kuznetsov A. L., Pavlenko S. S., Scherbackova-Slysarenko V. N.</i> Container distribution networks modeling	33
<i>Cheban A. Yu.</i> Complex for handling of dry bulk construction materials in water transport	43
<i>Moiseenko S. S., Meyler L. E.</i> A method of risks assessment for the fishing vessels accident	47
<i>Akmaykin D. A., Klyueva S. F., Salyuk P. A.</i> Heuristic search for the optimal route ship Northern Sea Route	55
WATERWAYS AND HYDROGRAPHY	63
<i>Firsov Yu. G.</i> Geodetic aspects of the maritime delimitation with the USA and the partial revised submission of Russia in respect of the continental shelf in the Arctic Ocean	63
<i>Ermakov S. V.</i> Features of determine the actual range of lights visibility by shown on the map value	73
<i>Nychik T. Yu.</i> Risk management of accidents and traffic events in navigation lock	80
SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR	86
<i>Krasyuk A. B., Tchistov V. B.</i> Defect detection and repair of ice belt sheets for inland water icebreakers	86
<i>Lebedeva M. P., Vasileva A. B., Injutina T. N.</i> The ship flat wall interaction hydrodynamical characteristic	92
<i>Metelitsa S. S.</i> Experimental research of the influence of the gas flow for creation of the air cavity on the bottom of catamarans	102
<i>Kulikov V. A.</i> Simulacion of random measurement errors in shipbuilding programmatically	110
SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICES	119
<i>Bezyukov O. K., Denisova A. A.</i> Methods for assessment of scientific and technical level of ship power plants and control instrumentation	119
<i>Tsvetkov Yu. N., Volkov A. S.</i> Peculiarities of the relative position of the Hersey-Stribeck curves for oils of different viscosity in hydrodynamic area	130
<i>Chernyshov E. A., Romanova E. A., Romanov A. D.</i> Development of airindependent power stations of submarines	140
<i>Petrov A. P., Zhivlyuk G. E.</i> Development of electronic control systems of internal combustion engines	152
<i>Saushev A. V., Trojan D. I.</i> Identification of electric drives of port reloading cars	169

edition **5(33)**
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. Trunin,
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.

INFORMATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION IN TRANSPORT

.....	184
<i>Lyulchenko A. N., Nyrkov A. P., Shved V. G.</i> Model of the system providing information security on transport	184
<i>Chertkov A. A., Vardomskeya A. A., Dmitriev A. A.</i> Automation to define critical way in logistical system	194
<i>Kirsanov M. N.</i> Modification and analysis of edge detection filters	201
<i>Goloskokov D. P.</i> Modelling of conformal mappings by a variation method in system of symbolical evaluations Maple	207
<i>Semenov E. S., Galich S. V., Tyukhtyaev D. A.</i> Analysis and classification of delays of ARP protocol in software-defined networks	217

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК. 656.61.052

В. В. Дерябин

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ ДРЕЙФА СУДНА

Рассматривается построение нейросетевых систем прогноза скорости дрейфа судна для ведения счисления его пути. Синтезированы системы трёх типов. В каждом случае нейронная сеть принимает на вход величины, характеризующие параметры движения судна, силы со стороны движительно-рулевого комплекса, ветра и волнения, а также силы сопротивления. Выходным сигналом является скорость дрейфа судна. Формирование образцов для обучения сетей выполняется при помощи компьютерного моделирования условий проведения натурного эксперимента для сухогрузного судна среднего тоннажа. Технология тестирования нейронных сетей предполагает рассмотрение модельных ситуаций с различным уровнем и характером изменения действующих на судно управляющих и возмущающих воздействий. Проверка работоспособности синтезированных систем позволяет сделать вывод об их приемлемой для навигационных целей средней точности.

Ключевые слова: нейронная сеть, скорость дрейфа судна, счисление, компьютерное моделирование, тестирование.

БОЛЬШОЕ количество современных судов морского флота оборудовано относительным лагом, измеряющим только продольную составляющую его скорости, и гирокомпасом. При ведении счисления с использованием указанных приборов возникает задача учёта скорости дрейфа судна. Существующие традиционные методы её решения имеют не всегда приемлемую точность, так как не учитывают многие закономерности движения судна, чувствительны к погрешностям исходных данных, часто представляют собой слишком упрощённые линейные алгоритмы. Поиски путей повышения точности прогноза скорости дрейфа судна, а, следовательно, и счислимых координат его места, должны учитывать свойства нелинейности процесса счисления и неопределённости исходных данных. Как известно, в условиях нелинейности системы, неопределённости и неполноты исходных данных хорошо работают алгоритмы, основанные на применении искусственных нейронных сетей [1], [2].

Идеи использования нейронных сетей для прогноза параметров движения судна содержатся, например, в работах [3] — [5]. В данных исследованиях нейронная сеть выполняет функцию идентификации модели движения судна. Несколько иной подход к применению нейросетевых технологий для оценки навигационных параметров судна предлагается в статьях [6] — [8], где нейронные сети используются для прогноза траектории, а коррекция их свободных параметров выполняется в режиме реального времени по мере движения судна. Как правило, в большинстве исследований не учитываются внешние факторы: ветер и волнение при построении нейросетевых систем. Кроме того, тестирование сетей выполняется в основном лишь для узких классов стандартных манёвров наподобие «циркуляция» и «зигзаг», а поведение их в других навигационных ситуациях не рассматривается. Использование нейронной сети для прогноза счислимых параметров движения судна предполагает проверку её работоспособности на множестве различных входных сигналов.

В статье рассматривается три варианта построения нейронных сетей, прогнозирующих скорость дрейфа судна в условиях внешних возмущающих факторов. Настройка их свободных параметров выполняется на основе образцов, которые могут быть получены в ходе натурных наблюдений по специальной методике. Синтезированные системы проходят тестирование в различных навигационных ситуациях, характеризующихся определёнными гидрометеорологическими условиями и режимом работы движительно-рулевого комплекса. Излагаемое в данной статье ис-

следование во многом базируется на положениях работы [9], являясь, в то же время, развитием изложенных в ней идей.

Вначале определим вид входных и выходных сигналов сетей. Входной сигнал X нейронных сетей имеет различный вид для систем разных типов (табл. 1).

Таблица 1

Вид входных сигналов нейронных сетей

Тип нейросетевой системы	Силовой подход	Непосредственный подход	Непосредственный подход (статический вариант)
Вид входного сигнала	$\begin{pmatrix} \omega V_{x1} \\ F_{Py1} \\ F_{Ry1} \\ F_{vy1} \\ F_{Ay1} \\ F_{Wy1} \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \omega V_{x1} \\ V_{x1} \\ \delta \\ n \\ V_R^2 \sin \alpha \\ \rho g (h^2 / \lambda) \sin \gamma \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \int_0^{\Delta t} V_{x1} dt, \int_0^{\Delta t} V_{y1} dt, \\ \int_0^{\Delta t} (V_{x1} \omega) dt, \int_0^{\Delta t} \delta dt, \\ \int_0^{\Delta t} n dt, \int_0^{\Delta t} V_R^2 \sin \alpha dt, \\ \int_0^{\Delta t} \rho g (h^2 / \lambda) \sin \gamma dt \end{pmatrix}^T$

Примечание. В табл. 1 использована следующая система обозначений: V_{x1} — продольная составляющая относительной скорости судна; V_{y1} — скорость дрейфа; ω — угловая скорость поворота; δ — угол перекадки руля; n — число оборотов винта; V_R, α — соответственно скорость и курсовой угол относительного ветра; h, λ, γ — соответственно высота, длина и курсовой угол регулярного волнения; F_{y1} — проекция сил на поперечную ось, а их 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. Символы g, ρ обозначают, соответственно, ускорение свободного падения и плотность морской воды, символ Δt — интервал интегрирования по времени.

Вид входного сигнала нейронных сетей позволяет дать условные названия каждому из вариантов их построения. В случае «силового» подхода пять из шести компонент входного вектора образуют силы, действующие на корпус судна. Их расчёт выполняется на основе известных из теории корабля соотношений, используемых в [10] при создании модели движения судна в горизонтальной плоскости. Перед обучением входные и выходные сигналы масштабируются, для чего необходимо знать их экстремальные значения. При силовом подходе определение границ возможных значений сил, действующих на корпус судна, возможно либо на основе теоретических соображений, либо с использованием результатов имитационного моделирования, как это было проделано в [9]. При непосредственном подходе компоненты входного сигнала составляют величины, характеризующие действие соответствующих сил на корпус судна. В данном случае предполагается, что закон преобразования таких величин в силовые воздействия заложен в структуре и коэффициентах нейронной сети. Вычисление границ возможных значений компонент входного сигнала при непосредственном подходе выполняется на основе данных о маневренных характеристиках судна, ограничениях его движительно-рулевого комплекса, сведениях о предельных значениях характеристик ветра и волнения. При непосредственном подходе (статический вариант нейронной сети) предполагается учёт времени непосредственно во входных сигналах за счёт интегрирования по времени величин, характеризующих силовые воздействия на интервале Δt , равном 5 мин. Следует отметить, что при формировании набора учебных данных при малой дискретности измерений компоненты входного сигнала статической сети будут мало отличаться в смежные моменты времени. Поэтому необходимо также выбрать интервал $\Delta t'$, через который записываются образцы. В настоящем исследовании значение величины $\Delta t'$ выбрано равным 2,5 мин — половине Δt .

Каждый из трёх указанных ранее подходов имеет свои отличительные особенности. Так, особенностью нейронной сети, реализующей «силовой» подход, является то, что такую сеть можно использовать и для прогноза скорости дрейфа других судов, имеющих близкие по отношению к эталонному судну инерционно-массовые характеристики. Однако вычисление отдельных сил выполняется, так или иначе, на основе определённых соотношений, которые могут быть неадекватны реальной динамике судна и его движительно-рулевого комплекса. Иными словами, в случае «силового» подхода потеря точности возможна уже на этапе вычисления компонент входного сигнала. «Непосредственный» вариант использования нейронной сети лишён указанного недостатка, но основная проблема при его реализации заключается в определении набора входных величин, однозначно определяющих динамику судна в текущих условиях плавания. Особую сложность представляет определение вида величин, характеризующих влияние волнения.

Преимуществом «статического» подхода по отношению к динамическим вариантам нейронных сетей является относительно невысокое количество свободных параметров (весов и порогов), что ускоряет процесс обучения. Тем не менее, учёт времени непосредственно в компонентах входного сигнала требует ответа на вопрос о выборе, в частности, длины промежутка времени интегрирования Δt .

Рассмотрим теперь архитектуру нейронных сетей. В случае «статического» варианта используется двухслойная нейронная сеть прямого распространения (FFNN — Feed Forward Neural Network), первый слой которой содержит 20 нейронов с сигмоидальными функциями активации в виде гиперболического тангенса, а второй — один нейрон с тождественной функцией активации. Общий вид нейронной сети представлен на рис. 1.

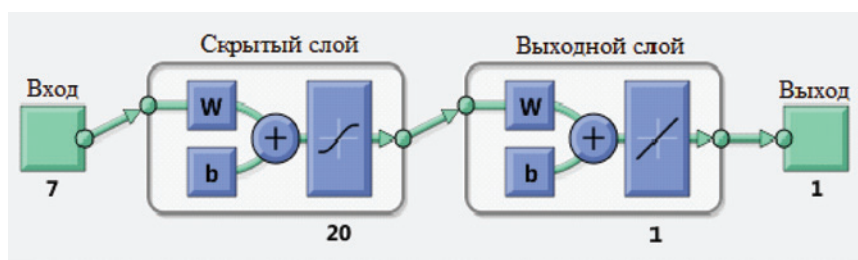


Рис. 1. Общий вид нейронной сети («статический» вариант): 7 — размерность входного сигнала; 20 — число нейронов в скрытом слое; 1 — количество нейронов в выходном слое; 1 — размерность выходного сигнала

В остальных случаях («силовой» и «непосредственный» подход) в структуру нейронной сети добавляются линии единичных задержек как по входному, так и выходному сигналу. Их число составляет пять. Таким образом, используются динамические нейронные сети. Общий их вид изображён на рис. 2.

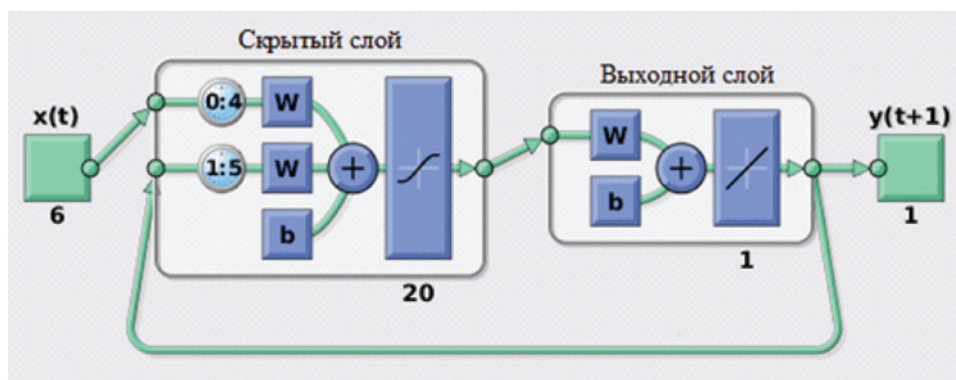


Рис. 2. Общий вид нейронной сети («силовой» и «непосредственный» подход): 6 — размерность вектора входного сигнала; 20 — число нейронов в скрытом слое; 1 — число нейронов в выходном слое; 1 — размерность вектора выходного сигнала

Общим для структуры нейронных сетей, используемых для решения задачи прогноза скорости дрейфа судна, является наличие в их структуре нейронов с нелинейными функциями активации в виде гиперболического тангенса. Выбор нелинейной функции активации обусловлен тем, что преобразование внешних возмущений «через судно» в скорость дрейфа носит качественно нелинейный характер. Тем не менее, в качестве функции активации нейронов могут использоваться и другие нелинейные функции, например, логистическая. В фундаментальном труде по нейронным сетям [2] содержатся эвристические рекомендации по проектированию нейросетевых систем, обучение которых выполняется с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. В соответствии с данными рекомендациями использование нечётных сигмоидальных функций, к которым и относится гиперболический тангенс, является более предпочтительным по сравнению с другими вариантами. Так, логистическая функция не удовлетворяет условию нечётности. Выбор нелинейных функций в классе сигмоидальных объясняется их способностью поддерживать баланс между нелинейным и линейным поведением моделируемой системы [2], что характерно для прогноза скорости дрейфа судна в условиях внешних возмущений.

Формирование образцов для обучения нейронных сетей выполнялось на основе имитационного моделирования условий проведения натурального эксперимента для т/х «Инженер Плавинский», имеющего массовое водоизмещение 14300 т при осадке 7 м. Методика проведения эксперимента подробно описана в [9]. Она заключается в создании набора модельных ситуаций, каждая из которых представляет собой плавание судна в течение 3 ч с удерживаемыми в ходе него постоянными значениями угла перекладки руля и числа оборотов винта. Рассматриваются всевозможные комбинации дискретных значений указанных величин. В процессе обучения используется два множества образцов: *учебное*, на основе которого выполняется настройка сети, и *тестовое*, образцы которого используются для контроля обобщающих свойств сети по мере обучения. Характеристикой адекватности нейронной сети выбирается наибольшее значение модуля ошибки скорости дрейфа на тестовой выборке $e_{\max}$.

При обучении динамических нейронных сетей следует учитывать тот факт, что образцы модельных ситуаций представляют собой независимые друг от друга наборы данных, поэтому при объединении их в одну общую выборку будет нарушена хронологическая последовательность движения судна. Для обхода данного затруднения была использована схема обучения, когда объединение образцов модельных ситуаций в одну общую выборку не происходит, а учебные выборки каждой модельной ситуации подаются последовательно для обучения сети, которое, в свою очередь, происходит в пакетном режиме с одной итерацией. Такой метод обучения может быть назван *последовательно-пакетным*. Таким образом, эпоха обучения в данном случае есть однократное рассмотрение учебных выборок всех модельных ситуаций с коррекцией коэффициентов для каждой выборки. Для настройки параметров нейронной сети, реализующей «силовой» подход, выбирается метод Левенберга — Марквардта. По мере обучения значение величины $e_{\max}$ достигло минимального значения 0,3486 м/с. При обучении нейронной сети, представляющей «непосредственный» подход, в качестве алгоритма обучения использовался метод градиентного спуска с инерционным членом и адаптивным параметром скорости обучения. Следует отметить, что методы обучения второго порядка (Левенберга — Марквардта, сопряжённых градиентов и др.) обнаружили свою неработоспособность: процесс обучения расходился уже на первом цикле. Лучшее состояние сети соответствует величине $e_{\max}$, равной 2,0706 м/с.

Для статической нейронной сети порядок следования образцов на стадии обучения не имеет такого значения, как при обучении динамических сетей, т. е. образцы в обучающем множестве могут быть сгруппированы в произвольном порядке, что существенно облегчает процесс формирования обучающей выборки. Алгоритмом коррекции коэффициентов сети выбран способ Левенберга — Марквардта. В ходе обучения наименьшее значение величины $e_{\max}$ составило 1,0609 м/с.

После обучения нейросетевые системы проходят тестирование по технологии, изложенной в [9], заключающейся в формировании модельных ситуаций по принципу постоянства действующих на судно управляющих и возмущающих воздействий. В программу тестирования входят и

удержание судна на заданном курсе, и движение с фиксированным углом перекладки руля и постоянным числом оборотов винта, и плавание с изменением управляющих воздействий по определённому закону. В ходе тестирования гидрометеорологические условия могут как сохраняться неизменными в течение плавания, так и носить переменный характер. Величины, их характеризующие, принимают значения из возможных диапазонов. Так, например, скорость истинного ветра варьируется от 0 до 30 м/с, высота волнения принимает значения от 0 до 10 м. Было рассмотрено 10000 модельных ситуаций, каждая из которых представляет собой плавание судна в течение четырёх часов.

Из всех вариантов работы нейронных сетей можно выделить два основных. Первый из них наблюдается, когда на временном промежутке плавания все компоненты входного сигнала лежат в пределах, достигнутых в ходе обучения сети, т. е. можно сказать, что сеть работает в режиме «интерполяции». Так как сеть обучалась с использованием образцов, полученных в гидрометеорологических условиях средней интенсивности, в рабочем режиме будут наблюдаться ситуации, когда хотя бы одна компонента входного вектора системы выходит во время плавания за границы значений, установленных на стадии обучения (второй вариант работы нейронных сетей). В таком случае нейронная сеть уже работает в другом режиме — режиме «экстраполяции». В ходе тестирования указанные два режима различались и для каждого из них определялись свои характеристики точности счисления. Результаты тестирования приводятся в табл. 2, где в круглых скобках указаны значения соответствующих величин для режима «интерполяции». Как видно из таблицы, нейронные сети позволяют прогнозировать скорость дрейфа и определять координаты места судна лишь с удовлетворительной для навигационных целей средней точностью. Наибольшие же значения их ошибок достигают существенных величин на временном промежутке плавания. Данный факт можно объяснить несовершенством этапов построения нейросетевых систем, к которым относятся определение вида входного сигнала, выбор архитектуры, а также формирование образцов и обучение сетей. Так, например, на стадии выбора вида компонент входного сигнала не проводилось исследование влияния удельного веса каждой компоненты на погрешность счисления места судна. Ситуация осложняется также тем, что влияние каждого фактора на скорость дрейфа судна, в общем случае, будет зависеть и от значений других компонент входного сигнала, т. е. от конкретных условий плавания. На этапе выбора архитектуры не исследовались вопросы выбора оптимального количества слоёв сети, нейронов, единичных задержек, времени интегрирования компонент для статического варианта и др.

Таблица 2

Результаты тестирования нейронных сетей

10000 модельных ситуаций, из них	«Силовой» подход	«Непосредственный» подход	«Непосредственный» подход (статический вариант)
Количество ситуаций режима «интерполяции»	2032	857	3547
Наибольший модуль ошибки скорости дрейфа, м/с	10.97 (0.90)	19.90 (4.15)	10.10 (8.2)
Средний модуль ошибки скорости дрейфа, м/с	0.24 (0.10)	0.57 (0.33)	0.45 (0.33)
Наибольший максимум модуля невязки за четыре часа, мили	14.35 (2.76)	23.93 (5.82)	18.36 (8.72)
Средний максимум модуля невязки за четыре часа, мили	0.87 (0.44)	1.81 (0.83)	1.28 (0.84)

Наибольшая точность определения траектории достигается с использованием нейронной сети, реализующей «силовой» подход. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что силы есть величины, однозначно определяющие динамику судна в конкретных условиях плавания,

в то время как вид отдельных компонент входного сигнала для нейронных сетей, реализующих «непосредственный» подход, может вызывать сомнения в плане однозначности их вклада в движение судна. В особенности это относится к составляющей, которая характеризует влияние волнения.

Использование сети в режиме «интерполяции» позволяет получать навигационные параметры судна с большей точностью, чем в режиме «экстраполяции». В случае, когда входные сигналы не превосходят по абсолютной величине наблюдаемые на стадии обучения значения, для нейронной сети, реализующей «силовой» подход, можно даже говорить о приемлемой навигационной точности определения счислимых координат с позиции «максимального» критерия. Вывод о существовании данной закономерности сделан лишь для рассмотренных модельных ситуаций. Количество навигационных ситуаций в режиме «интерполяции» значительно меньше, чем для режима «экстраполяции», что существенно снижает степень уверенности в большей точности «интерполяционных» сигналов при каких бы то ни было условиях плавания. Тем не менее, сформулированный вывод может иметь некоторое эвристическое толкование. Действительно, в рамках известных для сети границ компонент входного сигнала основные закономерности движения судна, в том числе и нелинейности, запоминаются в структуре системы. При выходе входных сигналов за указанные пределы (особенно верхние) характер динамики судна может существенно изменяться, и это изменение уже не может быть учтено нейронной сетью с достаточной точностью.

Результаты тестирования нейронных сетей в рассмотренных модельных ситуациях позволяют сделать ещё один важный вывод, который заключается в том, что прогноз нейронной сетью скорости дрейфа судна и определение на его основе траектории движения представляют собой хоть и близкие по цели, но всё же различные задачи. Действительно, как следует из табл. 2, наиболее точной по определению скорости дрейфа судна является нейронная сеть, реализующая «непосредственный» подход в статическом исполнении. Однако наиболее точной в отношении определения именно счислимых координат является сеть, реализующая «силовой» подход. Указанное обстоятельство может быть объяснено тем, что на пути от скорости дрейфа к координатам лежит алгоритм, в определённых условиях устойчивый к значительным случайным колебаниям ошибки скорости дрейфа судна.

Для контроля обобщающих свойств нейронной сети на стадии обучения в качестве меры её адекватности было выбрано наибольшее значение модуля ошибки скорости дрейфа на тестирующей выборке $e_{\max}$. Рейтинг синтезированных систем по точности определения скорости дрейфа в ходе тестирования не соответствует значениям $e_{\max}$, которые были достигнуты в результате их обучения. В то же время, по точности траектории рейтинг сетей находится в полном соответствии с их распределением по величине $e_{\max}$. Таким образом, по результатам тестирования можно сделать вывод о целесообразности использования наибольшего модуля ошибки скорости дрейфа в качестве меры адекватности нейросетевых систем на стадии обучения.

На основе нейронных сетей синтезированы три системы прогноза скорости дрейфа судна. Каждая из них характеризуется определённым видом входного сигнала, а также типом её архитектуры. Были рассмотрены динамический и статический варианты нейронных сетей. Свободные параметры сетей зависят от характеристик конкретного судна, а сами сети выполняют функцию идентификации модели его движения. Для судна среднего водоизмещения выполнено моделирование условий проведения натурного эксперимента, в ходе которого формируются образцы для обучения указанных сетей. Методика формирования набора учебных данных основана на рассмотрении модельных ситуаций, каждая из которых соответствует определённой комбинации величин, характеризующих управляющие и возмущающие воздействия. Результаты тестирования в 10000 модельных ситуаций, характеризующихся различными условиями плавания, позволяют говорить о приемлемой средней навигационной точности синтезированных систем. Нейросетевые системы имеют различную точность в отношении как прогноза скорости дрейфа, так и определения траектории движения судна. Лучшую точность определения счислимых координат имеет нейронная сеть, которая реализует «силовой» подход к моделированию динамики судна.

Дальнейшие исследования в области использования нейросетевых технологий для повышения точности счисления пути судна могут вестись в направлении совершенствования методик определения оптимальной структуры нейронных сетей, а также обучения и тестирования синтезированных систем. Технология тестирования должна предусматривать рассмотрение по возможности большего количества разнообразных навигационных ситуаций и, в конечном итоге, быть ориентированной на применение в реальных условиях плавания. В связи с этим возникает проблема исключения из рассмотрения практически эквивалентных модельных ситуаций, которая может быть решена, в частности, на основе классификации вектора входного сигнала. Важное место занимает также разработка методики определения уровня вероятности, с которым синтезированная система прогнозирует счисляемые координаты судна в конкретных условиях плавания. Кроме того, перспективным направлением дальнейших исследований является разработка методики построения универсальных нейросетевых систем счисления, которые могут быть использованы для судов различных типов с различными движительно-рулевыми комплексами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан; пер. с англ. А. Г. Сивак. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин; пер. с англ. Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестова. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
3. Ведякова А. О. Идентификация в условиях внешнего возмущения с использованием нейронных сетей / А. О. Ведякова // International Journal of Open Information Technologies. — 2014. — Т. 2. — № 3. — С. 18–22.
4. 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 с.
5. Moreira L. Dynamic model of maneuverability using recursive neural networks / L. Moreira, C. G. Soares // Ocean Engineering. — 2003. — № 30. — С. 1669–1697.
6. Сазонов А. Е. Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети / А. Е. Сазонов, В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 6–13.
7. Nguyen. H. M. Improving GPS/INS Integration through Neural Networks / H. M. Nguyen, Z. Chi // Journal of Telecommunications. — 2010. — № 2 (2). — С. 1–6.
8. Xu T. A Novel Approach for Ship Trajectory Online Prediction Using BP Neural Network Algorithm / T. Xu, X. Liu, X. Yang // Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS). — 2012. — № 4 (11). — С. 271–277.
9. Дерябин В. В. Прогнозирование скорости дрейфа судна на основе нейронной сети / В. В. Дерябин // Транспортное дело России. — 2014. — № 5. — С. 3–7.
10. Дерябин В. В. Модель движения судна в горизонтальной плоскости / В. В. Дерябин // Транспортное дело России. — 2013. — № 6. — С. 60–67.

NEURAL NETWORK BASED VESSEL'S SPEED OF DRIFT PREDICTION SYSTEMS

In the paper the construction of neural network based vessel's speed of drift prediction systems for dead reckoning purpose is considered. Three types of these systems have been constructed. In each case a neural network takes as input signals variables which characterize vessel motion parameters, forces acting the ship from steering-propulsion complex, wind and waves, and resistance forces so on. Speed of drift of vessel is output signal. Forming neural network training sets is performed with computer modeling of natural experiment conditions for a medium tonnage dry cargo vessel. Testing technology supposes consideration of modeling situations with different level and character changing of disturbances and control actions influencing on vessel. Testing of the constructed systems let us to resume that they have mean accuracy sufficient for navigation.

Key words: network, vessel's speed of drift, dead reckoning, computer modeling, testing

REFERENCES

1. Callan, Robert. *Essence of neural networks*. Prentice Hall PTR, 1998.
2. Haykin, Simon. "A comprehensive foundation." *Neural Networks* 2.2004 (2004).
3. Vedyakova, A.O. "Neural network approach for identification under external disturbance." *International Journal of Open Information Technologies* 2.3 (2014): 18-22.
4. Ebada, Adel. 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. 2007.
5. Moreira, L., and C.G. Soares. "Dynamic model of maneuverability using recursive neural networks." *Ocean Engineering* 30 (2003): 1669-1697.
6. Sazonov, A.E., and Deryabin V.V. "Forecasting to paths of the motion ship with the help of neyronnoy network." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(22) (2013): 6-13.
7. Nguyen, H.M., and Z. Chi. "Improving GPS/INS Integration through Neural Networks." *Journal of Telecommunications* 2(2) (2010): 1-6.
8. Xu, T., X. Liu, and X. Yang. "A Novel Approach for Ship Trajectory Online Prediction Using BP Neural Network Algorithm." *Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS)* 4(11) (2012): 271-277.
9. Deryabin, V.V. "Vessel's drift speed prediction on basis of neural network." *Transport business of Russia* 5 (2014): 3-7.
10. Deryabin, V.V. "Model ship traffic above the horizontal plane." *Transport business of Russia* 6 (2013): 60-67.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дерябин Виктор Владимирович –
кандидат технических наук.
Арктический морской институт
имени В.И. Воронина –
филиал ФГБОУ ВО «Государственный
университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова»
gmavitder@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Deryabin Victor Vladimirovich –
Candidate of Engineering.
Vladimir Voronin Arctic Maritime Institute –
Arkhangelsk brunch
of the Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
gmavitder@mail.ru

УДК [656.052.55+629.5.035]:629.5.018.71:004.4.942

С. А. Агарков

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛАГОМ НА УПРАВЛЕНИЕ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ

Учеными всего мира разрабатываются инновационные способы управления судном с использованием современных средств судовождения для повышения безопасности судовождения и оптимизации затрат времени на проведение судовых ключевых операций. Один из таких способов использован в настоящей работе — это управление судном по отклонениям от линии, называемой прицельной. В данной работе рассмотрено влияние ветра на управление танкером по отклонениям. При этом танкер выполняет третий этап швартовочной операции, т.е. движется лагом под действием системы управления по отклонениям. Рассмотрена оценка возможности выполнения такого маневрирования в случае действия траверсного ветра при управлении танкером с помощью носового и кормового подруливающих устройств. На рисунках представлены траектории танкера при различной скорости ветра и различных импульсах тяги.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, моделирование движения судна, влияние ветра, моделирование подруливающего устройства, математическая модель.