

Programmnye produkty i sistemy  
Software & Systems

ISSN 0236-235X

ISSN 2311-2735

# Программные продукты и системы

DOI 10.15827/0236-235X.113

НИИ «ЦЕНТРПРОГРАММСИСТЕМ»

№ 1  
(113)  
2016

45  
лет



---

Научно-исследовательский институт  
«Центрпрограммсистем»

---

# Программные продукты и системы

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (113), 2016

Главный редактор  
С.В. ЕМЕЛЬЯНОВ, академик РАН

Тверь

## PROGRAMMNYE PRODUKTY I SISTEMY (SOFTWARE & SYSTEMS)

International research and practice journal

no. 1 (113), 2016

Editor-in-Chief  
S.V. EMELYANOV, *Academician of the Russian Academy of Sciences*

Tver  
Russian Federation

---

Research Institute CENTERPROGRAMSYSTEM

---

## © ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ И СИСТЕМЫ

2016, № 1 (113)

Международное научно-практическое приложение к международному журналу «ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ»

Главный редактор

**С.В. ЕМЕЛЬЯНОВ**, академик РАН (г. Москва, Россия)

Научные редакторы:

**В.П. КУПРИЯНОВ**, генеральный директор НИИ «Центрпрограммсистем» (г. Тверь, Россия)

**Н.А. СЕМЕНОВ**, д.т.н., профессор ТвГТУ (г. Тверь, Россия)

**В.А. ИЛЬИН**, д.в.н., профессор, ВУНЦ ВМФ (г. Санкт-Петербург, Россия)

Рецензенты:

**Н.А. Семенов**, д.т.н., профессор ТвГТУ (г. Тверь, Россия)

**А.М. Кытманов**, д.ф.-м.н., профессор СФУ (г. Красноярск, Россия)

**А.П. Афанасьев**, д.ф.-м.н., профессор ИППИ РАН (г. Москва, Россия)

**В.Н. Вагин**, д.т.н., профессор, МАИ (г. Москва, Россия)

**А.Б. Баламетов**, д.т.н., профессор АзНИПИИЭ (г. Баку, Азербайджан)

**Н.В. Меньшутина**, д.т.н., профессор РХТУ (г. Москва, Россия)

**К.В. Сафонов**, к.ф.-м.н., профессор СибГАУ (г. Красноярск, Россия)

Издатель НИИ «Центрпрограммсистем» (г. Тверь, Россия)

Учредители: МНИИПУ (г. Москва, Россия), Главная редакция международного журнала «Проблемы теории и практики управления» (г. Москва, Россия),

Закрытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Центрпрограммсистем» (г. Тверь, Россия)

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати 26 июня 1995 г.

Регистрационное свидетельство № 013831

Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать» **70799**

ISSN 0236-235X (печатн.)

ISSN 2311-2735 (онлайн)

## МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Семенов Н.А.** – д.т.н., профессор Тверского государственного технического университета, заместитель главного редактора (г. Тверь, Россия)

**Решетников В.Н.** – д.ф.-м.н., профессор Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского (МАТИ), заместитель главного редактора (г. Москва, Россия)

**Арефьев И.Б.** – д.т.н., профессор Морской академии Польши (г. Щецин, Польша)

**Афанасьев А.П.** – д.ф.-м.н., профессор Московского физико-технического института (технического университета),

заведующий Центром распределенных вычислений Института проблем передачи информации РАН (г. Москва, Россия)

**Батыршин И.З.** – д.т.н., профессор Мексиканского института нефти (г. Мехико, Мексика)

**Вагин В.Н.** – д.т.н., профессор Московского энергетического института (технического университета)

(г. Москва, Россия)

**Голенков В.В.** – д.т.н., профессор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Беларусь)

**Еремеев А.П.** – д.т.н., профессор Московского энергетического института (технического университета)

(г. Москва, Россия)

**Котов А.С.** – кандидат наук, ассистент профессора университета Уэйна (штат Мичиган) (г. Детройт, США)

**Кузнецов О.П.** – д.т.н., профессор Института проблем управления РАН (г. Москва, Россия)

**Курейчик В.М.** – д.т.н., профессор Технологического института Южного федерального университета

(г. Таганрог, Россия)

**Лисецкий Ю.М.** – к.т.н., генеральный директор «S&T Ukraine» (г. Киев, Украина)

**Мамросенко К.А.** – к.т.н., доцент Российского государственного технологического университета

им. К.Э. Циолковского (МАТИ), заведующий отделом Центра визуализации и спутниковых

информационных технологий ФНЦ НИИСИ РАН (г. Москва, Россия)

**Бертран Мейер** – доктор наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей политехнической школы – ЕТН (г. Цюрих, Швейцария)

**Нгуен Тхань Нгуи** – д.ф.-м.н., профессор, проректор Ханойского открытого университета (г. Ханой, Вьетнам)

**Николов Р.В.** – доктор наук, профессор Университета библиотековедения и информационных технологий Софии

(г. София, Болгария)

**Осипов Г.С.** – д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора Института системного анализа РАН (г. Москва, Россия)

**Палюх Б.В.** – д.т.н., профессор Тверского государственного технического университета (г. Тверь, Россия)

**Рахманов А.А.** – д.т.н., профессор, заместитель генерального директора Концерна «РТИ Системы» (г. Москва, Россия)

**Серов В.С.** – д.ф.-м.н., профессор Университета прикладных наук Оулу (г. Оулу, Финляндия)

**Сотников А.Н.** – д.ф.-м.н., профессор, Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН (г. Москва, Россия)

**Сулейманов Д.Ш.** – академик АН Республики Татарстан, д.т.н., профессор Казанского государственного

технического университета (г. Казань, Республика Татарстан, Россия)

**Тарасов В.Б.** – к.т.н., доцент Московского государственного технологического университета им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)

**Таратухин В.В.** – доктор философии, управляющий директор Европейского исследовательского центра

в области информационных систем (ERCIS) Вестфальского университета им. Вильгельма (г. Мюнстер, Германия)

**Хорошевский В.Ф.** – д.т.н., профессор Московского физико-технического института (технического университета)

(г. Москва, Россия)

**Язенин А.В.** – д.ф.-м.н., профессор Тверского государственного университета (г. Тверь, Россия)

## АССОЦИИРОВАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИИ

Московский энергетический институт (технический университет), г. Москва, Россия

Технологический институт Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Научно-исследовательский институт «Центрпрограммсистем», г. Тверь, Россия

## АДРЕС РЕДАКЦИИ

Россия, 170024, г. Тверь, пр. 50 лет Октября, 3а

Телефон (482-2) 39-91-49

Факс (482-2) 39-91-00

E-mail: red@cps.tver.ru

www.swsys.ru

Подписано в печать 25.02.2016 г.

Отпечатано ООО ИПП «Фактор и К»

Россия, 170028, г. Тверь, ул. Лукина, д. 4, стр. 1

Выпускается один раз в квартал. Год издания двадцать девятый

Формат 60×84 1/8. Объем 196 стр.

Заказ № 6. Тираж 1000 экз. Цена 257,40 руб.

Автор статьи отвечает за подбор, оригинальность и точность приводимого фактического материала. Авторские гонорары не выплачиваются. При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

**Editor-in-chief**

S.V. Emelyanov, Academician of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

**Science editors:**

V.P. Kupriyanov, Director General, R&D Institute Centerprogramsistem (Tver, Russian Federation)

N.A. Semenov, Dr.Sc. (Engineering), Professor TSTU (Tver, Russian Federation)

V.A. Ilin, Dr.Sc. (Military), Professor Military Institute VUNTS Navy (St. Petersburg, Russian Federation)

**Reviewers:**

N.A. Semenov, Dr.Sc. (Engineering), Professor TSTU (Tver, Russian Federation)

A.M. Kytmanov, Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor SFU (Krasnoyarsk, Russian Federation)

A.P. Afanasiev, Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor IITP RAS (Moscow, Russian Federation)

B.N. Vagin, Dr.Sc. (Engineering), Professor MPEI (Moscow, Russian Federation)

A.B. Balametov, Dr.Sc. (Engineering), Professor AzSR&DPPEI (Baku, Azerbaijan Republic)

N.V. Menshutina, Dr.Sc. (Engineering), Professor NUCTR (Moscow, Russian Federation)

K.V. Safonov Ph.D. (Physics and Mathematics), Professor SibSAU (Krasnoyarsk, Russian Federation)

**INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD**

**Semenov N.A.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Tver State Technical University, Deputy Editor-in-Chief  
(Tver, Russian Federation)

**Reshetnikov V.N.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of Russian State Technological University (MATI),  
Deputy Editor-in-Chief (Moscow, Russian Federation)

**Arefev I.B.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Poland Szczecin Maritime Academy (Szczecin, Poland)

**Afanasiev A.P.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of Moscow Institute of Physics and Technology,

Head of Centre for Distributed Computing of Institute for Information Transmission Problems (Moscow, Russian Federation)

**Batyrshin I.Z.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Mexican Petroleum Institute (Mexico City, Mexico)

**Vagin V.N.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Moscow Power Engineering Institute (Technical University)  
(Moscow, Russian Federation)

**Golenkov V.V.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
(Minsk, Republic of Belarus)

**Eremeev A.P.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Moscow Power Engineering Institute (Technical University)  
(Moscow, Russian Federation)

**Kotov A.S.** – Ph.D. (Computer Science), Assistant Professor, Wayne State University (Detroit, MI, USA)

**Kuznetsov O.P.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of the Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences  
(Moscow, Russian Federation)

**Kureichik V.M.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Taganrog Technology Institute at Southern Federal University  
(Taganrog, Russian Federation)

**Lisetskiy Yu.M.** – Ph.D. Tech.Sc., CEO of "S&T Ukraine" (Kiev, Ukraine)

**Mamrosenko K.A.** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor of Russian State Technological University (MATI),  
Head of Department of Center of Visualization and Satellite Information Technologies SRISA RAS (Moscow, Russian  
Federation)

**Bertrand Meyer** – Dr.Sc., Professor, Head of Department in Swiss Federal Institute of Technology in Zurich, ETH (Zurich,  
Switzerland)

**Nguyen Thanh Nghi** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Vice-Principal of Hanoi Open University (Hanoi, Vietnam)

**Nikolov R.V.** – Full Professor of the University of Library Studies and Information Technology (Sofia, Bulgaria)

**Osipov G.S.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Deputy of the Principal of Institute of Systems Analysis  
of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

**Palyukh B.V.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Tver State Technical University (Tver, Russian Federation)

**Rakhmanov A.A.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor, Deputy of the CEO of Concern "RTI Systems"  
(Moscow, Russian Federation)

**Serov V.S.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of the Oulu University of Applied Sciences (Oulu, Finland)

**Sotnikov A.N.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Joint Supercomputer Center of the Russian Academy  
of Sciences (Moscow, Russian Federation)

**Suleimanov D.Sh.** – Academician of TAS, Dr.Sc. (Engineering), Professor of Kazan State Technical University  
(Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

**Tarassov V.B.** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor of Bauman Moscow State Technical University  
(Moscow, Russian Federation)

**Taratoukhine V.V.** – Ph.D. (Engineering), Dr.Ph., Managing Director of the Competence Centre ERP and ERCIS Lab  
Russia of the ERCIS (Muenster, Germany)

**Khoroshevsky V.F.** – Dr.Sc. (Engineering), Professor of Moscow Institute of Physics and Technology  
(Moscow, Russian Federation)

**Yazenin A.V.** – Dr.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of Tver State University (Tver, Russian Federation)

**ASSOCIATED EDITORIAL BOARD MEMBERS**

**Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Moscow, Russian Federation**

**Technology Institute at Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation**

**Tver State Technical University, Tver, Russian Federation**

**Research Institute CENTERPROGRAMSYSTEM, Tver, Russian Federation**

**EDITORIAL OFFICE ADDRESS**

50 Iet Oktyabrya Ave. 3a, Tver, 170024, Russian Federation

Phone: (482-2) 39-91-49 Fax: (482-2) 39-91-00

E-mail: red@cps.tver.ru

www.swsys.ru

Passed for printing 25.02.2016

Printed in printing-office "Faktor i K"

Lukina St. 4/1, Tver, 170028, Russian Federation

Published quarterly. 29th year of publication

Format 60x84 1/8. Circulation 1000 copies

Prod. order № 6. Wordage 196 pages. Price 257,40 rub.



## **Вниманию авторов!**

Международный журнал «Программные продукты и системы» публикует материалы научного и научно-практического характера по новым информационным технологиям, результаты академических и отраслевых исследований в области использования средств вычислительной техники. Практикуются выпуски тематических номеров по искусственному интеллекту, системам автоматизированного проектирования, по технологиям разработки программных средств и системам защиты, а также специализированные выпуски, посвященные научным исследованиям и разработкам отдельных вузов, НИИ, научных организаций.

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Министерства образования и науки РФ международный журнал «Программные продукты и системы» внесен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Информация об опубликованных статьях по установленной форме регулярно предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в CrossRef и готовится для передачи в международные базы цитирования.

## **Условия публикации**

К рассмотрению принимаются ранее нигде не опубликованные материалы, соответствующие тематике журнала (специализация 05.13.XX – Информатика, вычислительная техника и управление) и отвечающие редакционным требованиям.

Работа представляется в электронном виде в формате Word. При обилии сложных формул обязательно наличие статьи и в формате PDF. Формулы должны быть набраны в редакторе формул Word (Microsoft Equation или MathType). Объем статьи вместе с иллюстрациями – не менее 10 000 знаков. Диаграммы, схемы, графики должны быть доступными для редактирования (Word, Visio, Excel). Все иллюстрации для полиграфического воспроизведения представляются в черно-белом варианте. Цветные, тонированные, отсканированные, не подлежащие редактированию средствами Word рисунки и экранные формы следует присылать в хорошем качестве для их дополнительного размещения на сайте журнала в макете статьи с доступом по ссылке. (Публикация материалов с использованием гипертекста, графики, аудио-, видео-, программных средств и др. возможна в электронном издании «Программные продукты, системы и алгоритмы», сайт [www.swsys-web.ru](http://www.swsys-web.ru).) Заголовок должен быть информативным; сокращения, а также терминологию узкой тематики желательно в нем не использовать. Количество авторов на одну статью – не более 4, количество статей одного автора в номере, включая соавторство, – не более 2. Список литературы (оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008), наличие которого обязательно, должен включать не менее 10 пунктов.

Необходимы также аннотация (не менее 200 слов), ключевые слова (7–10) и индекс УДК. Название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть переведены на английский язык (машинный перевод недопустим), а фамилии авторов, названия и юридические адреса организаций (если нет официального перевода), приставительные списки литературы – транслитерированы по стандарту BGN/PCGN.

Вместе со статьей следует прислать отзыв-рекомендацию в произвольной форме, экспертное заключение, лицензионное соглашение, а также сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, название и юридический адрес организации, должность, ученые степень и звание (если есть), контактный телефон, электронный адрес, почтовый адрес для отправки бесплатного авторского экземпляра журнала.

## **Порядок рецензирования**

Все статьи, поступающие в редакцию (соответствующие тематике и оформленные согласно требованиям к публикации), подлежат обязательному рецензированию в течение месяца с момента поступления.

В редакции есть устоявшийся коллектив рецензентов, среди которых члены международной редколлегии журнала, эксперты из числа крупных специалистов в области информатики и вычислительной техники ведущих вузов страны, а также ученые и специалисты НИИ «Центрпрограммсистем» (г. Тверь).

Рецензирование проводится конфиденциально. Автору статьи предоставляется возможность ознакомиться с текстом рецензии. При необходимости статья отправляется на доработку.

Рецензии обсуждаются на заседаниях рабочей группы, состоящей из членов научного совета журнала. Заседания проводятся раз в месяц в НИИ «Центрпрограммсистем» (г. Тверь), где принимается решение о целесообразности публикации статьи.

Статьи, одобренные редакционным советом, публикуются бесплатно в течение года с момента одобрения, а отправленные на доработку – с момента поступления после устранения замечаний.

Редакция международного журнала «Программные продукты и системы» в своей работе руководствуется сводом правил Кодекса этики научных публикаций, разработанным и утвержденным Комитетом по этике научных публикаций.

УДК 359.656.052.1

Дата подачи статьи: 25.12.15

DOI: 10.15827/0236-235X.113.051-055

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ КОРАБЛЕЙ

*А.Г. Кушнарёв, к.т.н., профессор, главный научный сотрудник, komandor.99@mail.ru  
(НИИ «Центрпрограммистем» (филиал в г. Санкт-Петербурге),  
Октябрьская наб., 6б, г. Санкт-Петербург, 193091, Россия);*

*В.А. Михальский, д.т.н., доцент, научный сотрудник, komandor.99@mail.ru  
(ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,  
Малоохтинский просп., 80/2, г. Санкт-Петербург, 195112, Россия)*

Рассмотрены способы расчета параметров и показателей навигационной безопасности плавания кораблей. Показано, что способ, реализованный в Мореходных таблицах МТ-2000 и Инструкции по навигационному оборудованию ИНО-2000, устарел, содержит методические неточности и имеет низкую эффективность. Подобные недостатки характерны и для кораблевождения в целом. Авторами предложено разработать Правила решения вероятностных задач кораблевождения, в которых должны быть устранены отмеченные неточности, а также комплексный учебник по методам решения вероятностных задач кораблевождения, охватывающий разделы нескольких учебных дисциплин с дальнейшей алгоритмизацией правил для их машинной реализации.

**Ключевые слова:** навигационная безопасность плавания, показатели, безопасное расстояние, закон распределения, средняя квадратическая, предельная, погрешности, граница навигационной опасности, кораблевождение, эксцесс, квантиль, интервал корреляции.

В настоящее время, несмотря на оснащение флота высокоточными средствами навигации, а также эффективными средствами наблюдения и связи, остается актуальной проблема *навигационной безопасности плавания* (НБП) кораблей ВМФ. Подтверждение этому – катастрофа лайнера «Коста Конкордия», на котором, по-видимому, показатели НБП вообще не определялись ни ручным способом, ни в автоматическом режиме.

О том, что только высокоточных средств навигации без оценки показателей НБП для ее обеспечения недостаточно, говорит и навигационная аварийность прекрасно оснащенных кораблей ВМФ США и НАТО. В 2005–2007 гг. зафиксированы, например, посадка на мель крейсера «Порт Ройал», столкновения с подводными скалами атомных подводных лодок «Сьюперб», «Сан-Франциско», «Рубин».

Для ВМФ проблема НБП стоит еще более остро, так как в данном случае речь идет о *навигационной безопасности в условиях боевых действий* (НББД). При этом, во-первых, предъявляются более высокие требования к вероятности ее обеспечения и, во-вторых, этот вид обеспечения навигационной безопасности проявляется в мирное время только как НБП и поэтому несет в себе достаточно серьезную скрытую угрозу. В таблице 1 приведены результаты анализа условий, в которых происходили навигационные аварии боевых кораблей ВМФ СССР. Видно, что 80 % из них произошло при плавании вблизи берега, а 56 % – в пункте собственного базирования или на ближних подходах к нему. На такие же условия в ММФ СССР приходилось 85 % аварий [1].

Проблема обеспечения НБП в современном кораблевождении заключается в том, что существующий

метод определения показателей НБП содержит, как выяснилось, некоторые методические неточности (ошибки), которые могут привести, особенно в боевых условиях, к непредсказуемым последствиям.

Таблица 1  
Распределение аварийных происшествий  
по условиям плавания, %

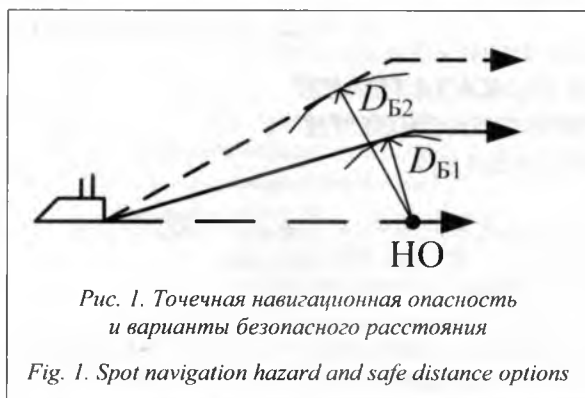
Emergency incidents distribution  
according to navigating conditions, %

Пункт базирования	Малознакомый порт	Открытое море	Видимость		Время суток	
			плохая	хорошая	ночь	день
56	24	20	77	23	42	58

Так, обеспечение НБП включает несколько крупных задач, одна из которых состоит в правильном определении и оценке ее показателей. Эта задача решается штурманской службой ВМФ на основании руководящих документов и инструкций [2–4], которые содержат одни и те же методические ошибки, заключающиеся в неправильном определении аргументов основного показателя НБП и принятии в качестве основного закона распределения для решения задач НБП нормального (закона Гаусса).

Покажем влияние этих неточностей на примере задачи обхода точечной навигационной опасности (минной банки). При этом, как известно, значения вероятностей одного и того же события, рассчитанные с использованием разных законов распределения, значительно различаются, что влечет за собой и различия в расчетах показателей этого события.

Основным показателем НБП является безопасное (минимально допустимое) расстояние  $D_B$  (на рисунке 1 –  $D_{B1}$  (для закона распределения Гаусса)



и  $D_{Б2}$  (для закона распределения Лапласа)) от боевого корабля или от линии его пути до *навигационной опасности* (НО), соответствующее заданной вероятности  $P_{зд}$  НБП (некасаения кораблем границы НО или приближения к ней на некоторое установленное или принятое расстояние  $D_{зр}$ ).

Безопасное расстояние, откладываемое от линии пути корабля (борта), в соответствии с документами [2–4] ( $D_{Б1}$ ) рассчитывается как произведение *среднеквадратической погрешности* (СКП) места корабля по оси, направленной на НО ( $m_{МК}$ ), при этом, когда точность места корабля характеризуется радиальной СКП  $M_{МК}$ , рекомендовано при-

нимать  $m_{МК} = \frac{M_{МК}}{\sqrt{2}}$ , и коэффициента перехода от

СКП к предельной погрешности для закона распределения Гаусса (Г) и заданной вероятности  $P_{зд}$  ( $K_{р\Gamma}(P_{зд})$ ) по формуле

$$D_{Б1} = K_{р\Gamma}(P_{зд}) m_{МК} = \hat{m}_{МК}, \quad (1)$$

в конечном итоге определяющей предельную погрешность места корабля по направлению на НО ( $\hat{m}_{МК}$ ).

В выражении (1) оба аргумента, и  $K_{р\Gamma}(P_{зд})$ , и  $m_{МК}$ , в общем случае неточны (ошибочны). Докажем это.

1. Еще в работе [5] содержалось предложение использовать для решения задач НБП закон распределения Лапласа (Л) «как обеспечивающий более осторожные оценки» величины  $D_{Б}$ . Однако это предложение не было подтверждено экспериментальными данными и не было уточнено понятие осторожности оценки НБП.

При подготовке Методик вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ [6] были исследованы 44 совокупности эмпирических распределений погрешностей оценок большинства *навигационных параметров* (НП) в различных условиях плавания с привлечением свыше 32 тысяч независимых измерений (для сравнения: в классическом учебнике [7] рекомендуется при изучении закона распределения одного НП произвести не менее 100 измерений).

Результаты исследования этих распределений показали, что закон Гаусса обеспечит решение задачи НБП на кораблях с некоторым запасом только

в 14 % случаев, а в остальных 86 % – со значительным недостатком. Закон Лапласа, наоборот, в 88 % случаев обеспечивает решение с запасом и только в 12 % – с незначительным недостатком. Если, например, погрешности места корабля подчиняются закону Лапласа и кораблю при  $P_{зд}=0,997$  (обход минной банки) следует пройти на расстоянии  $D_{Б2}$ , а расчеты безопасного расстояния выполняются на основании закона Гаусса, то корабль пройдет на расстоянии  $D_{Б1}$ , то есть в 1,5 раза ближе к НО. Следовательно, при расчетах показателей НБП должен использоваться закон Лапласа, рабочая таблица которого имеется в Методиках [6].

2. Вторым аргументом в выражении (1) является СКП места корабля по направлению на НО  $m_{МК}$ . Традиционно в кораблевождении величины СКП  $m_{МК}$  и  $M_{МК}$  рассчитывают с использованием СКП навигационных параметров  $m_{НП}$  (включая параметры счисления). Величины  $m_{НП}$  определяются на испытаниях *морских средств навигации* (МСН), как правило, при ограниченной продолжительности наблюдений  $t_{Н}$  и числе независимых измерений  $N=1+t_{Н}/\tau_{К}$ , эквивалентном величине  $t_{Н}$ . Здесь  $\tau_{К}$  – интервал корреляции погрешностей МСН. Например, для навигационных комплексов новых типов и глобальных спутниковых систем в некоторых условиях  $\tau_{К}=5$  ч и при  $t_{Н}=72$  ч число  $N \approx 15$ .

Полученная в таких условиях экспериментальная оценка СКП  $m_{НП}$  является неточной величиной, качество которой характеризуется доверительным интервалом  $m_{НП,л} \leq m_{НП} \leq m_{НП,в}$ . Здесь  $m_{НП,л}$  и  $m_{НП,в}$  – нижняя и верхняя доверительные границы для СКП, а вероятность оценки  $m_{НП}$  равна примерно 0,5. Поэтому для достижения заданного уровня НБП в формуле (1) должна использоваться не «точечная» оценка  $m_{МК}$ , а ее верхняя доверительная граница  $m_{МК,в}$ , рассчитанная для заданной  $P_{зд}$  или установленной «доверительной» вероятности  $P_{дв}$  по формуле  $m_{МК,в} = K' m_{МК}$ . Здесь  $K'$  – коэффициент, выбираемый (табл. 2) для принятой доверительной вероятности, числа  $N$  и *закона распределения* (ЗР) погрешностей Лапласа (Л) или Гаусса (Г).

При  $N=15$  и  $P_{дв}=0,95, \dots, 0,997$  коэффициент  $K'=1,6, \dots, 2,3$ . Это значит, что при расчетах по формуле (1) корабль на рисунке 1 пройдет еще примерно вдвое ближе к НО, чем надлежит, а суммарная кратность недопустимого сближения с НО вследствие недостатков выражения (1) равна приблизительно 3 (при  $P_{зд}=0,997$ ).

3. Рассчитаем вероятность благополучного прохода корабля мимо НО (обеспечиваемую вероятность  $P_{об}$ ) при сближении корабля с нею в 3 раза против надлежащего расстояния для  $P_{зд}=0,997$  и допускаемом числе касаний границы НО  $n_{до} = 1000(1-P_{зд}) = 3$  на 1000 проходов кораблей вблизи НО. Квантиль вероятности 0,997 закона Лапласа  $K_{вЛ}(0,997) = 4,64$ ; квантиль искомой обеспечиваемой вероятности  $K_{вЛ}(P_{об}) = 4,64/3 = 1,55$ . По таблице односторонней функции распределения

Таблица 2

Значения коэффициента  $K'$  верхней доверительной границы для СКП

Table 2

The values of the coefficient  $K'$  of upper confidence limit for mean square error

ЗР, число $N$	Доверительная (заданная) вероятность $P_{дв}$							
	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99	0,997	0,999
Л, 10	-	-	1,348	1,606	1,842	2,285	2,575	-
Л, 20	-	-	1,239	1,320	1,511	1,764	1,993	-
Л, 50	-	-	1,155	1,213	1,328	1,453	1,552	-
Л, 100	-	-	1,089	1,138	1,209	1,277	1,341	-
Г, 10	1,192	1,239	1,304	1,476	1,650	2,094	2,360	2,750
Г, 20	1,136	1,168	1,210	1,282	1,370	1,567	1,770	1,850
Г, 50	1,084	1,105	1,133	1,174	1,212	1,270	1,400	1,450
Г, 100	1,060	1,074	1,092	1,125	1,146	1,184	1,260	1,300

закона Лапласа находим  $P_{об}=P_{л}(1,55)=0,928$ . Ожидаемое фактическое количество касаний НО  $n_{ф}=72$ . Результаты подобных расчетов для других  $P_{зд}$  приведены в следующем выводе:

$P_{зд}=0,997; n_{дл}=3$	$P_{зд}=0,99; n_{дл}=10$	$P_{зд}=0,95; n_{дл}=50$
$P_{об}=0,928; n_{дл}=72$	$P_{об}=0,885; n_{дл}=115$	$P_{об}=0,841; n_{дл}=159$

Таким образом, рассмотренные выше методические неточности метода определения показателей НБП могут привести к недопустимым ошибкам при обеспечении НББД. Положение усугубляется тем, что по формуле (1) вычисляют предельную погрешность места корабля  $\dot{m}_{МК}$ , которая используется при решении большинства вероятностных навигационно-тактических и некоторых стрельбовых задач ВМФ (например, задачи обеспечения ракетных стрельб, задач противоминных действий и др.). Поэтому эти задачи будут решаться с такими же ошибками. Для примера на рисунке 2 показаны круги рассеивания точки применения оружия с радиусами  $r_2$  и  $r$ , соответствующими законам распре-

деления погрешностей Лапласа и Гаусса. Поскольку в данном случае рассеивание происходит в двух плоскостях, число  $n_{ф}$  выходов точки пуска за пределы заданного радиуса  $n_{ф} > 2n_{ф}$ .

4. Выражение (1) содержит еще одну важную ошибку: в нем используются средняя квадратическая ( $m_{МК}$ ) и предельная ( $\dot{m}_{МК}$ ) погрешности места корабля, тогда как должны рассматриваться погрешности измеряемой величины – расстояния  $D$  между кораблем и НО:  $m_D^2 = m_{МК}^2 + m_{ПО}^2$  и  $\dot{m}_D = K_{Р1Л}(P_{зд})m_D$ . Здесь  $m_{ПО}$  – СКП положения границ НО, подробно рассмотренная в [6], а для районов с круто уходящими в воду берегами равная  $m_{ПО} = m_{пл} = C/1000$ , м, где  $m_{пл}$  – плановая СКП,  $C$  – знаменатель экваториального масштаба карты (бушпритной или электронной). Если прокладка ведется и расстояния измеряются на карте, то  $m_D^2 = m_{МК}^2 + m_{ПО}^2 + m_{ГР}^2$ , где  $m_{ГР} = C/2000$ , м – СКП графических построений на карте.

Посмотрим на примере, как влияет пренебрежение погрешностями положения границ НО и графических построений на результаты расчетов безопасного расстояния.

Пусть масштаб плана порта имеет  $C=10000$ , радиальная СКП обсервованного места по системе GPS в условиях спокойной ионосферы  $M_{ОМ}=5$  м, заданная вероятность НБП  $P_{зд}=0,99$  (допускаемое число чрезмерных сближений кораблей с НО  $n_{дл}=10$  на 1000 проходов кораблей мимо разных НО на рассчитанном безопасном расстоянии), односторонние коэффициенты предельного перехода  $K_{Р1Г}(0,99)=2,34$ ,  $K_{Р1Л}(0,99)=3,1$ .

Вычислим сначала безопасное расстояние по формуле (1):

$$D_{Б1} = \dot{m}_{МК} = \frac{M_{МК}}{\sqrt{2}} K_{Р1Г}(P_{зд}) = 8,2 \text{ м.}$$

Затем определим предельные погрешности места корабля, положения границ НО и графических построений на карте при законе распределения



Рис. 2. Круги рассеивания при законах Лапласа ( $r_2$ ) и Гаусса ( $r$ )

Fig. 2. Followed dissipation for the Laplace law ( $r_2$ ) and the Gauss law ( $r$ )



$$\text{Лапласа: } \dot{m}_{\text{МК}} = \frac{M_{\text{МК}}}{\sqrt{2}} K_{\text{PIГ}}(P_{\text{зд}}) = 11 \text{ м,}$$

$$\dot{m}_{\text{НО}} = K_{\text{PIГ}}(P_{\text{зд}}) m_{\text{ш}} = 3,1 \times 10 = 31 \text{ м,}$$

$$\dot{m}_{\text{П}} = 1,7C/2000 = 8,5 \text{ м}$$

и безопасное расстояние с учетом погрешности измерения дистанции:

$$D_{\text{Б2}} = \dot{m}_D = (11^2 + 31^2 + 8,5^2)^{0,5} = 34 \text{ м.}$$

Это в четыре раза больше, чем полученное по формуле (1).

Линия пути корабля при плавании в тесной узкости для обеспечения навигационной безопасности с вероятностью 0,99 должна быть проложена на расстоянии  $D_{\text{Б2}} - l = 34 \text{ м}$  от границы НО. Однако при расчетах по рекомендациям руководящих документов [3–5] корабль должен пройти всего лишь в  $D_{\text{Б1}} = 8,2 \text{ м}$ , то есть в  $k=4,1$  раза ближе, чем надлежит, или на нормированном расстоянии (применительно к закону Гаусса)  $D_{\text{Н}} = 2,34/4,1 = 0,57$ , чему соответствуют реально обеспечиваемая вероятность  $P_{\text{об}} = 0,716$  и фактически возможное число касаний грунта  $n_{\text{Ф}} = 284$  (вместо допускаемых 10) на 1 000 проходов кораблей.

Рассмотренные в примере расстояния, измеряемые 10–30 метрами, не выглядят угрожающе, а их разница компенсируется навигационным оборудованием гавани и бдительностью людей, участвующих в управлении кораблем.

Но, во-первых, это никому не дает права решать задачи НБП заведомо неточно – лучше их вообще не решать. Во-вторых, навигационные аварийные происшествия с кораблями и судами в стесненных условиях плавания по-прежнему происходят. В-третьих, не так далеко время, когда для исключения влияния человеческого фактора основной станет автоматизированная проводка корабля при плавании в узкостях, и тогда верность расчетов показателей НБП станет решающим фактором.

Кроме того, подобные расчеты для плавания подводных лодок с современным навигационным комплексом по карте с масштабом  $C=200\ 000$  при  $P_{\text{зд}}=0,99$  приводят к значениям  $P_{\text{об1}}=0,840$  и  $n_{\text{Ф1}}=160$ . Это уже очень важный показатель, особенно с учетом стоящих задач длительного скрытого плавания подводных лодок в своих территориальных водах на небольших расстояниях от НО.

Таким образом, пренебрежение погрешностями положения границ НО может привести к многократному (от 4,5 до 30 раз в зависимости от заданной вероятности) превышению количества случаев чрезмерного сближения кораблей с НО по сравнению с допускаемым числом.

5. Корректное решение задачи НБП состоит в том, что текущее или прогнозируемое расстояние  $D$  от точки корабля, из которой осуществляется управление его движением, до границы НО должно быть не менее суммы дистанций безопасной ( $D_{\text{Б}}$ ) и запаса ( $D_{\text{ЗР}}$ ), то есть отвечать условию, предложенному в Методиках вероятностных расчетов при ре-

шении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ [6]. При этом безопасная дистанция определяется как произведение средней квадратической погрешности определения расстояния  $D$  ( $m_D$ ), коэффициента верхней доверительной границы для СКП при доверительной вероятности  $P_{\text{дв}}(K_h(P_{\text{дв}}))$  и коэффициента предельного перехода от СКП к предельной погрешности для закона распределения Лапласа ( $K_{\text{PIГ}}(P_{\text{зд}})$ ), являясь, таким образом, предельной погрешностью определения расстояния  $D$  ( $\dot{m}_D$ ), а дистанция запаса как запас расстояния ( $D_{\text{ЗР}}$ ) складывается из нескольких составляющих  $d_j$ , позволяющих связать задачу НБП с задачами маневрирования и управления кораблем, учесть влияние его размерений, гидрометеорологических и других факторов, выделенных в [8]. В частности,  $d_1$  всегда равна наибольшей ширине корабля ( $B$ ).

Таким образом, формально условие, которому должно отвечать прогнозируемое расстояние  $D$ , записывается в следующем виде:

$$D \geq D_{\text{Б}} + D_{\text{ЗР}}; D_{\text{Б}} = K_h(P_{\text{дв}}) m_D K_{\text{PIГ}}(P_{\text{зд}}) = \dot{m}_D;$$

$$D_{\text{ЗР}} = \sum d_j. \quad (2)$$

6. Современное кораблевождение имеет еще ряд ошибочных решений, занижающих СКП  $m_{\text{МК}}$  и предельные погрешности  $\dot{m}_{\text{МК}}$  и  $\dot{m}_D$  и дающих сомнительные результаты в навигационно-тактических и стрельбовых задачах. Сюда относятся отсутствие или не отвечающее современности качество моделей СКП всех видов счисления, включая инерциальное, использование вместо предельной погрешности  $\dot{m}_{\text{НП}}$  точечной оценки максимальной погрешности, проверка точности МСН на государственных испытаниях по не совсем корректным критериям и др.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

Способ расчета показателей НБП, реализованный в Мореходных таблицах МТ-2000 и в Инструкции по навигационному оборудованию ИНО-2000, устарел и содержит значительные методические ошибки, что при расчетах показателей НБП зачастую приводит к абсурдным результатам и может повлечь катастрофические последствия.

Кроме того, использование Мореходных таблиц для расчетов показателей НБП должно осуществляться с осторожностью и учетом возможных неточностей (целесообразно увеличивать полученные данные в 2–4 раза). Вместо них необходимо разработать и издать новый документ, в котором адекватно решались бы проблемы навигационно-боевой безопасности плавания кораблей.

Вскрытые в статье ошибки и упомянутые недостатки касаются и других основных задач кораблевождения (навигационно-тактических и стрельбовых) и значительно понижают эффективность навигационно-гидрографического обеспечения боевой и повседневной деятельности ВМФ.

Кораблевождение остро нуждается в модернизации. На взгляд авторов, следует разработать и издать правила решения вероятностных задач кораблевождения, для освоения которых потребуется разработка комплексного учебника по методам решения вероятностных задач кораблевождения, охватывающего разделы нескольких учебных дисциплин, и алгоритмов для машинной реализации правил.

Отметим, что в статье использовано несколько новых для кораблевождения терминов (экссесс, квантиль, интервал корреляции погрешности, закон распределения Лапласа, доверительный интервал и др.). Обойтись без них в теории современного кораблевождения невозможно, поэтому перед кафедрами математики военно-морских вузов необходимо поставить задачу изучения или пояснения соответствующих величин.

### Литература

1. Юдович А.Б. Предупреждение навигационных аварий морских судов. М.: Транспорт, 1988. 224 с.
2. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000). СПб: Изд-во ГУНиО, 2002. 218 с.
3. Емец К.А., Груздев Н.М., Михальский В.А. [и др.]. Мореходные таблицы МТ-2000. СПб: Изд-во ГУНиО МО РФ, 2002. 575 с.
4. Груздев Н.М. Безопасность плавания. СПб: Изд-во СПб ВМИ, 2002. 221 с.
5. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. М.: Транспорт, 1989. 230 с.
6. Михальский В.А., Рябоконт В.А. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ. СПб: Изд-во ГУНиО, 1999. 218 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
8. Михальский В.А., Смирнов М.Ю., Сперанский К.С. Об автоматическом обеспечении навигационной безопасности плавания // Приоритеты развития и инновации морской деятельности (НО-2011): тр. VII Рос. науч.-технич. конф. СПб: Изд-во ГНИНГИ, 2011. С. 116–122.

DOI: 10.15827/0236-235X.113.051-055

Received 25.12.15

## THE PROBLEMS OF SHIP NAVIGATION SAFETY ASSESSMENT INDICATORS

**Kushnarev A.G.**, Ph.D. (Engineering), Professor, Chief Researcher, komandor.99@mail.ru (St. Petersburg Branch of the R&D Institute Centerprogramsystem, Oktyabrskaya Quay 6b, St. Petersburg, 193091, Russian Federation);

**Mikhalsky V.A.**, Dr.Sc. (Engineering), Associate Professor, Research Associate, komandor.99@mail.ru (N.G. Kuznetsov Military Academic Center of the Navy "The Naval Academy", Maloochtinsky Ave. 80/2, St. Petersburg, 195112, Russian Federation)

**Abstract.** The article describes calculation methods of ship navigational safety parameters and indicators. It shows that the method implemented in navigational tables MT-2000 and the Instruction for navigation equipment INO-2000 is outdated. It contains methodological inaccuracies and has low efficiency. Such shortcomings are typical for ship navigation in general. The authors suggested developing the Rules of solving navigation probabilistic problems without marked discrepancies. They also suggested creating an integrated textbook, which should contain methods for solving navigation probability problems and cover sections of several disciplines to further algorithmization of rules for their machine implementation.

**Keywords:** sailing navigation safety, performance, safe distance, the law of distribution, mean square, limit, error limit of navigational hazard, sailing, kurtosis, quantile, correlation interval.

### References

1. Yudovich A.B. *Preduprezhdenie navigatsionnykh avaryi morskikh sudov* [Preventing Navigation Accidents of Marine Vessels]. Moscow, Transport Publ., 1988, 224 p.
2. *Instruktsiya po navigatsionnomu oborudovaniyu (INO-2000)* [The Instruction on Navigation Equipment (INO-2000)]. St. Petersburg, GUNiO Publ., 2002, 218 p.
3. Emets K.A., Gruzdev N.M., Mikhalsky V.A. *Morekhodnye tablitsy MT-2000* [Navigational Tables MT-2000]. St. Petersburg, GUNiO MO RF Publ., 2002, 575 p.
4. Gruzdev N.M. *Bezopasnost plavaniya* [Sailing Safety]. St. Petersburg, SPb VMI Publ., 2002, 221 p.
5. Kondrashihin V.T. *Opredelenie mesta sudna* [Vessel Location Determination]. Moscow, Transport Publ., 1989, 230 p.
6. Mikhalsky V.A., Ryabokon V.A. *Metodiki veroyatnostnykh raschetov pri reshenii navigatsionnykh zadach na korablyakh i sudakh VMF* [Probabilistic Calculations Methods When Solving Navigation Problems on Vessels]. St. Petersburg, GUNiO Publ., 1999, 218 p.
7. Venttsel E.S. *Teoriya veroyatnostey* [The Theory of Probabilities]. Moscow, Nauka Publ., 1969, 576 p.
8. Mikhalsky V.A., Smirnov M.Yu., Speransky K.S. On automatic support of sailing navigation safety. *Priorytety razvitiya i innovatsii morskoy deyatel'nosti (NO-2011): tr. VII Ros. nauch.-tekhnich. konf.* [Proc. of the 7<sup>th</sup> Science and Practice Conf. "Development Priorities and Innovations of Maritime Activities (NO-2011)"]. St. Petersburg, GNINGI Publ., 2011, pp. 116–122 (in Russ.).