

A MODEL FOR SUPPORTING THE SCHEDULING OF GEOSPATIAL PROCESSES OF THE WATER TRANSPORT BASED ON THE SITUATIONAL MANAGEMENT

Y. A. Ivakin^{1,2}, S. N. Potapychiev^{1,2}, R. Y. Ivakin³

¹ — St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

² — Concern OCEANPRIBOR JSC, St. Petersburg, Russian Federation

³ — The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russian Federation

Scheduling of geospatial processes of vessels is one of the most important processes of ensuring the navigation safety and efficiency of the water transport. It represents the control and coordination of management of geospatial processes of the water transport (i.e. the processes of ship traffic in time and geographical space) to achieve the highest indicators of effectiveness, implementation of traffic schedules, the production program and other parameters at unconditional fulfillment of the navigational safety requirements. Feature of the water transport scheduling is a constant change of situation, adjustability and some inconsistency of schedules, ship traffic schemes, etc. The main objectives of the water transport scheduling are monitoring the navigational status and safety of moving vessels, following the plans and schemes of the movement on the water areas. Modern, effective scheduling of the water transport means a realistic balance between the purposes of navigation (geospatial) safety and the production purposes.

Opportunities for situational management realized within scheduling of geospatial processes of the water transport allow to increase the effectiveness and improve the quality of the country's fleet operation. Scheduling by spatial processes of the water transport using situational management tools and digital cartographic data sets is closely connected with the implementation of more developed data processing model in automation complexes for controlling the ship traffic. The model offered in the paper is oriented, in particular, not at processing data about each vessel, but at tracking spatial situations against the background of data on geographical theater, as well as assessing their danger. It is in this the implementation of the informational component of situational management for scheduling the geospatial processes of the water transport is being represented, and its informative disclosure is considered in the paper.

Keywords: Scheduling the geospatial processes, situational management, digital geospatial data, spatial data, water transport.

For citation:

Ivakin, Yan A., Sergei N. Potapychiev, and Roman Y. Ivakin. "A model for supporting the scheduling of geospatial processes of the water transport based on the situational management." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 842–855. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-842-855.

УДК 681.1.003

МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Я. А. Ивакин^{1,2}, С. Н. Потапычев^{1,2}, Р. Я. Ивакин³

¹ — Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрена диспетчеризация геопространственных процессов судов, являющаяся одним из важнейших процессов обеспечения навигационной безопасности и эффективности водного транспорта,

представляющая собой контроль и координацию управления геопространственными процессами водного транспорта, т. е. процессами движения судов во времени и географическом пространстве, для достижения максимальных показателей результативности, реализации графиков движения, производственной программы и других параметров при безусловном выполнении требований навигационной безопасности. Отмечается, что особенность диспетчеризации водного транспорта состоит в постоянном изменении обстановки, корректируемости и некоторой противоречивости графиков, схем движения судов и др. Сформулированы основные задачи диспетчеризации водного транспорта, такие как контроль навигационного состояния и безопасности движущихся судов, а также соблюдение планов и схем движения на акваториях. Подчеркивается, что современная эффективная диспетчеризация водного транспорта подразумевает реалистичный баланс между целями навигационной (геопространственной) безопасности и производственными задачами.

Рассмотрены возможности ситуационного управления, реализуемые в рамках диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта, которые позволяют добиться повышения результативности и улучшения качества эксплуатации флота страны. Отмечается, что диспетчеризация геопространственными процессами водного транспорта с использованием средств ситуационного управления и цифровых картографических наборов данных тесно связана с воплощением в жизнь более развитой модели обработки данных в комплексах автоматизации управления движением судов водного транспорта. Предлагаемая в данной статье модель ориентирована, в частности, не на обработку данных о каждом судне, а на отслеживание пространственных ситуаций на фоне данных о географическом театре, а также оценку их опасности. Именно в этом представляется реализация информационной составляющей ситуационного управления для диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта, и ее содержательному раскрытию посвящена данная статья.

Ключевые слова: диспетчеризация геопространственных процессов, ситуационное управление, цифровые картографические данные, пространственные данные, водный транспорт.

Для цитирования:

Ивакин Я. А. Модель поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления / Я. А. Ивакин, С. Н. Потапычев, Р. Я. Ивакин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 842–855. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-842-855.

Введение (Introduction)

Рост интенсивности и объемов перевозки водным транспортом, значительное увеличение масштаба компьютеризации систем управления водным видом транспорта и его диспетчеризации потребовали новых подходов и методов поддержки управления этими процессами. Постоянное усложнение диспетчерской деятельности в сочетании с качественным ростом возможностей современной вычислительной техники, а также широкое внедрение программных средств поддержки управленческих решений на базе цифровых картографических наборов данных определили задачи совершенствования поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе современных принципов интеллектуальной обработки информации, в качестве которых в рамках предлагаемой модели рассмотрены механизмы ситуационного управления.

Диспетчеризация в рамках этой модели представлена процессом выявления некоторых нештатных ситуаций в ходе всех существующих диспетчеризируемых пространственных процессов водного транспорта. Под штатной ситуацией подразумевается ситуация, отвечающая некоторому регламенту протекания геопространственных процессов, а под нештатной, соответственно, не соответствующая этому регламенту. Цель диспетчеризации состоит в своевременном выявлении и предотвращении нештатных ситуаций на всем множестве контролируемых геопространственных процессов водного транспорта. Множество контролируемых геопространственных процессов, как правило, ограничено в геопространстве, во времени или в номенклатуре объектов водного транспорта.

Традиционный подход к навигационному обеспечению безаварийности судов сводится к анализу в навигационном пространстве. Базовый принцип функционирования современных систем диспетчеризации водного транспорта заключается в непрерывном прогнозировании дистанции

расхождения судов водного транспорта относительно друг друга, а также иных навигационных препятствий, которая должна превышать некоторую безопасную дистанцию сближения. Прогнозирование ситуации расхождения судов на менее безопасную дистанцию является событием обнаружения опасности, чреватой аварийной ситуацией. В этом случае диспетчер (оператор) вмешивается своим управляющим воздействием, добиваясь увеличения указанной дистанции расхождения судов водного транспорта до безопасной. Проведенное в источнике [1] исследование показало, что текущий уровень оснащенности диспетчеров объектов водного транспорта (операторов Санкт-Петербургского морского канала, операторов систем автоматизированной проводки в узкостях и др.) средствами поддержки диспетчеризации пространственных процессов указанного вида транспорта недостаточен. Именно с учетом этого требования сделано заключение о необходимости привития функциональности системного управления диспетчеризации геопро пространственных процессов водного транспорта на базе широкого применения цифровых картографических наборов данных.

Повышение результативности и улучшение качества диспетчеризации пространственными процессами водного транспорта с использованием средств ситуационного управления и цифровых картографических наборов данных тесно связано с воплощением в жизнь более развитой модели обработки данных в комплексах автоматизации управления движением судов водного транспорта. Предлагаемая модель ориентирована, в частности, не на обработку данных о каждом судне, а на отслеживание пространственных ситуаций на фоне имеющейся информации о процессах, происходящих на водном транспорте, а также оценку их опасности. Именно в этом представляется реализация информационной составляющей ситуационного управления водного транспорта.

Детальное раскрытие обоснования и сути функциональной модели поддержки диспетчеризации геопро пространственных процессов водного транспорта с учетом использования современных технологий работы с цифровыми картографическими наборами данных составляет суть предлагаемой статьи, имеющей полемический характер, которая может найти практическое применение после проработки вопросов с отраслевыми специалистами.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Автоматизированные системы диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП) водного транспорта — вид автоматизированных систем управления, выделяемый по следующим признакам:

1. Объектом управления в данном случае являются геопро пространственные процессы как результат человеческой деятельности. Под геопро пространственным процессом понимается процесс, который развивается одновременно во времени и в географическом пространстве, представляющий собой упорядоченную во времени совокупность географических позиций управляемых судов водного транспорта.

2. Целью диспетчеризации является безопасность и эффективность взаимодействия объектов водного транспорта, реализующих геопро пространственный процесс, с элементами и явлениями непосредственно самого пространства и другими судами в нем.

3. Данные системы реализуют свою функциональность в масштабе времени, близком к реальному.

4. АСДПП обладают широким охватом контролируемого географического пространства.

5. АСДПП имеют многоуровневую распределенную инфотелекоммуникационную и функционально-техническую структуру.

6. Для АСДПП характерным является наличие в их составе комплексов мониторинга за состоянием контролируемого геопро пространства, а также средств информационной и аналитической поддержки диспетчеров, операторов и должностных лиц.

Современная АСДПП водного транспорта является информационно-интеллектуальной системой распределенного типа, предназначенной для достижения навигационной безопасности и роста экономичности водного транспорта путем автоматизации подпроцессов оперативного планирования, сбора, обработки и отображения данных, получаемых от собственных средств

зондирования и мониторинга обстановки географии перевозок, а также по каналам связи от систем независимого наблюдения и гидрометеоинформации [2]. В этом случае в рамках концепции АСДПП процесс диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта является согласованной реализацией функциональности контроля и геопространственной координации управления движением судов с целью достижения максимальных показателей эффективности, планов перевозок и других параметров при безусловном соблюдении требований навигационной безопасности. Особенность диспетчеризации водного транспорта состоит в постоянном изменении обстановки, корректируемости и некоторой противоречивости графиков, схем движения судов и др.

Необходимо дать пояснение о различии смежных, но не эквивалентных по смыслу понятий, таких как «управление» и «диспетчеризация» для геопространственных процессов водного транспорта. Под диспетчеризацией понимается особый вид деятельности по управлению протеканием геопространственных процессов в соответствии с установленным регламентом или «штатом», т. е. диспетчеризация является специфической составляющей более многогранного процесса управления. Иными словами, управление — это сложный многоэтапный процесс, учитывающий множество различных аспектов в функционировании систем водного транспорта, а именно: эффективность, навигационная безопасность, безаварийность функционирования и т. д., а диспетчеризация — это частная составляющая управления, связанная с максимизацией одной приоритетной задачи в целях функционирования водного транспорта.

Основными задачами диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта с применением АСДПП являются [3]:

- недопущение столкновений между судами водного транспорта;
- недопущение столкновения судов с навигационными препятствиями;
- поддержание требуемого темпа потока движения водного транспорта в узкостях и на каналах лоцманской проводки;
- оперативное предоставление данных для обеспечения процессов принятия решений по безопасной и эффективной проводке судов водного транспорта;
- своевременное уведомление поисково-спасательных служб о фактах аварий объектов водного транспорта и оказание этим службам информационно-логистической поддержки.

На сегодняшний день диспетчеризация водного транспорта в целом реализует принципы, подходы и концепции современной теории управления. Традиционная парадигма этой теории имеет такое видение объекта исследования, для которого схема управления представляется «контуром управления», т. е. взаимосвязанной совокупностью субъекта управления, управляющих воздействий, объекта управления и обратной связи. При этом принимается, что субъект располагает некоторой адекватной моделью объекта управления, что позволяет ему прогнозировать последствия управляющих воздействий с определенной степенью точности. Однако сложные объекты управления, такие как совокупность пространственных процессов водного транспорта на определенной акватории, ведут к необходимости учета в ходе управления сотен параметров и критериев, тысяч фактов, большого числа решающих правил. Данное обстоятельство является основанием для того, чтобы свести управление (процедуру диспетчеризации) не к классическому «контурному управлению» (в силу того, что не представляется возможным заранее описать все состояния объекта управления, ограничить варианты управляющих воздействий и связать их с ответной реакцией на управление), а к рассмотрению системы управления в качестве открытой системы. Ранее изложенное предопределяет необходимость использования описания типовых ситуаций в управлении объектом указанного типа, что в данном случае вызывает изменение не только непосредственно процедуры управления (диспетчеризации водного транспорта), но ее принципов, организации и самого подхода.

Метод управления, базирующийся на использовании понятия и сущности «ситуация», классификации таковых и их взаимном преобразовании, традиционно принято называть *методом ситуационного управления*, а соответствующий подход в теории управления — *ситуационным*

подходом к управлению [4]. Именно этот подход положен в основу разработанной и предлагаемой в данной работе логико-информационной модели поддержки диспетчеризации геопроцессов водного транспорта на основе ситуационного управления.

Методологические основы моделирования диспетчеризации геопроцессов водного транспорта на основе ситуационного управления заключаются в возможности ситуационного подхода многократно усложнить информационно-аналитические модели диспетчеризируемых геопроцессов, отказаться от строгой детерминированности, придать им стохастический характер, расширить их адаптивность. В результате номенклатура показателей, описывающих диспетчеризируемый геопроцесс, увеличилась так, что психофизиологические возможности диспетчера в оперативной обработке данных перестали ей соответствовать, т. е. диспетчер оказался неспособным быстро анализировать и корректировать все параметры геопроцессов, диспетчеризируемых через АСДПП. Именно данное обстоятельство определяет необходимость разработки предлагаемой модели на принципах ситуационного подхода [5].

Диспетчеризируемый геопроцесс в предлагаемой модели представляется как соответствующий процесс создания пространственных ситуаций в географическом пространстве. Термином «ситуация» при этом обозначается некоторое соотношение текущих параметров движения диспетчеризируемого объекта водного транспорта и окружающей его среды. Многообразие таких ситуаций условно может быть разделено на следующие классы: ситуации штатные и ситуации нештатные. Под *штатной* понимается ситуация, соответствующая некоторой законной норме, введенному регламенту протекания, а под *нештатной* — не соответствующая. При таком варианте рассмотрения необходимо оперативно контролировать уже не всю номенклатуру параметров диспетчеризируемого геопроцесса, а только их соотношение, которое задает принадлежность наблюдаемой навигационной геопроцессуальной ситуации к классу штатных или нештатных ситуаций. Суть такого представления диспетчеризируемых геопроцессов отражена на рис. 1.

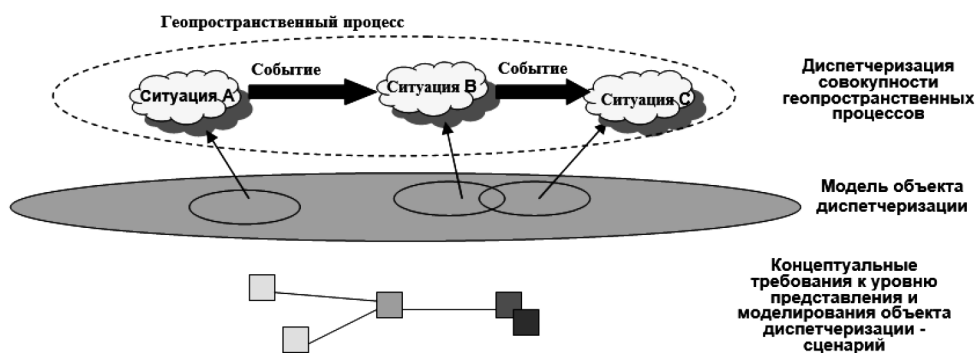


Рис. 1. Ситуационное представление диспетчеризируемого геопроцессуального процесса

Целью ситуационного представления диспетчеризируемого геопроцессуального процесса является обеспечение возможности более полного (всестороннего) анализа хода и прогнозирования геопроцессуального процесса путем моделирования указанных ситуаций с целью благоприятного разрешения каждой из них. Это позволяет на основе уже имеющихся знаний и накопленных априорных данных о ходе развития текущей ситуации с диспетчеризируемым объектом водного транспорта в прошлом четко определить ее будущее развитие. Данная цель хорошо сочетается с современной концепцией развития перспективных АСДПП водным транспортом, предусматривающей эффективное управление и диспетчеризацию сложными транспортными объектами. Она позволяет показать воплощение принципов ситуационного управления в функциональной архитектуре АСДПП водным транспортом, и, соответственно, принять ситуационное управление как теоретическую платформу для синтеза предлагаемой модели.

Использование в ситуационном представлении диспетчеризируемого геопространственного процесса не программных подмоделей, изоморфных к реальным объектам (пространственным процессам), а сценарных комбинаций подмоделей ситуаций, в которых проявляются значимые свойства объекта диспетчеризации, задает множество специфических особенностей для разработки соответствующего прикладного программного обеспечения АСДПП водным транспортом.

Отличительной особенностью такого прикладного программного обеспечения является отсутствие логически завершеного (финитного) сценария реализации геопространственных ситуаций, характерных для диспетчеризируемого пространственного процесса. Синтез сценариев полных геопространственных процессов из набора разноуровневых моделей ситуаций диспетчеризации, и, соответственно, донастройка параметров таких моделей ситуаций является прерогативой деятельности диспетчера или придаваемой ему системы интеллектуализации его поддержки. Управление функциональностью упорядоченного множества интерактивных программных компонентов подмоделей ситуаций является сложным программным процессом. В силу этого в состав прикладного программного обеспечения систем диспетчеризации интегрируются средства CASE-разработки сценариев и указанные базы интерактивных, динамически подключаемых программных библиотек. По существу, сценарии есть упорядоченные совокупности знаний о специфике развития типов навигационных ситуаций в зависимости от действий, инициируемых диспетчером в текущей геопространственной ситуации.

Результаты (Results)

Ранее изложенное представление диспетчеризируемого геопространственного процесса дает возможность рассматривать диспетчеризацию как процесс выявления нештатных ситуаций на всем множестве диспетчеризируемых геопространственных процессов в контролируемой акватории. Тогда прагматической целью диспетчеризации будут служить заблаговременное выявление и предотвращение нештатных ситуаций на контролируемом множестве геопространственных процессов. При этом контролируемое множество геопространственных процессов должно быть ограничено в географическом пространстве, времени и по номенклатуре диспетчеризируемых объектов водного транспорта.

Обычно анализ навигационной безаварийности судов заключается в расчете и назначении безопасной дистанции сближения с каждым из встречных судов. Диспетчеризация водного транспорта сегодня представляет собой непрерывный анализ и пересчет дистанций расхождения судов относительно друг друга, а также иных навигационных препятствий, которые должны превышать безопасную дистанцию сближения [6]. Прогнозирование факта наступления ситуации расхождения судов на дистанции менее дистанции безопасного сближения является выявлением опасности, т. е. навигационной аварийной ситуации. В этом случае диспетчер должен вмешиваться своим управляющим воздействием, добиваясь увеличения дистанции реального расхождения судов до безопасной дистанции сближения.

Традиционный уровень обеспеченности диспетчеризации водного транспорта методами и инструментарием быстрого анализа и поддержки диспетчерских решений очевидно недостаточен. Это прежде всего выражается в том, что диспетчер водного транспорта, разрешая одну текущую геопространственную ситуацию, должен давать управляющие воздействия для недопущения усугубления последующей пространственной ситуации [7]. В свою очередь, ситуационное представление диспетчеризируемого геопространственного процесса делает возможным по-другому логически организовать поддержку диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления. Исходя из ранее изложенного, рациональным является обобщение процедур диспетчеризации в некоторую ситуационную модель пространственного управления, эксплицированную на шкалу времени (рис. 2).

На основе рассмотренной ситуационной модели управления судами водного транспорта, реализующими соответствующие геопространственные процессы, становится очевидно, что диспетчеризация есть упорядоченная последовательность воздействий на подконтрольные силы и средства

с целью обеспечения штатного характера геопространственных ситуаций, органично вытекающих одна из другой. Учитывая, что в зависимости от воздействий диспетчера развитие геопространственной ситуации может иметь несколько исходов, происходит фиксация некоторой обусловленной последовательности ситуаций. Именно эту последовательность в рамках глоссария ситуационного управления понимают как «сценарий развития геопространственного процесса». При этом характерно, что ни одна пространственная ситуация сама по себе не содержит модель объекта диспетчеризации, но все множество ситуаций содержит ситуационно-описанную модель объекта диспетчеризации водного транспорта.



Рис. 2. Диспетчеризация геопространственных ситуаций во времени

Для информационно-расчетной и модельно-алгоритмической интеллектуальной поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления характерными являются следующие факторы:

1. Диспетчеризация геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления требует формирования и ведения априорной базы данных об объекте реализации геопространственного процесса, его функциональных особенностях и способах диспетчерского воздействия на него.

2. Необходимость формализованного описания типовых ситуаций, возникающих при диспетчеризации. Это описание должно быть выполнено на таком алгоритмическом языке, который позволяет отразить основные параметры и логические связи, существенные для классификации элементов данного описания. Важно рационально выбрать релевантный уровень описания ввиду следующих обстоятельств:

- при слишком подробном описании возникает «эффект шума», т. е. несущественные для управления факты значительно усложняют понимание сути ситуации;
- при слишком грубом описании может быть утрачена специфика классов и типов навигационных ситуаций.

3. Язык описания навигационных ситуаций при диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта должен давать возможность отражать качественные знания, которые не могут быть формализованы в обычном алгоритмическом смысле, т. е. это должен быть язык, позволяющий описывать знания в виде продукций, фреймов или семантических сетей.

4. Классификация навигационных ситуаций, объединение их в группы, типы и классы в случае применения одноэтапных диспетчерских решений происходит, как правило, на субъективной основе. Программная система поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления суммирует знания экспертов и специа-

листов, становясь базой коллективного опыта. При этом процедуры классификации должны быть построены так, чтобы такая классификация могла быть использована для тех навигационных ситуаций, о которых система поддержки диспетчеризации не получила данных и знаний от экспертов. Это ведет к тому, что классификация становится аналогичной задаче формирования базы понятий.

5. Системы поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления не могут рационализировать процесс диспетчеризации. Эти системы направлены на реализацию таких управленческих воздействий, когда достигаемые результаты будут не хуже лучших (эталонных) результатов, которые может получить человек.

6. Для многих геопространственных процессов водного транспорта одноэтапные решения не определяют стратегии диспетчеризации. При таких геопространственных процессах, как объекты диспетчеризации, необходимо формировать в качестве итоговых решений цепочки из одноэтапных решений. Именно таким образом формируются более сложные решения по диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления [8], [9].

Полная реализация указанных свойств в процессе поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления позволяет сделать вывод о возможности воплощения в жизнь предлагаемой модели. Дальнейшая ее детализация возможна по различным направлениям, что наглядно показано в работах [10], [11]. Схематично логическую структуру модели поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления на концептуальном уровне обобщения можно представить в виде рис. 3.



Рис. 3. Логическая структура модели поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления

Предлагаемая модель является основой для проектирования, разработки и создания интеллектуальных программных комплексов для АСДПП на основе использования передовых принципов ситуационного управления. Такие комплексы прикладного программного обеспечения обладают беспрецедентным уровнем технологической сложности реализации, так как они ориентированы прежде всего не на обработку данных о перемещении каждого судна, а на отслеживание пространственных ситуаций на фоне данных о географическом театре, а также оценку их опасности. Данные комплексы, как правило, имеют распределенную клиент-серверную архитектуру, включают ряд служебных баз данных, специализированный геоинформационный интерфейс пользователя и встроенную подсистему работы со знаниями. На сегодняшний день, как показывает анализ работ [12]–[14], устоявшейся архитектуры программных комплексов интеллектуальной поддерж-

ки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления не существует. Однако в качестве примера можно привести вариант архитектуры апробационного проекта авторов настоящего исследования программного комплекса поддержки диспетчерских решений по контролю за прибрежными акваториями (рис. 4).

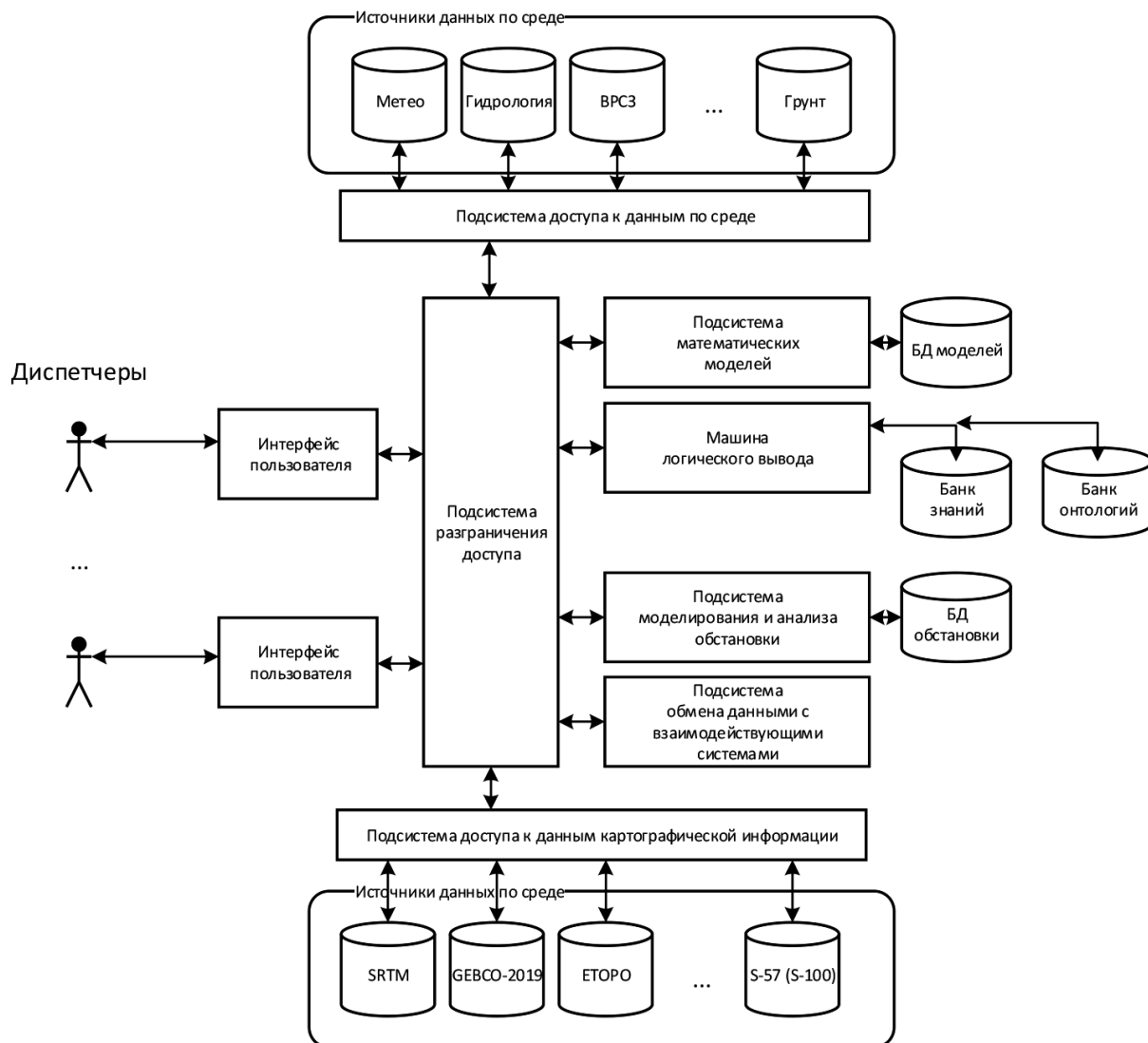


Рис. 4. Пример архитектуры программного комплекса поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления

Особую роль в рамках программных комплексов интеллектуальной поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления играет функциональность, связанная с применением цифровых картографических наборов данных. При этом в качестве базовой основы модели обстановки предполагается применение геопространственных данных. Информационная модель обстановки создается на основе данных составных частей и источников системы диспетчеризации пространственных процессов. Она представляет собой множество условных знаков геопространственных объектов, нанесенных на электронную карту и отображающих существование объектов реального мира, наличие инфраструктуры и природной среды в рамках заданного геопространственного района. Информационная модель обстановки — это базовая основа, на основе анализа которой выполняется определение класса складывающейся в процессе функционирования системы диспетчеризации пространственной ситуации. Также на ее основе производится прогноз развития пространственной ситуации и выра-

батываются диспетчерские воздействия, обеспечивающие решение заданного круга задач диспетчеризации в объективно складывающейся обстановке. Для формирования динамического аспекта обстановки используются системно обновляемые геопространственные данные. Такие цифровые данные могут применяться, поступая как от источников информации, так и после предварительной обработки экспертной системой специальными логико-математическими методами. Разработанные методы пространственного моделирования позволяют сегодня формировать на основе геопространственных данных как двух-, так и трехмерные модели обстановки. Таким образом, применение геопространственных данных для оценки ситуации и выработки диспетчерских воздействий позволяет более обоснованно принять диспетчерское решение о классе выявленной геопространственной ситуации, а также необходимости применения диспетчерских воздействий на контролируемые пространственные процессы.

Обсуждение (Discussion)

Возможности и ожидаемый эффект от реализации модели поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления необходимо рассматривать в тесной связи с этапами развития идеологии ситуационной диспетчеризации, обобщенно описанной, например, в источниках [15]–[17]. Это определяется тем, что знания и представления специалистов об уровне и значимости интеллектуальной поддержки диспетчеризации геопространственных процессов в АСДПП водным транспортом изменялись по ходу развития технологий разработки программного обеспечения, улучшения методов и средств интеллектуализации диспетчеризации и совершенствования искусственного интеллекта как самостоятельного научного направления.

Необходимо констатировать, что общепризнанной и внутренне взаимосвязанной теоретической платформы для реализации принципов и методов ситуационного управления геопространственными процессами водного транспорта, а также совершенствования соответствующих программных комплексов на сегодняшний день не существует. Методология диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления строго не структурирована и формируется по междисциплинарному принципу. В силу этого основные научные результаты этого направления исследований во многом имеют несистемный характер, что, в свою очередь, определяет эмпирический путь развития многих перспективных прикладных программных и информационных технологий ситуационного управления пространственными процессами. Повышение результативности программных комплексов поддержки ситуационного управления в диспетчеризации следует рассматривать в качестве базового фактора совершенствования и развития АСДПП водным транспортом в целом. Этот вывод обусловлен экспоненциальным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров водного транспорта, находящихся на различных прибрежных акваториях и при разной географии интенсивных перевозок. Добиться такого повышения возможно за счет внедрения научно-обоснованных и апробированных схем организации соответствующей интеллектуальной поддержки диспетчеризации, опирающейся на широкое использование цифровых картографических наборов пространственных данных при разработке соответствующего программного обеспечения: от концептуальной постановки до сдачи заказчику в эксплуатацию.

При существующей интенсивности трафика водного транспорта и перспективах его роста системы и технологии диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления находят все большее применение. Конструктивное начало этого применения определяется рассмотрением множества геопространственных процессов как некоторой последовательности геопространственных навигационных ситуаций, вытекающих органично одна из другой и требующих оперативного пространственно-корректного и безопасного разрешения. Постоянный учет того, что в прямой зависимости от текущих диспетчерских решений развитие навигационной ситуации может приобретать несколько вариантов исходов, приводит к появлению фиксированного ряда так называемых *производных ситуаций*. Данное

обстоятельство и составляет конструктивную суть диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления.

Данный способ решения на практике реализуется в использовании возможностей соответствующих программных комплексов интеллектуальной поддержки деятельности диспетчеров водного транспорта на конкретных акваториях. Именно в качестве методологической основы для системного проектирования и создания архитектуры таких программных комплексов и предлагается разработанная и представленная модель. Научный характер модели поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления определяется ее общностью для релевантного класса автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на соответствующих водных акваториях, обобщением совокупности субмоделей и технологий ситуационного управления для условий процесса создания, комплексирования и сопровождения перспективных программно-информационных систем диспетчеризации.

В свою очередь, перспективность разработки и развертывания новых АСДПП геопространственных процессов водного транспорта определяется прежде всего реализацией новейших компьютерных технологий в современных интеллектуальных моделях диспетчеризации и средствах поддержки соответствующих решений в вопросах оперативного обеспечения навигационной безопасности судов. В современном понимании понятие «качество диспетчеризации» базируется на результативности ситуационного управления и возможностях реализации перспективных моделей ситуационного управления. Представленная логическая архитектура программных комплексов поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления, а также результаты ее практической апробации позволяют сделать вывод о реализуемости предлагаемого методологического подхода. На основе ранее описанного подхода к ситуационному моделированию геопространственных процессов водного транспорта возможна реализация соответствующей схемы применения цифровых картографических наборов данных для интеллектуальной поддержки принятия решений при диспетчеризации геопространственных процессов, а также определение основных способов, необходимых для реализации ее функциональности. Представленная на рис. 4 типовая архитектура приложения учитывает возможности интеграции цифровых картографических наборов данных в составе систем интеллектуальной поддержки принятия решений при диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование предлагаемой модели поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта дает новые потенциальные возможности для внедрения методик ситуационного управления в сфере организации и логистики навигации судов. Разработанную модель наиболее эффективно в дальнейшем использовать в качестве методологического инструментария (базиса) инженера-системотехника, инженера-программиста, применяемого в ходе проектирования и разработки прикладного программного обеспечения подсистем ситуационного управления перспективных автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов водного транспорта.

2. Очевидна также перспективность дальнейшей адаптации методов, моделей и методик интеллектуальной поддержки диспетчеризации для различных вариантов интеграции цифровых картографических наборов пространственных данных. Данный подход уже сегодня является предметом интереса специалистов в области создания геоинформационных приложений для социкиберфизических систем, что подтверждается публикациями [18], [19]. Он может быть интересен специалистам по автоматизации управления водным транспортом, а также исследователям, использующим цифровые картографические наборы геопространственных данных в решении задач диспетчеризации речного и других видов транспорта.

3. Дальнейшие направления моделирования поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе принципов и методов ситуационного управления связаны с постановкой и решением задачи поиска оптимальных методик классификации и распознавания опасных ситуаций для объектов водного транспорта, систематизации признаков различных опасностей, практического внедрения конкретных способов и приемов разрешения навигационных ситуаций и др. Очевидная перспективность этих направлений деятельности позволяет прогнозировать появление большого объема исследовательских научных работ по внедрению методов ситуационного управления в автоматизированные системы диспетчеризации геопространственных процессов на морском и речном транспорте.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-07-00437).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Д. А. Анализ тенденций изменения принципов управления предприятиями в условиях развития технологий индустрии 4.0 / Д. А. Иванов, М. А. Иванова, Б. В. Соколов // Труды СПИИРАН. — 2018. — № 5 (60). — С. 97–127. DOI: 10.15622/sp.60.4.
2. Ивакин Я. А. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте / Я. А. Ивакин, С. В. Мичурин, М. С. Смирнова // Радиотехника и электроника. — 2015. — № 4. — С. 56–64.
3. Мичурин С. В. Результативность и качество программных комплексов ситуационного управления для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта / С. В. Мичурин, Я. А. Ивакин // Информационно-управляющие системы. — 2016. — № 4 (83). — С. 19–25. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.4.19.
4. Муся А. М. Обеспечение эффективности геоинформационных систем управления пространственными процессами / А. М. Муся, Я. А. Ивакин // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой. — 2015. — № 1. — С. 151–159.
5. Курейчик В. В. Муравьиный алгоритм для решения оптимизационных задач с явно выраженной целевой функцией / В. В. Курейчик, М. А. Жиленков // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. — 2015. — № 2 (22). — С. 10–12.
6. Печенкин В. В. Прикладные аспекты использования алгоритмов ранжирования для ориентированных взвешенных графов (на примере графов социальных сетей) / В. В. Печенкин, М. С. Королёв, Л. Б. Дмитриев // Труды СПИИРАН. — 2018. — № 6 (61). — С. 4. DOI: 10.15622/sp.61.4.
7. Юсупов Р. М. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации / Р. М. Юсупов, В. П. Заболотский. — СПб.: Наука, 2016. — 542с.
8. Воротников В. И. Метод линеаризующей обратной связи в задаче управления по части переменных при неконтролируемых помехах / В. И. Воротников, А. В. Вохмянина // Труды СПИИРАН. — 2018. — № 6 (61). — С.3. DOI: 10.15622/sp.61.3.
9. Ajwani D. Average-case analysis of incremental topological ordering / D. Ajwani, T. Friedrich // Discrete Applied Mathematics. — 2010. — Vol. 158. — Is. 4. — Pp. 240–250. DOI: 10.1016/j.dam.2009.07.006.
10. Мичурин С. В. Структурирование информационных показателей безаварийности пространственных процессов / С. В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. — 2016. — № 9. — С. 45–48.
11. Dobrowski J. Real-time Web-based GIS for Analysis, Visualization, and Integration of Marine Transport Environment Data / J. Dobrowski, M. Kulawiak, M. Moszynski, K. Bruniecki, L. Kaminski, A. Chybicki, A. Stepnowski // Information Fusion and Geographic Information Systems. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. — Pp. 277–288. DOI: 10.1007/978-3-642-00304-2_19.
12. Ивакин Я. А. Взвешивание иерархии показателей оценки качества программно-аппаратных комплексов данных / Я. А. Ивакин [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. — 2017. — № 5. — С. 103–107.
13. Ивакин Я. А. Обеспечение качества программно-аппаратных комплексов для центров хранения и обработки данных / Я. А. Ивакин [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. — 2018. — № 3. — С. 145–150.
14. Дюваль П. М. Непрерывная интеграция. Улучшение качества программного обеспечения и снижение риска / П. М. Дюваль, С. Матиас, Э. Гловер. — СПб.: Символ, 2016. — 240 с.

15. Watson D. F. *A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data* / D.F. Watson. — Oxford Pergamum Press, 2009. — 321 p.
16. Walford N. *Geographical Data Analysis* / N. Walford. — 1st edition. — Wiley, 1995. — 458 p.
17. White F. E. A model for data fusion / F.E. White // *Proc. 1st National Symposium on Sensor Fusion*. — 1988. — Vol. 2. — Pp. 149–158.
18. Ammar A. B. Query optimization techniques in graph Databases // *International Journal of Database Management Systems (IJDMS)*. — 2016. — Vol. 8. — No. 4. DOI: 10.5121/ijdms.2016.8401.
19. Sarma A. D. Fast distributed pagerank computation / A. D. Sarma, A. R. Molla, G. Pandurangan, E. Upfal // *Theoretical Computer Science*. — 2015. — Vol. 561. — Pp. 113–121. DOI: 10.1016/j.tcs.2014.04.003/.

REFERENCES

1. Ivanov, Dmitry Alexandrovich, Marina Alexandrovna Ivanova, and Boris Vladimirovich Sokolov. “Analysis of transformation trends in enterprise management principles in the era of industry 4.0 technology.” *SPIIRAS Proceedings* 5(60) (2018): 97–127. DOI: 10.15622/sp.60.4.
2. Ivakin, Ya.A., S.V. Michurin, and M.S. Smirnova. “Automated systems for situational management and dispatching of air transport spatial processes.” *Radio industry* 4 (2015): 56–64.
3. Michurin, S.V., and Ya.A. Ivakin. “The Effectiveness and Quality of Situational Management Software for Automated Dispatching of Air Transport Spatial Processes.” *Information and Control Systems* 4(83) (2016): 19–25. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.4.19.
4. Musya, A.M., and Ya.A. Ivakin. “Obespechenie effektivnosti geoinformatsionnykh sistem upravleniya pro-stranstvennymi protsessami.” *Voprosy radioelektroniki. Se-riya: Sistemy i sredstva otobrazheniya informatsii i upravleniya spetstekhnikoi* 1 (2015): 151–159.
5. Kureichik, Vladimir Victorovich, and Mikhail Aleksandrovich Zhilenkov. “ANT COLONY algorithms for solving optimization problems with the explicit objective function.” *Informatika, vychislitel'naya tekhnika i inzhenernoe obrazovanie* 2(22) (2015): 10–21.
6. Pechenkin, Vitaly Vladimirovich, Mikhail Sergeevich Korolev, and Lyubomir Vankov Dimitrov. “Applied aspects of ranking algorithms for oriented weighted graphs (on the example of social network graphs).” *SPIIRAS Proceedings* 6(61) (2018): 4. DOI: 10.15622/sp.61.4.
7. Yusupov, R.M., and V.P. Zabolotskii. *Kontseptual'nye i nauchno-metodologicheskie osnovy informatizatsii*. SPb.: Nauka, 2016.
8. Vorotnikov, Vladimir Il'ich, and Anastasiya Vladimirovna Vokhmyanina. “Feedback liniarization method for problem of control of a part of variables in uncontrolled disturbances.” *SPIIRAS Proceedings* 6(61) (2018): 3. DOI: 10.15622/sp.61.3.
9. Ajwani, Deepak, and Tobias Friedrich. “Average-case analysis of incremental topological ordering.” *Discrete Applied Mathematics* 158.4 (2010): 240–250. DOI: 10.1016/j.dam.2009.07.006.
10. Michurin, S. “Structuring of information indexes of spatial processes fail-safety.” *Voprosy radioelektroniki* 9 (2016): 45–48.
11. Dąbrowski, Jacek, Marcin Kulawiak, Marek Moszyński, Krzysztof Bruniecki, Łukasz Kamiński, Andrzej Chybicki, and Andrzej Stepnowski. “Real-time web-based GIS for analysis, visualization and integration of marine environment data.” *Information Fusion and Geographic Information Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. 277–288. DOI: 10.1007/978-3-642-00304-2_19.
12. Ivakin, Ya. A., E. G. Semenova, S. A. Morozov, and M.G. Smirnova. “Deliberation of the hierarchy of indicators for assessing the quality of software and hardware systems.” *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series I. Natural and technical science* 5 (2017): 103–107.
13. Ivakin, Ya. A., S. A. Morozov, V. M. Balashov, and M. S. Smirnova. “Quality assurance of software and hardware complexes for data storage and processing centers.” *Voprosy radioelektroniki* 3 (2018): 145–150.
14. Dyuvai', P.M., S. Matias, and E. Glover. *Nepreryvnaya integratsiya. Uluchshenie kachestva programmogo obespecheniya i snizhenie riska*. SPb.: Simvol, 2016.
15. Watson, D. F. *A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Oxford Pergamum Press, 2009.
16. Walford, Nigel. *Geographical Data Analysis*. 1st edition. Wiley, 1995.
17. White, Franklin E. “A model for data fusion.” *Proc. 1st National Symposium on Sensor Fusion*. Vol. 2. 1988. 149–158

18. Ammar, Ali Ben. "Query optimization techniques in graph Databases." *International Journal of Database Management Systems (IJDMs)* 8.4 (2016). DOI: 10.5121/ijdms.2016.8401/
19. Sarma, A.D., A.R. Molla, G. Pandurangan, and E. Upfal. "Fast distributed pagerank computation." *Theoretical Computer Science* 561 (2015): 113–121. DOI: 10.1016/j.tcs.2014.04.003/

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ивакин Ян Альбертович —

доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук
(СПИИРАН)
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
14-я линия В. О., 39
АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР»
198226, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Чкаловский пр., 46
e-mail: ivakin@oogis.ru

Потапычев Сергей Николаевич —

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук
(СПИИРАН)
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
В. О., 14-я линия, 39
АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР»
198226, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Чкаловский пр., 46
e-mail: potapychev@mail.ru

Ивакин Роман Янович —

инженер-исследователь НИИ «Технологии связи»
Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций имени профессора
М. А. Бонч-Бруевича
193232, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
пр. Большевиков, 22, корп. 1
e-mail: romanivakin2018@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivakin, Yan A. —

Dr. of Technical Sciences, professor,
leading researcher
St. Petersburg Institute for Informatics
and Automation of the Russian Academy
of Sciences
39 14th liniya V.O., St. Petersburg, 199178,
Russian Federation
Concern OCEANPRIBOR JSC
46 Chekalovskiy Av., St. Petersburg, 198226,
Russian Federation
e-mail: ivakin@oogis.ru

Potapychev, Sergei N. —

PhD,
senior researcher
St. Petersburg Institute for Informatics
and Automation of the Russian Academy
of Sciences
39 14th liniya V.O., St. Petersburg, 199178,
Russian Federation
Concern OCEANPRIBOR JSC
46 Chekalovskiy Av., St. Petersburg, 198226,
Russian Federation
e-mail: potapychev@mail.ru

Ivakin, Roman Ya. —

Engineer- Researcher
of SRI "Technologies of Telecommunication"
The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University
of Telecommunications
22/1 Bolshevikov Av., St. Petersburg, 193232,
Russian Federation
e-mail: romanivakin2018@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13 мая 2019 г.

Received: May 13, 2019.