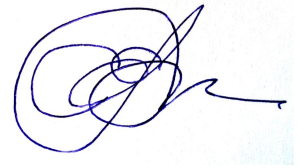


На правах рукописи



Ермаков Сергей Владимирович

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ
ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА
НА НАВИГАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛАВАНИЯ СУДНА**

Специальность: 05.26.02 –
Безопасность в чрезвычайных ситуациях (в морской индустрии)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Калининград – 2018

Работа выполнена на кафедре судовождения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Бондарев Виталий Александрович**
кандидат технических наук, профессор кафедры судовождения ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Официальные оппоненты: **Гуменюк Василий Иванович**
доктор технических наук, профессор Высшей школы техносферной безопасности ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Логиновский Владимир Александрович
доктор технических наук, профессор кафедры навигации ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»

Ведущая организация: АО «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота» (АО «ЦНИИМФ»)

Защита состоится 18 декабря 2018 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 307.007.02 при ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: 236022, Калининградская обл., г. Калининград, Советский проспект, д. 1, ауд. 255.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» www.klgtu.ru _____ и на официальном сайте ВАК Министерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru> _____

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 307.007.02



Н.Ю. Бугакова

Общая характеристика работы

Актуальность темы. За последние пятнадцать лет интенсивность хозяйственной деятельности на морских коммуникациях значительно возросла, постоянно увеличивается тоннаж мирового флота, растут скорости судов. Так, тоннаж танкерного флота за указанный период вырос на 80%.

Вместе с тем, остается нерешенной проблема аварийности. По данным Европейского агентства морской безопасности (EMSA) количество морских аварий и инцидентов в период с 2011 по 2016 год выросло на 60% – с 2000 до 3200 случаев. При этом агентство прогнозирует дальнейший рост аварийности до 4000 случаев. Увеличилось и количество судов, становившихся участниками аварий и инцидентов – с 2300 судов (2011 г.) до 3500 (2016 г.). Не менее 10% из приведенного числа судов – это танкеры и газовозы, т.е. потенциально опасные объекты морской индустрии, для которых участие даже в незначительной аварии сопряжено с высоким риском чрезвычайной ситуации (ЧС). Такие ЧС часто носят глобальный характер, а ликвидация их последствий занимает многие годы.

В число признаков, определяющих чрезвычайную ситуацию, в соответствии с ГОСТ Р 22.0.02-2016 входят источник ЧС, а также реальный или потенциальный вред здоровью людей, имуществу и окружающей среде. Самым распространенным источником чрезвычайных ситуаций на морских судах являются навигационные аварии. В совокупности столкновения судов, навалы и посадки на мель составляют не менее 80% от всего количества аварий на море. Вместе с тем, за 2011-2016 гг. по данным EMSA в авариях на море погибли 598 человек, а 5607 получили различные травмы. В половине случаев человеческие жертвы стали следствием навигационных аварий. За тот же период было зафиксировано 360 случаев загрязнения окружающей среды, из которых 320 – это загрязнения моря нефтепродуктами с судов. Большинство аварий, которые привели к чрезвычайным ситуациям с загрязнением, были также навигационными.

В свою очередь, самой распространенной причиной навигационных аварий, присутствующих в 80% от их числа, являются ошибки судоводителя. Таким образом, именно человеческий элемент эрготехнической системы «судоводитель – судно – среда» в основном определяет риск чрезвычайной ситуации на морских судах. Следовательно, прогнозированием и минимизацией негативно-

го влияния человеческого элемента на навигационную безопасность судна можно снизить риск ЧС.

Однако задача минимизации риска ЧС может быть решена только посредством обоснования и внедрения эффективных процедур управления риском, перечень которых включает в себя идентификацию и прогнозирование (оценку) риска, выявление его факторов, обоснование и реализация мер по изменению состояния этих факторов. Цель указанных мер – достижение такого минимального риска ЧС, который только возможен при существующих обстоятельствах и условиях плавания. Они могут быть направлены как на снижение вероятности возникновения чрезвычайной ситуации, так и на уменьшение её последствий.

Таким образом, научная задача по развитию методологии управления риском чрезвычайной ситуации в эрготехнических системах «судоводитель – судно – среда» является *актуальной*.

Степень разработанности темы. Наибольший вклад в исследование проблем навигационной безопасности внесли такие учёные, как Ф.М. Кацман, А.Е. Сазонов, С.В. Смоленцев, В.Д. Клименко, М.Л. Маринов, А.А. Даниленко, М.А. Котик, В.А. Голиков, В.А. Туркин, В.В. Вейхман, М. Celik, S. Cebi, J.R. Harrald, T.A. Mazzuchi, J. Spahn, D. R. Van, J. Merrick, S. Shrestha, M. Grabowski, C. Hetherington, R. Flin, K. Mearns, C. Macrae, M.R. Martins, M.C. Maturana, W. O’Neil, Y.T. Xi, W.J. Chen, Q.G. Fang, S.P. Hu, Y. Zhang, Y. Zhan, Q. Tan и другие. Практически на каждой рабочей сессии Комитета по безопасности на море Международной морской организации (ИМО) рассматриваются вопросы, касающиеся человеческого фактора.

Однако необходимо констатировать, что общепризнанных методов оценки вероятности возникновения ЧС на морских судах в настоящее время не существует. Таким образом, методология управления риском чрезвычайных ситуаций на море имеет недостатки, препятствующие осуществлению процедуры управления. Данные недостатки стали источником *противоречий* между необходимостью минимизации риска возникновения чрезвычайных ситуаций на морских судах с одной стороны и недостаточной развитостью соответствующей методической базы с другой.

Морские суда осуществляют свою деятельность в агрессивной среде. Состояние этой среды и сложность навигационной ситуации могут меняться в

широком диапазоне. Такую же динамику имеет и вероятность возникновения чрезвычайной ситуации, источником которой является навигационная авария. Вместе с тем, в деятельности эрготехнической системы «судно – судоводитель – среда» ключевое место занимает человеческий элемент – судоводитель, непосредственно отвечающий за безопасность мореплавания. Его грамотные решения и действия могут предотвратить чрезвычайную ситуацию. Наоборот, ошибка в судовождении, совершенная в тех же условиях, может привести к возникновению ЧС. Таким образом, для минимизации риска чрезвычайной ситуации, источником которой является навигационная авария, первоначально необходимо оценить влияние человеческого фактора на безопасность мореплавания. В связи с этим, *гипотеза* исследования была сформулирована следующим образом: вероятность чрезвычайной ситуации на морских судах, которая может возникнуть вследствие навигационной аварии, и вероятность навигационной аварии, функционально зависимы от эффективности взаимодействия элементов эрготехнической системы «судно – судоводитель – среда».

Цель диссертационного исследования – разработка методической базы для оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации при судовождении и принятия решений по управлению риском, учитывающей состояние и взаимодействие элементов эрготехнической системы «судоводитель – судно – среда».

Реализация поставленной цели обусловила необходимость решения следующих *задач*:

- формирование методологической основы управления риском чрезвычайных ситуаций в морском судовождении;
- формализация навигационной ситуации и систематизация ее структуры;
- экспертное оценивание сложности различных навигационных ситуаций и значимости компонент навигационной ситуации для различных акваторий плавания с целью разработки метода формализованной оценки сложности;
- разработка матрицы экстремальности, обоснование ее практических приложений.

Объект исследования – эрготехническая система, включающая в себя морское судно, как управляемый подвижный потенциально опасный морской объект, человеческий элемент – судоводителя и среду, в которой судно осуще-

ствяет навигацию.

Предмет исследования – оценка вероятности возникновения чрезвычайной ситуации при управлении риском ЧС в процессе морского судовождения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- впервые разработан метод формализованной оценки сложности навигационной ситуации, который позволяет по совокупности факторов, влияющих на навигационную безопасность, количественно и качественно определить уровень безопасности плавания в конкретной акватории;
- впервые разработан метод оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в морском судовождении; метод является основой для принятия решений по управлению риском ЧС;
- предложена концепция судовой автоматизированной системы прогнозирования чрезвычайных ситуаций;
- разработана математическая модель маневра последнего момента с пассивным фактором, отличающаяся от существующих учетом экстремальности навигационной ситуации.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы для выполнения поставленных задач использовались методы системного анализа, экспериментального исследования, экспертных оценок и математического моделирования.

На защиту выдвигаются следующие **результаты диссертационного исследования**:

- метод формализованной оценки сложности навигационной ситуации;
- метод оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в морском судовождении.

Практическая значимость результатов исследования заключается в обосновании различных организационных, технических и образовательных мероприятий по оперативному (во время рейса) и превентивному (на берегу) управлению риском чрезвычайных ситуаций, а именно:

- определение навигационных ситуаций, являющихся экстремальными для конкретного судоводителя, и в которых он в целях безопасности мореплавания и предупреждения ЧС не может и не должен нести ходовую навигационную вахту самостоятельно (без контроля), и обоснование соответствующего

щих кадровых решений в отношении вахты;

- формирование индивидуальных программ поэтапной подготовки, которые будут предусматривать тренажёрную отработку действий судоводителя в конкретных навигационных ситуациях;
- использование матрицы экстремальности в алгоритме систем поддержки принятия решения;
- оценка сложности и экстремальности навигационных ситуаций при расследовании морских аварий и инцидентов;
- использование в учебном процессе для более глубокого понимания содержания терминов «человеческий фактор», «навигационная ситуация», «экстремальная ситуация», «чрезвычайная ситуация», «безопасность мореплавания».

Теоретическая значимость результатов исследования:

- расширена теория риска на море;
- дополнены и согласованы понятийно-терминологический аппарат, теория и методология направлений науки, касающихся управления риском чрезвычайных ситуаций на море и эксплуатации морского транспорта.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертационной работы внедрены в производственную деятельность ООО «Морская звезда» – рыбопромышленной компании, являющейся владельцем и оператором крупнотоннажных рыбопромысловых судов, а также в учебный процесс посредством интеграции материалов работы в рабочую программу дисциплины «Основы прикладной теории риска», изучаемой на третьем курсе курсантами специальности 26.05.05 «Судовождение» ФГБОУ ВО «КГТУ».

Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждается их согласованностью с официальной статистикой аварийности морских судов, с результатами экспериментального исследования и экспертной оценки, а также практическим применением и апробацией.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования докладывались и получили одобрение на шести международных и трёх межвузовских конференциях, в том числе на VIII и XI Международных конференциях «Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона Балтийского моря: новые вызовы и ответы» (г. Светлогорск, 2010, 2011 гг.), на II Балтийском мор-

ском форуме (г. Светлогорск, 2014 г.), на X, XI и XIII межвузовских научно-технических конференциях аспирантов, соискателей и докторантов «Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров» (г. Калининград, 2009, 2010 и 2012 гг.), на международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании» (г. Одесса, 2012 г.), на международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» (г. Одесса, 2012 г.), на IX Международной научно-практической конференции «Теория и практика современной науки» (г. Москва, 2013 г.).

Личный вклад автора заключается в развитии и систематизации элементов теории и методологии управления риском чрезвычайных ситуаций в морской индустрии, разработанных в процессе исследования, в обосновании общей концепции и алгоритма метода оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в морском судовождении, а также в программной реализации метода и обосновании его практических приложений.

Диссертация *соответствует паспорту специальности* 05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях (в морской индустрии), поскольку область исследования включает теорию и методологию управления риском чрезвычайных ситуаций.

Публикации. Промежуточные и основные итоги и выводы исследования опубликованы в 23 статьях, из которых 11 в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ. Две программы для ЭВМ, разработанные в процессе исследования, прошли процедуру государственной регистрации.

Структура и объём работы. Общий объём диссертации, составляющий 208 страниц, включает в себя: содержание на трёх страницах, введение на восьми страницах, четыре главы на 168 страницах, заключение на трёх страницах, список сокращений и условных обозначений на трёх страницах, список литературы из 149 наименований на 17 страницах, четыре приложения на пяти страницах, 21 иллюстрацию и 27 таблиц.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы его цель и задачи, приводятся основные результаты работы, их теоретическая и практическая значимость, обоснована достоверность результатов исследования, приведены использованные методы исследования.

В первой главе дана общая характеристика концепции управления риском ЧС и идентифицированы препятствия для ее эффективной реализации на морских судах, проанализирована проблема учёта человеческого элемента эрготехнической системы «судоводитель-судно-среда» при управлении риском чрезвычайных ситуаций. В результате анализа нормативно-правовых документов, регламентирующих учёт человеческого фактора в мореплавании, и существующих методов оценки безопасности эрготехнических систем установлено, что ни один из множества предложенных отраслевых или универсальных методов вследствие различных недостатков не нашёл применения на практике.

Во второй главе сформированы следующие теоретико-методологические основы управления риском чрезвычайных ситуаций в процессе судовождения.

1. Морское судно представляет собой элемент Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) объектового уровня. Одновременно капитан, судовые силы (экипаж) и средства являются звеном этой системы. В свою очередь, анализ терминологии из области безопасности в ЧС позволил сделать вывод, что действия по обеспечению навигационной безопасности плавания одновременно являются мероприятиями по предупреждению чрезвычайных ситуаций на море, источником которых являются навигационные аварии. При этом *навигационная авария представляет собой такой источник ЧС, который всегда и безусловно приводит к чрезвычайной ситуации.*

2. Мореплавание, как деятельность человека, сопряжена с возможностью появления экстремальных ситуаций. *Экстремальная ситуация в работе судоводителя* – это оцениваемая через призму его стрессоустойчивости совокупность быстро изменяющихся обстоятельств и условий плавания, несущих угрозу безопасности экипажа, судна и окружающей среды, обладающих свойством новизны для судоводителя и требующих от него максимального проявления его возможностей для принятия и исполнения адекватного ситуации решения с це-

лью минимизации ее негативных последствий и предотвращения чрезвычайной ситуации. Экстремальная ситуация является необходимым условием возникновения чрезвычайной ситуации. При этом экстремальная и чрезвычайная ситуации, являясь ситуациями опасными, одновременно не тождественны и, более того, не пересекаются. Граница между этими понятиями определяется навигационной аварией.

5. Навигационная безопасность плавания судна в конкретный момент времени определяется текущим состоянием и качеством результата на выходе системы «судоводитель в ситуации», а экстремальность этой системы (экстремальность навигационной ситуации) является следующей функцией двух аргументов:

$$E = f(CNS, HF), \quad (1)$$

где *CNS* – сложность навигационной ситуации (Complexity of Navigational Situation); *HF* – комплексный показатель, характеризующий качество принимаемых и исполняемых судоводителем решений (Human Factor).

Экстремальность навигационной ситуации (т.е. степень того, насколько эта ситуация является экстремальной) является оценкой вероятности возникновения чрезвычайной ситуации, источником которой является навигационная авария.

Формула (1) представляет собой методологическую основу для оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации при судовождении и принятия решений по управлению риском, учитывающей состояние и взаимодействие всех элементов эрготехнической системы «судоводитель – судно – среда».

В третьей главе разработан метод формализованной оценки сложности навигационной ситуации как аргумента функции (1).

На первом этапе разработки были проведены анализ содержания понятия «навигационная ситуация» и его формализация. В итоге, под *навигационной ситуацией*, в общем случае, необходимо понимать неповторимую совокупность мгновенных значений характеристик взаимосвязанных, субъективных и объективных компонент, имеющих отношение к навигационной безопасности плавания судна и открывающихся восприятию и деятельности судоводителя в определённый момент времени. Таким образом, навигационная ситуация представляет собой подсистему «судно – среда».

Анализ теории и практики судовождения позволил выделить следующий конечный ряд компонент навигационной ситуации: размеры акватории; глубина; оснащённость района средствами навигационного обеспечения; наличие надводных и подводных препятствий; скорость ветра; направление ветра относительно судна – курсовой угол ветра; сила волнения; направление волнения относительно судна – курсовой угол волнения; скорость течения; направление течения относительно судна – курсовой угол течения; видимость; ледовая обстановка; обледенение; интенсивность и плотность движения судов; характеристика опасных целей – компонента, которая объединяет в себе количество, курсы и скорости встречных судов; скорость судна; размеры судна; организационные компоненты – качество и количество правил (норм), особым образом регламентирующих плавание в отдельно взятом районе.

Вместе с тем, *типовой навигационной ситуацией* является совокупность значений характеристик всё тех же компонент в некоторый момент или отрезок времени. При этом каждое из значений принадлежит к своему конечному множеству.

В результате содержательного анализа компонент навигационной ситуации были сформированы конечные множества значений их характеристик. Принадлежность к конкретному множеству можно определить как по качественному, так и по количественному его описанию (пример для одной компоненты приведен в таблице 1).

Таблица 1 – Компоненты навигационной ситуации (выдержка)

	<i>Компоненты</i>	0	1	2	3	4
5	Скорость ветра	безветрие	слабый 1-3 балла	сильный 4-6 балла	крепкий 7-8 баллов	штормовой 9-12 баллов

Каждой компоненте соответствует от двух до пяти множеств. При этом, чем больше номер множества, к которому принадлежит текущее значение характеристики компоненты, тем сложнее навигационная ситуация (при прочих равных условиях).

В основу метода положен количественный критерий, выраженный сле-

дующим образом:

$$CNS = 1 - (1 - K_2) \cdot (1 - K_3) \cdot \dots \cdot (1 - K_{17}) \cdot (1 - K_{18}), \quad (2)$$

где $K_2, K_3, \dots, K_{17}, K_{18}$ – коэффициенты, определяемые состоянием соответствующей компоненты навигационной ситуации.

Навигационная ситуация, принципы её восприятия судоводителем в первую очередь определяются акваторией плавания судна. Таким образом, на акваториях различных видов (зоны открытого моря, прибрежного или стеснённого плавания) компоненты по-разному влияют на сложность навигационной ситуации (имеют различный вес). Исходя из этого, множитель с коэффициентом K_1 был исключён из базовой формулы (2). Таким образом, основной задачей при разработке метода формализованной оценки сложности навигационной ситуации было определение трёх наборов (по количеству видов акватории) по 54 базовых коэффициента, каждый из которых соответствует определённому множеству.

Для определения значения базовых коэффициентов автором проведено экспертное оценивание. Перед экспертами было поставлено две задачи ранжирования. Первая – по степени сложности двадцати навигационных ситуаций. Вторая – компонент навигационной ситуации по их значимости при определении сложности навигационной ситуации в акватории каждого вида.

В итоге многоступенчатой обработки результатов экспертного оценивания были получены значения базовых коэффициентов. Для примера в таблице 2 представлены значения базовых коэффициентов для одной из компонент.

Таблица 2 – Расчётные базовые коэффициенты

Номер компоненты	Вид акватории	Номер множества			
		1	2	3	4
5	j=1	0,040	0,081	0,121	0,161
	j=2	0,044	0,088	0,132	0,176
	j=3	0,037	0,073	0,110	0,147

Рассчитанное по выражению (2) значение CNS позволяет получить ещё одну количественную характеристику навигационной ситуации – ранг её сложности. Представляется она в десятибальной шкале (таблица 3).

Таблица 3 – Ранги сложности навигационной ситуации и их описание

CNS	Ранг сложности	Лингвистическое наименование рангов и общее описание навигационных ситуаций
от 0,95	10	Критически тяжёлые навигационные ситуации. Плавание судна опасно и нежелательно. Велика вероятность гибели судна.
от 0,85 до 0,95	9	Тяжёлые навигационные ситуации. Для обеспечения безопасности плавания от судоводителя требуется постоянная предельная концентрация внимания, максимальное проявление знаний, опыта и умения принимать нестандартные решения. Ошибка судоводителя, как правило, приводит к возникновению аварийной ситуации.
от 0,75 до 0,85	8	Навигационные ситуации средней тяжести (умеренные). Для обеспечения безопасности плавания от судоводителя требуется постоянная концентрация внимания, проявление знаний, опыта. Быстрые возвратные действия при совершении ошибки позволяют судоводителю не допустить возникновения аварийной ситуации.
от 0,65 до 0,75	7	Для обеспечения безопасности плавания от судоводителя требуется постоянная концентрация внимания, проявление знаний, опыта. Быстрые возвратные действия при совершении ошибки позволяют судоводителю не допустить возникновения аварийной ситуации.
от 0,55 до 0,65	6	Нормальные навигационные ситуации. Для обеспечения безопасности плавания судоводителю достаточно действовать в соответствии с общепринятыми алгоритмами, знания о которых получены во время теоретической подготовки. У судоводителя существует достаточно времени для исправления своей ошибки.
от 0,45 до 0,55	5	Лёгкие навигационные ситуации. Для обеспечения безопасности плавания от судоводителя требуется минимум стандартных действий. Ошибка судоводителя не критична.
от 0,35 до 0,45	4	Сверхлёгкие навигационные ситуации. Для обеспечения безопасности плавания от судоводителя, кроме надлежащего наблюдения, каких-либо действий не требуется.
от 0,25 до 0,35	3	
от 0,15 до 0,25	2	
до 0,15	1	

Для проверки достоверности метода было проведено экспертное оценивание, в процессе которого 10 экспертам было предложено с использованием таблицы 3 оценить по пять навигационных ситуаций. Одновременно для каждой из ситуаций по обоснованному методу произведен расчет ранга сложности. В итоге коэффициент ранговой корреляции между оценками экспертов и расчетными значениями составил 0,979, что свидетельствует о достоверности метода.

Кроме того, достоверность была подтверждена соответствием результатов применения метода данным по аварийности морских судов. Так, по информации EMSA из всех морских аварий, случившихся за период с 2011 по 2016 год,

около 55% произошло в зоне стесненного плавания, 28% – в зоне прибрежного моря, остальные – в открытом море. В процессе оценки достоверности была исследована динамика изменения сложности навигационной ситуации при плавании 37 судов по маршруту Балтийское море – Балтийские проливы – Северное море – пролив Ла-Манш – Атлантический океан. Для каждой зоны плавания были вычислены средние по времени значения сложности. В порядке убывания этих значений акватории плавания расположились следующим образом: «зона стесненного плавания – зона прибрежного плавания – открытое море». Очевидно, что таким же образом располагаются акватории и в порядке убывания количества аварий.

В четвёртой главе был разработан метод оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации при судовождении.

Для этого было предложено табличное (матричное) представление функции (1) в виде матрицы экстремальности (рисунок 1). При этом для оценки человеческого фактора (конкретнее – для оценки устойчивости человеческого элемента эрготехнической системы «судоводитель-судно-среда») использовалась одна из существующих методик – «Прогноз-2», представляющий результат оценки по десятибалльной шкале. Однако разработанный метод позволяет адаптировать к своему алгоритму любой другой существующий или потенциальный метод оценки человеческого элемента.

Оценка человеческого фактора	1	0,28	0,35	0,38	0,60	0,63	0,74	0,98	1,00	1,00	1,00
	2	0,25	0,32	0,35	0,54	0,58	0,68	0,90	0,94	0,95	0,97
	3	0,22	0,28	0,32	0,49	0,53	0,62	0,81	0,87	0,91	0,93
	4	0,19	0,24	0,29	0,43	0,48	0,57	0,71	0,81	0,86	0,9
	5	0,17	0,22	0,28	0,39	0,44	0,50	0,67	0,72	0,78	0,83
	6	0,14	0,19	0,24	0,33	0,38	0,43	0,57	0,67	0,71	0,76
	7	0,10	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,60	0,63
	8	0,08	0,11	0,18	0,22	0,29	0,33	0,40	0,46	0,53	0,56
	9	0,05	0,07	0,15	0,16	0,24	0,27	0,31	0,37	0,80	0,90
	10	0,02	0,04	0,12	0,15	0,19	0,21	0,23	0,28	0,90	1,00
<i>E</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Ранг сложности навигационной ситуации										

Рисунок 1 – Матрица экстремальности

С целью окончательного формирования матрицы кроме результатов экспе-

римента дополнительно были использованы спрогнозированные значения экстремальности. Они были получены при помощи результатов эксперимента статистическими методами. Кроме того, были учтены известные положения об отрицательном характере гиперустойчивости судоводителя.

В зависимости от значений E_{ij} матрица была разделена на три области:

- область однозначно экстремальных навигационных ситуаций (критическая, «красная» область), вероятность возникновения чрезвычайной ситуации высокая (на рисунке 1 – ячейки с темным фоном);
- область неоднозначно экстремальных навигационных ситуаций (буферная, промежуточная, «желтая» область), вероятность возникновения чрезвычайной ситуации средняя (на рисунке 1 – ячейки без фона);
- область однозначно неэкстремальных ситуаций (безопасная, «зеленая» область), вероятность возникновения чрезвычайной ситуации низкая (на рисунке 1 – ячейки со светлым фоном).

Способ представления данных в матрице экстремальности позволили отобразить ее графически и аппроксимировать следующим полиномом:

$$\begin{aligned}
 E(R, HF) = & \left(-1,2163R^3 + 13,749R^2 - 41,1817R + 17,9847\right) \cdot 10^6 \cdot HF^6 + \\
 & + \left(3,8296R^3 - 43,343R^2 + 129,811R - 54,474\right) \cdot 10^5 \cdot HF^5 + \\
 & + \left(-4,6161R^3 + 52,307R^2 - 156,485R + 62,146\right) \cdot 10^4 \cdot HF^4 + \\
 & + \left(2,6916R^3 - 30,537R^2 + 91,186R - 33,851\right) \cdot 10^3 \cdot HF^3 + \\
 & + \left(-0,7882R^3 + 8,9462R^2 - 26,633R + 9,1867\right) \cdot 10^2 \cdot HF^2 + \\
 & + \left(1,1168R^3 - 12,741R^2 + 37,509R - 15,59\right) \cdot 10^2 \cdot HF + \\
 & + \left(-0,82359R^3 + 10,33R^2 - 24,6R + 40,671\right) \cdot 10^2.
 \end{aligned}$$

Для оценки (проверки) достоверности разработанного метода оценки вероятности ЧС, основанного на матрице экстремальности был проведен контрольный (повторный) эксперимент на навигационном тренажёре. Объем выборки по отношению к основному эксперименту был увеличен в три раза, а ее содержание не имело пересечений с содержанием выборки, используемой при проведении основного эксперимента. Расхождение значений экстремальности, полу-

ченных при помощи матрицы и в результате контрольного эксперимента, было оценено среднеквадратической погрешностью, которая в итоге оказалась равна 0,04 (или 4%). При этом расхождений в качественной оценке вероятности ЧС обнаружено не было. Таким образом, результаты контрольного эксперимента подтверждают достоверность разработанного метода оценки вероятности ЧС.

Обоснованная матрица экстремальности даёт возможность определять, какие навигационные ситуации для конкретного судоводителя являются экстремальными как по рангу с определённой общей качественной характеристикой ситуаций, так и по конкретному перечню навигационных ситуаций ранга и представляет собой инструмент управления риском чрезвычайных ситуаций в морском судовождении.

Матрица позволяет, во-первых, идентифицировать ситуации, в которых судоводитель не может нести самостоятельную вахту на мостике (то есть должен работать под контролем). Тем самым, капитан судна будет иметь информационную базу для принятия кадровых решений в отношении ходовой навигационной вахты, т.е. для оперативного управления риском ЧС.

Во-вторых, матрица экстремальности даёт возможность превентивного управления риском чрезвычайных ситуаций посредством обоснования и реализации индивидуальных и типовых программ поэтапной подготовки. Эти программы будут предусматривать тренажёрную отработку действий судоводителя в конкретных навигационных ситуациях.

Алгоритм обоснованного метода и форма представления результатов её применения позволяет интегрировать матрицу экстремальности во многие процессы, связанные с судовождением и содержащие риск чрезвычайной ситуации.

Так, предлагается использовать матрицу экстремальности при прогнозировании маневра последнего момента (для определения минимальной дистанции $D_{мм}^E$ между судами, при которой его нужно начинать), используя для этого следующие обоснованные в процессе исследования формулы:

$$D_{мм}^E = \bar{D}_{мм} + \Delta D_{мм} + \frac{E(B + D_{без})}{\sin \gamma} \sqrt{1 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 - 2 \cdot \frac{v_b}{v_a} \cdot \cos \gamma}, \quad (3)$$

$$\bar{D}_{\text{мнм}} = \frac{3,688 \operatorname{tg}(\gamma/2) \Delta (50Ld_{cp} + 1,12L^2 + 28B^2) \sqrt{1 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 - 2\left(\frac{v_b}{v_a}\right) \cos \gamma}}{d_{cp}^2 \gamma^{0,2465} (L^2 + 25B^2) \left(1 + 0,1d_{cp}/h - 0,71(d_{cp}/h)^2\right)} \times$$

$$\times \left[-1519 \cdot \left(\frac{\Delta}{C_\delta L^2 d_{cp}}\right)^3 + 622,96 \left(\frac{\Delta}{C_\delta L^2 d_{cp}}\right)^2 - \frac{85,926\Delta}{C_\delta L^2 d_{cp}} + 4,3384 \right], \quad (4)$$

$$\Delta D_{\text{мнм}} = \begin{cases} 7B / \sin \gamma \sqrt{1 + (v_b/v_a)^2 - 2(v_b/v_a) \cos \gamma}, & \text{при } \gamma < 90^\circ, \\ 4B / \sin \gamma \sqrt{1 + (v_b/v_a)^2 - 2(v_b/v_a) \cos \gamma}, & \text{при } \gamma \geq 90^\circ, \end{cases} \quad (5)$$

где $D_{\text{без}}$ – заданная минимальная безопасная дистанция; v_a, v_b – скорости судна a , выполняющего маневр, и судна b ; Δ – массовое водоизмещение маневрирующего судна; L – длина маневрирующего судна по ватерлинии; B – ширина маневрирующего судна по ватерлинии; d_{cp} – средняя осадка маневрирующего судна; γ – угол пересечения курсов; h – глубина моря; C_δ – коэффициент полноты диаметральной плоскости маневрирующего судна; $\Delta D_{\text{мнм}}$ – поправку за ширину судов и их гидродинамическое взаимодействие при расхождении.

Также в процессе исследования обоснованы алгоритмы использования матрицы экстремальности при оценивании вероятности возникновения промаха в процессе измерения пеленга навигационного ориентира, а также при определении межсигнального периода в системе контроля дееспособности вахтенного помощника капитана.

Обоснованный метод имеет потенциал и во многих других секторах мореплавания. В частности, матрица экстремальности даст возможность лицам, проводящим расследование аварий на потенциально опасных морских объектах, количественно с учётом человеческого фактора оценить ситуацию, в которой произошло происшествие.

Ещё одной предполагаемой сферой применения предложенной матрицы и метода оценки вероятности возникновения ЧС, на ней основанном, является система поддержки принятия решений (СППР). Одним из вариантов реализации СППР является судовая автоматизированная система прогнозирования

чрезвычайной ситуации (САСПЧС, рисунок 2), концепция которой была разработана в процессе исследования. Кроме расчетного алгоритма, эта система включает в себя технические средства, необходимые для измерения текущих значений характеристик компонент навигационной ситуации (на рисунке 2 выделены пунктиром), и базы данных, которые формируются из различных источников для обеспечения системы информацией: метеорологической, информацией об интенсивности судоходства и пр.. САСПЧС даст возможность капитану судна как оперативно, так и заблаговременно спланировать мероприятия по минимизации вероятности возникновения чрезвычайной ситуации, источником которой является навигационная авария.

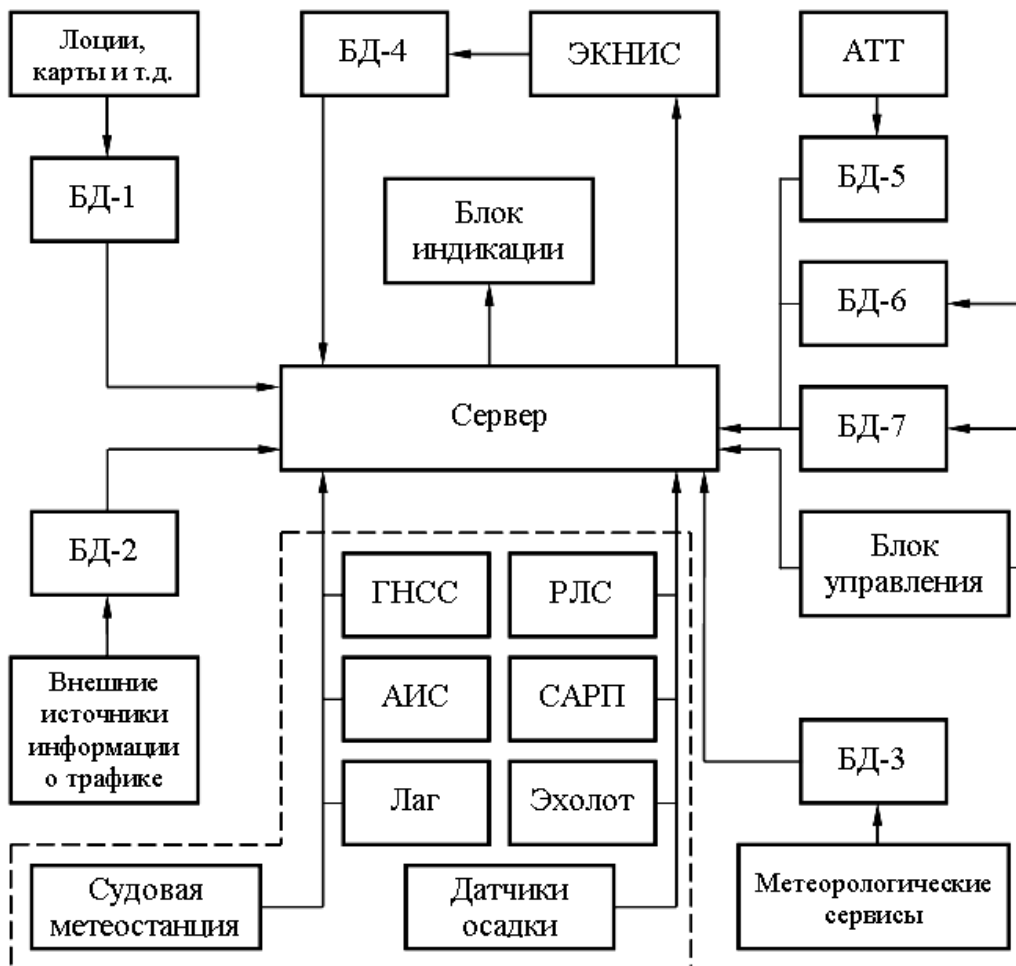


Рисунок 2 – Общая схема судовой автоматизированной системы прогнозирования чрезвычайной ситуации

Разработанный метод позволяет не только прогнозировать вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций при судождении, но и в целях управ-

ления риском ЧС на море формировать комплекс различных технических, организационных и образовательных мероприятий, направленных на предупреждение ЧС.

Структура и алгоритм метода позволили автоматизировать процесс определения экстремальности навигационной ситуации. В процессе исследования была разработана программа для ЭВМ, которая позволяет минимизировать ручную обработку информации и расчеты при определении сложности и экстремальности навигационной ситуации.

В заключении приведены следующие *научные результаты* исследований, проведенных в рамках диссертационной работы.

1. Доказано наличие устойчивой причинно-следственной связи «навигационная авария – чрезвычайная ситуация», т.е. навигационная авария является источником чрезвычайной ситуации, который всегда и безусловно приводит к её возникновению. При этом вероятность навигационной аварии и вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при судовождении равны.
2. Обосновано понятие «экстремальная ситуация в работе судоводителя».
3. Установлено, что понятие «опасная ситуация» является обобщающим к понятиям «экстремальная ситуация» и «чрезвычайная ситуация», которые являются не пересекающимися, но граничащими. При этом граница между экстремальной и чрезвычайной ситуацией определяется событием – навигационной аварией.
4. Обоснован критерий оценки вероятности возникновения ЧС на морском судне – экстремальность навигационной ситуации. Это величина функционально зависит от состояния элементов эрготехнической системы «судоводитель – судно – среда» (от человеческого фактора и сложности навигационной ситуации).
5. Формализовано понятие «навигационная ситуация». На основании структуры этого понятия и с использованием результатов проведенного экспертного оценивания разработан *метод формализованной оценки сложности навигационной ситуации*.
6. Разработана матрица экстремальности, предназначенная для оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации на морском судне. На основе матрицы экстремальности разработан соответствующий метод оценки. Со-

ставлена программа для ЭВМ, позволяющая автоматизировать расчёт экстремальности.

7. Предложена концепция судовой автоматизированной системы прогнозирования чрезвычайной ситуации.
8. Приведено обоснование практических приложений матрицы экстремальности: разработана математическая модель маневра последнего момента с пассивным фактором, учитывающая экстремальность; обоснованы алгоритмы использования матрицы в системе контроля дееспособности вахтенного помощника капитана и при оценивании вероятности возникновения промаха в процессе измерения пеленга навигационного ориентира.

Приведенные результаты диссертационного исследования позволяют констатировать, что надлежащее управление риском чрезвычайных ситуаций в морском судовождении обеспечивается применением разработанной в процессе исследования методической базы, которая является основой для формирования технических, организационных и образовательных мероприятий по превентивному и оперативному управлению риском ЧС.

**Научные статьи, опубликованные в ведущих периодических изданиях,
рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ
для публикации основных положений диссертации.**

1 Бондарев, В.А. Навигационная авария в контексте управления риском чрезвычайных ситуаций на море / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Проблемы анализа риска. – 2017. – Том 14. № 4. – С. 58-67 (1,2 п.л. / 0,9 п.л.).

2. Бондарев, В.А. Управление риском чрезвычайных ситуаций на основе прогнозирования и минимизации влияния человеческого фактора на навигационную безопасность плавания судна / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2017. – № 5. – С. 66-73 (1,0 п.л. / 0,7 п.л.). – 2017. – Том 16. № 4. – С. 699-703 (0,6 п.л.).

3 Бондарев, В.А. Человеческий фактор в контексте оценки вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в судовождении [Электронный ресурс] / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Вып. 5(45). – С.57-66. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-5/05-05-17.ttb.pdf> (1,1 п.л. / 0,7 п.л.).

4 Ермаков, С.В. Анализ системы «судоводитель в ситуации» / С.В. Ерма-

ков // Вестник МГТУ. – 2013. – Том 16. № 4. – С. 699-703 (0,6 п.л.).

5 Ермаков, С.В. Концепция матрицы экстремальности / С.В. Ермаков // В мире научных открытий. – 2012. – № 5.2(29) (Проблемы науки и образования). – С. 191-208 (1,1 п.л.).

6 Ермаков, С.В. Метод формализованной оценки сложности навигационной ситуации/ С.В. Ермаков // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – Вып. 4. – С. 26-31 (0,7 п.л.).

7 Ермаков, С.В. Опасная, экстремальная и чрезвычайная ситуации в судовождении [Электронный ресурс] / С.В. Ермаков, В.А. Бондарев // Вопросы безопасности. – 2017. – № 4. – С. 13-22. – Режим доступа: http://enotabene.ru/nb/article_23569.html (0,6 п.л. / 0,4 п.л.).

8 Ермаков, С.В. Превентивное регулирование человеческого фактора в морском судовождении / С.В. Ермаков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 5(39). – С. 39-50 (1,5 п.л.).

9 Ермаков, С.В. Психологическая устойчивость судоводителя как основная детерминанта влияния человеческого фактора на навигационную безопасность судна / С.В. Ермаков // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 5. – С. 14-19 (0,8 п.л.).

10 Ермаков, С.В. Формализация и содержание понятия «навигационная ситуация» / С.В. Ермаков // Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – № 4(70). – С. 17-21 (0,6 п.л.).

11 Ермаков, С.В. Экспертное оценивание как основа построения метода формализованной оценки сложности навигационной ситуации / С.В. Ермаков // Журнал университета водных коммуникаций. – 2013. – Вып. 2(18). – С. 122-128 (0,8 п.л.).

Научные статьи, опубликованные в российских и региональных периодических изданиях, журналах, сборниках статей, материалах научно-технических конференций.

12 Бондарев, В.А. Аналитический обзор методов оценки надёжности человека / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона Балтийского моря: новые вызовы и ответы. Материалы VIII Международной конференции. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2010. – С. 60-64 (0,6 п.л. / 0,4 п.л.).

13 Бондарев, В.А. Использование матрицы экстремальности для управления риском чрезвычайных ситуаций в судовождении [Электронный ресурс] / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – Том 3. № 3. – 14 с. – Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-BondarevErmakov.pdf> (1,6 п.л. / 1,1 п.л.).

14 Бондарев, В.А. Матрица экстремальности / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров: материалы тринадцатой межвузовской научно-технической конференции аспирантов, докторантов, соискателей и магистрантов / Сост.: М.Ю. Никишин / Под ред. Н.А. Костриковой. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2013 – С. 62-64 (0,3 п.л. / 0,2 п.л.).

15 Бондарев, В.А. Понятие «Экстремальная ситуация» в контексте безопасности мореплавания / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Морская индустрия, транспорт и логистика в странах региона Балтийского моря: новые вызовы и ответы. Материалы IX Международной конференции. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2011. – С. 37-38 (0,2 п.л. / 0,1 п.л.).

16 Бондарев, В.А. Постановка задачи по разработке метода оценивания надежности человека в полиэргатических системах / В.А. Бондарев, С.В. Ермаков // Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров: Материалы одиннадцатой межвузовской научно-технической конференции аспирантов, соискателей и докторантов / Сост.: М.Ю. Никишин / Под ред. Н.А. Костриковой. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2010. – С. 9-14 (0,7 п.л. / 0,4 п.л.).

17 Ермаков, С.В. Анализ определений понятия «человеческий фактор» / С.В. Ермаков // Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров: материалы тринадцатой межвузовской научно-технической конференции аспирантов, докторантов, соискателей и магистрантов / Сост.: М.Ю. Никишин / Под ред. Н.А. Костриковой. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2013 – С. 12-17 (0,7 п.л.).

18 Ермаков, С.В. Анализ применимости в мореплавании некоторых методов оценки человеческого фактора / С.В. Ермаков // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012 – ЦИТ: 412-0494. – С. 83-90 (0,5 п.л.).

19 Ермаков, С.В. Критерий разграничения зон открытого моря и прибрежного плавания при расчете допустимого интервала счисления / С.В. Ермаков // II Балтийский морской форум: материалы международного морского форума / Калининград: Издательство БГАРФ, 2014. – С. 40-47 (1,0 п.л.).

20 Ермаков, С.В. Количественная оценка влияния человеческого фактора на безопасность мореплавания / С.В. Ермаков // Научно-технические разработки в решении проблем рыбопромыслового флота и подготовки кадров: Материалы десятой межвузовской научно-технической конференции аспирантов, соискателей и докторантов / Сост.: М.Ю. Никишин / Под ред. Н.А. Костриковой – Калининград: Издательство БГАРФ, 2010. – С. 17-22 (0,6 п.л.).

21 Ермаков, С.В. Морское судно как элемент Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (понятийно-терминологический анализ) / С.В. Ермаков // Инновационная наука. – 2016. – №10-2 (10). – С. 45-48 (0,5 п.л.).

22 Ермаков, С.В. Навигационная безопасность в системе безопасности мореплавания / С.В. Ермаков // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012». – Выпуск 3. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012 – ЦИТ: 312-425. – С. 48-51 (0,2 п.л.).

23 Ермаков, С.В. Результаты исследования психологической устойчивости судоводителей / С.В. Ермаков // Теория и практика современной науки: материалы IX Международной научно-практической конференции, г. Москва, 26–27 марта 2013 г. В 2 т.: т. I / Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований». – Москва : Изд-во «Спецкнига», 2013. – С. 75-79 (0,3 п.л.).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

24 Ермаков С.В. Определение фактической вероятности появления промаха в измерения пеленга навигационного ориентира оптическим пеленгатором. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618898. Заявка №2016616518. Дата поступления 21 июня 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 августа 2016 г.

25 Ермаков С.В. Экстремальность навигационной ситуации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661663. Заявка №2016619035. Дата поступления 22 августа 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18 октября 2016 г.

Ермаков Сергей Владимирович

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА НАВИГАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ
ПЛАВАНИЯ СУДНА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____

Формат 60x90 1/16

печать офсетная. Объем – 1,3 усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ _____

Издательство БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
236029, г. Калининград, ул. Молодежная, 6