



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ИПМ ДВО РАН

М.А. Гузев

«25» 12 2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Гриняка Виктора Михайловича «Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация В.М. Гриняка посвящена созданию и исследованию математических моделей и методов, способных обеспечить безопасное судовождение в условиях высокой интенсивности движения.

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью разработки новых методов обеспечения безопасности коллективного движения судов при высокой интенсивности и неоднородности трафика морской акватории. В этих условиях возникает потребность в информационной поддержке процесса принятия решений диспетчерами береговых систем управления движением судов и судоводителями.

В результате проведённых исследований автором достигнута поставленная цель диссертации - разработка и исследование математических моделей и методов решения задач обеспечения навигационной безопасности коллективного движения морских судов в условиях высокой интенсивности движения, ориентированных на реализацию в береговых системах управления движением судов.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (включающего 241 наименование) и трёх приложений. Основное содержание диссертации изложено на 283 страницах машинописного текста и проиллюстрировано 105 рисунками.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулирована степень разработанности темы, приведены цели и задачи работы, даны сведения о научной новизне, теоретической и практической значимости работы, методах исследования, сформулированы защищаемые положения, даны сведения о содержании глав диссертации и характеристика основных результатов исследования.

В первой главе дан обзор комплекса научных проблем, связанных с обеспечением навигационной безопасности движения судов и функционированием соответствующих технических средств. В главе

делается вывод о том, что разработка новых моделей и методов решения задач обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов является актуальной задачей.

Вторая глава посвящена задаче идентификации модели движения объекта с помощью систем нечеткой логики. Исследуется применение разработанного метода для сопровождения траектории движущегося объекта. Рассматривается модельная интерпретация метода с помощью нечётких систем различного типа. Приводится большое количество графического материала, иллюстрирующего особенности поведения разработанных алгоритмов в типичных ситуациях. Делается вывод о том, что все варианты модельных представлений пригодны для практического использования. Ещё один аспект применения разработанной модели характеризуется возможностью её использования для нечеткой классификации наблюдаемых объектов по степени интенсивности маневрирования, что предоставляет дополнительные возможности по поддержке принятия решений операторами системы управления движением судов (СУДС) и судоводителями.

В третьей главе рассматривается задача оценки риска опасного сближения судов. В главе обосновывается необходимость перехода от двухуровневого представления опасной ситуации типа «опасный / безопасный» к многоуровневому представлению типа «очень опасный / опасный / почти безопасный / безопасный». При этом в качестве критерия разделения уровней опасности предлагаются кинематические свойства движения судов, что отвечает особенностям внешнего наблюдения, реализуемого береговыми СУДС. С целью перехода от дискретной оценки уровня опасности к непрерывной предлагается доопределить дискретные модели нечёткими модельными представлениями. Представлено большое количество графического материала, демонстрирующего особенности поведения разработанных моделей в типичных (моделируемых) навигационных ситуациях. Кроме того, приведены результаты натурных исследований трафика в акватории порта Владивосток.

В четвёртой главе исследуется задача трёхкоординатного наблюдения воздушных объектов двухкоординатными измерителями (в условиях регулярного присутствия над оживленной акваторией маловысотных низкоскоростных воздушных объектов - вертолетов). На основе анализа классов ненаблюдаемых траекторий движения предложена модельная интерпретация задачи системой уравнений «состояние-измерение» в сферических (географических) координатах. При этом разработан метод априорной оценки разрешимости задачи в условиях конечной точности модельных представлений – представления вещественных чисел в ЭВМ и инструментальных погрешностей измерений. Теоретически и на модельных примерах показано, что сама по себе оценка координат объекта в трёхмерном навигационном пространстве при двухкоординатной информационной базе не даёт возможности выделять маловысотные низкоскоростные удалённые воздушные объекты, что способно существенно искажать представления о навигационной обстановке на акватории. С целью преодоления этого

ограничения в главе разработаны и исследованы несколько математических моделей интерпретации исходной задачи наблюдения как задачи распознавания (селекции) воздушных объектов.

Пятая глава посвящена анализу некоторых аспектов функционирования СУДС как программного комплекса. Рассматриваются особенности программной архитектуры СУДС с точки зрения последовательности, характера и особенностей обработки информации. Предложен метод автоматизированного определения постоянного и адаптивного порога при визуализации радиолокационного образа акватории. Разработана математическая модель визуализации информации об опасных и безопасных параметрах движения судов при многоуровневой оценке риска опасного сближения судов. Приводятся примеры реализации модели, в том числе - на реальных данных акватории залива Находка.

В шестой главе рассматриваются некоторые аспекты планирования и постановки вычислительных экспериментов в задачах обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов. Описана информационная система, позволяющая формировать базу данных трафика морских акваторий на основе информации открытых интернет-источников. Предложена математическая модель доопределения (интерполяции) собранных данных, ориентированная на специфику задач наблюдения.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные автором в диссертационном исследовании.

В приложениях приведены акты об использовании результатов работы, некоторые сведения о работе СУДС в заливе Находка и результаты исследований разрешения компьютеризированных радиолокационных станций (РЛС) в условиях ограниченности скорости передачи данных между компонентами распределённой информационной системы.

Все разделы диссертации раскрывают различные стороны общей темы и имеют ярко выраженную смысловую связь.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации, основные научные результаты и выводы, полученные в диссертации.

К новым научным результатам, полученным автором диссертации, можно отнести следующие результаты.

1. Новый метод идентификации модели движения объекта на основе идей нечёткой логики, характеризующийся простотой и наглядностью, возможностью гибкой настройки, низкой вычислительной сложностью, эффективностью при движении судна в условиях интенсивного трафика.

2. Новая математическая модель оценки возможности опасного сближения судов на основе многозначной логики: дискретного типа (чёткая) и непрерывного типа (нечёткая), позволяющая упорядочить действия оператора СУДС и судоводителя в условиях высокой интенсивности движения.

3. Новый метод представления (визуализации) информации об опасных и безопасных параметрах движения судна на основе многозначной логики, позволяющий оператору СУДС и судоводителю принять наиболее

подходящее для конкретной обстановки решение по обеспечению навигационной безопасности коллективного движения судов (изменению параметров движения судна).

4. Новая модель задачи трёхкоординатного наблюдения движущегося объекта двухкоординатными измерителями и связанные с ней метод априорной оценки разрешимости задачи в условиях конечной точности модельных представлений и метод решения задачи распознавания воздушных объектов двухкоординатными измерителями, позволяющий выделять воздушные объекты, присутствующие над акваторией.

5. Новый метод выделения первичного РЛС сигнала наблюдаемых объектов на фоне среды, основанный на адаптивном определении порога амплитуды и позволяющий максимально информативно представлять радиолокационную информацию в условиях интенсивных динамических помех (морское волнение, метеословия).

6. Новая имитационная модель траектории движения судна, учитывающая особенности исходных данных, предоставляемых спутниковыми навигационными системами, и позволяющая ставить эксперименты по анализу навигационной обстановки с использованием реальных данных о движении судов на конкретной акватории.

Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечивается корректным применением методов исследования и подтверждается вычислительными и натурными экспериментами, существующими закономерностями, а, также, сопоставлением с общепризнанными результатами.

Значимость полученных автором результатов для развития соответствующей отрасли науки

Полученные автором результаты по идентификации модели движения объекта, оценке возможности опасного сближения судов и представлению информации об опасных и безопасных параметрах движения судна, трёхкоординатному наблюдению движущегося объекта двухкоординатными измерителями, выделению первичного РЛС сигнала наблюдаемых объектов на фоне среды, имитационному моделированию траектории движения судна вносят заметный вклад в развитие науки в области математического моделирования и численных методов.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что с использованием созданных моделей и методов могут быть созданы системы управления движением судов, способные обеспечивать поддержку принятия решений и безопасное движение в условиях насыщенных судопотоков.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Предлагаемые автором математические модели и методы, связанные с обеспечением безопасности коллективного движения морских судов, рекомендуются к внедрению на предприятиях, занимающихся обеспечением

навигационной безопасности морских акваторий, в компаниях, занимающихся проектированием и разработкой навигационных средств и в учреждениях, занимающихся подготовкой, повышением квалификации и сертификацией судоводителей.

Публикации, апробация и внедрение результатов исследования

Результаты диссертации достаточно полно отражены в работах, опубликованных соискателем. По теме диссертации опубликовано 76 работ, из них 33 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 6 переводных версий статей, проиндексированных в базах Scopus и Web of Science, 2 монографии, 6 патентов на изобретения, 9 свидетельств государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы апробированы на международных, всероссийских и региональных научных конференциях.

Полученные в диссертации результаты работы переданы для использования в Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, где используются в учебной и научной работе в области судовождения и эксплуатации водного транспорта, при планировании перспективных направлений работы учебно-методического центра конвенционной подготовки судоводителей. Кроме того, результаты работы используются Дальневосточным федеральным университетом, г. Владивосток в научно-исследовательской работе и в учебном процессе.

Замечания по диссертации

1. Необоснованно мало внимания уделено широко используемым в настоящее время и очень перспективным системам спутниковой навигации; слишком много положений и моделей принимается без какого-либо обоснования или ссылок; очень часто отсутствуют сравнения результатов, полученных разными способами; нередко решаются задачи, которые не сформулированы явным способом; полученные результаты, в частности, представленные на рисунках, содержат мало комментариев и потому малопонятны. В результате возникли многочисленные вопросы.

- 1) Почему в работе о системах спутниковой навигации говорится только между прочим, а основная часть работы связана с РЛС? Ведь в настоящее время на практике широко используются именно такие системы, а РЛС, в лучшем случае, имеют вспомогательное значение. Известно, что системы спутниковой навигации начали использоваться даже в автобусах, такси и других транспортных средствах. Каковы перспективы практического использования этой работы при таком акценте на РЛС?
- 2) Почему для решения задачи используется именно нечеткая логика? В чем ее преимущества перед другими методами? В работе это не обосновывается.
- 3) Лингвистическая переменная на стр. 71 (и в других разделах) зависит только от двух логических переменных, почему не больше? Например, в п. 2.3.2 используются четыре переменных.

- 4) Без какого-либо обоснования принимается вид функций принадлежности, в частности, (12).
- 5) На стр. 72 универсальное множество имеет вид $[0,3]$, а в п. 2.3.2. $[0, J]$; в работе не обосновывается, почему это так.
- 6) На стр. 70 говорится: «Задача сопровождения траектории сводится, таким образом, к проблеме выбора вектора состояния из кортежа, порождаемого множеством моделей с различными значениями J ». В работе не объясняется, из-за чего, собственно, возникает проблема, почему нельзя взять, например, произвольный вектор.
- 7) Таблицы 4, 5, 7 и аналогичные им материалы диссертации представлены без каких-либо пояснений.
- 8) Модельные представления (21) об эволюции вектора состояния коллективного движения принимаются без каких-либо обоснований и ссылок.
- 9) Не очень понятны рассуждения о коллективном движении, если автор вначале говорит о том, что капитан принимает решения самостоятельно.
- 10) В работе много места отводится обсуждению и решению некоей задачи со ссылкой на уравнения (28). Эти уравнения являются хорошо известной моделью линейной нестационарной системы, и в чем состоит решаемая задача для этой системы, из работы непонятно.
- 11) Не очень понятно, зачем нужны общие рассуждения на стр. 107, 108 о вычислительной устойчивости решения задачи решения тривиального линейного алгебраического уравнения. Какое отношение они имеют к решаемым в диссертации задачам?
- 12) Как согласуются введенные автором вербальные уровни опасности с существующей практикой мореплавания?
- 13) В разделе 3.4 рассматриваются детерминированные модели, основанные на геометрической интерпретации относительного движения судов (четкая и нечеткая модели), но не дано какого-либо их сравнения.
- 14) Без какого-либо обоснования используется модель для адаптивного порога на стр. 226.
- 15) Страница 54, строка 7 сверху. Выбор управления с учетом наибольшего риска столкновения. Почему только учитывается только наибольший риск столкновения? А ведь может быть ситуация, когда вероятность столкновения невелика, но его последствие очень велико.
- 16) Страница 38, строка 13 сверху. Термин "судно-судно", его следует дополнить термином "берег-судно". На странице 100 речь идет о коллективном движении двух судов, но ничего не говорится о береговой линии, приближение к которой является основной целью швартовки судна в порту.
- 17) Страница 57, строка 6 сверху. Предлагается максимально застраховать судоводителя от ошибок. По какому критерию предлагается проводить максимизацию? По вероятности столкновения, по ущербам в результате столкновения. В математической теории страхования это совсем не пустые слова.

- 18) Страница 60, строки 5, 6 сверху. Автор употребляет термин высокая интенсивность движения. Не вполне ясно, что под этим понимается. В сравнении с чем употребляется термин высокая интенсивность? Это только большая скорость движения судна, или это большая интенсивность в сравнении с интенсивностью обслуживания судна в порту?
- 19) Страница 63, рис. 16. Наличие двух объектов в области строга может означать опасность их столкновения. В работе нет никаких комментариев по этому вопросу.
- 20) Страница 65, формула (1). Не разъяснено, что такое $q_x(t, k)$, $q_y(t, k)$. Если это параметры, как пишет автор, то приходится иметь дело с очень большим числом параметров и потому такая формализация неудобна. Если это случайная последовательность, определяемая своими параметрами, то так нужно и сказать и прояснить, о каких параметрах этой последовательности идет речь. Далее на странице 67, строки 1, 2 сверху говорится о ковариационной матрице вектора $q(t, k)$. Так, может быть, эту матрицу как неопределенный ранее параметр автор имел ранее в виду? На странице 68, строки 5, речь идет о величине случайной последовательности $q(t, k)$. Неясно, что под этим понимается: вероятность превышения некоторого критического уровня или что другое. Хотя этот комментарий не является авторским результатом, но явно видна нечеткость изложения материала.
- 21) На странице 67, строка 7 снизу, автор дает определение $\bar{K}$, в котором все собственные числа λ_j соответствующей матрицы полагаются равными. А если они не равны, как тогда ставить и решать экстремальную задачу?
- 22) На странице 96 в формуле (18) отсутствует оговорка, что корабельные домены независимы и потому берется произведение плотностей распределения. А ведь при встречном движении двух судов обязательно учитывается их зависимость. В этом плане формула (20) на странице 97 предпочтительнее.
- 23) На странице 109 в строках 9, 10 сверху следует говорить не о дисперсионной матрице, а о матрице ковариаций.

2. В рамках исследования коллективного движения морских судов основное внимание в работе уделено системам "судно-берег", "судно-судно". Анализировались два типа движения судна: "отсутствие маневрирования", "маневрирование". Применялись метод наименьших квадратов, нечеткие системы логического вывода Сугено и Мамдани, нейро-нечеткая система, двухуровневая система типа Мамдани. Но вопросам функционирования СУДС как программным комплексам, а также комплексу сбора данных о движении судов на морских акваториях уделено второстепенное внимание.

3. Вопросы обслуживания судов в порту (швартовка, уход на внутренний или внешний рейд) вообще не рассматривались. Известно большое количество работ, посвященных исследованию транспортных узлов

как моделей массового обслуживания, в особенности систем с повторным обслуживанием. Большое количество работ по применению моделей массового обслуживания в железнодорожном транспорте выполнено В.А. Ивницким. Моделям массового обслуживания с повторным обслуживанием (retrial queues) применительно к работе автомобильного транспорта посвящены известные статьи Афанасьевой Л.А., Nobel R.D., Tijms H.C. В рамках этих моделей интенсивное движение называется специальным термином "heavy traffic" и очень подробно изучено в многочисленных работах по массовому обслуживанию, см., например, статьи и монографии А.А. Боровкова. К сожалению, диссертант ограничился при исследовании интенсивного коллективного движения морских судов в основном только системами "судно-берег", "судно-судно" в режимах "отсутствие маневрирование", "маневрирование". В рамках такого рассмотрения не учитываются многие эффекты, связанные с процессами коллективного взаимодействия.

4. При решении задачи сопровождения траектории движущегося объекта автором предлагается метод, основанный на многомодельной оценке вектора состояния и нечётком обнаружителе маневра. При этом указывается, что параметры функций принадлежности выбираются экспертным способом. В работе нет пояснений о том, каким именно образом может осуществляться выбор указанных параметров в случае использования данного метода в реальных системах наблюдения.

5. В третьей главе работы приведены результаты натурных исследований модели задачи предупреждения об опасном сближении судов. Указывается, что разделение уровней тревоги является универсальным, инвариантным свойством всей акватории. Однако показаны результаты только для одной акватории и нет информации о таком разделении на других акваториях.

6. В четвертой главе работы рассматривается задача распознавания воздушных объектов и предлагается её модель в сферических координатах. При этом не исследованы погрешности модели вследствие замены модели Земли сферой, а не сфероидом или геоидом.

Заключение

Отмеченные недостатки не меняют общей положительной оценки диссертации Виктора Михайловича Гриняка. Основные результаты исследования достаточно полно представлены в публикациях соискателя, в том числе в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, и патентах на изобретения. Диссертация В.М. Гриняка представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные решения в области обеспечения безопасности движения судов, имеющие существенное значение для развития отрасли.

Диссертация «Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов» соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого

Отзыв на диссертацию В.М. Гриняка обсуждён и одобрен на заседании научно-исследовательской группы вероятностных методов и системного анализа ФГБУН Институт прикладной математики ДВО РАН 15.12.2016 г. (протокол № 1).

Главный научный сотрудник научно-исследовательской группы вероятностных методов и системного анализа ИПМ ДВО РАН, д.ф.-м.н., профессор

Тел.: 8 (914) 693-27-49

Подпись: *Ирина Владимировна Г.М. заверяю.*
 20 *директор ИИП ДВО РАН*
И.Н. Федя *1 Сентября В.Д.*