

## SPLINE STANDARD OF MAPPED INFORMATIVENESS OF CORRELATION-EXTREME NAVIGATION AS THE POTENTIAL OF CYBERNETIC SITUATIONAL AWARENESS

**I. V. Yuyukin**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

*A hypothesis about the possibility of using a spline standard of mapped informativeness of correlation-extreme navigation as a potential for cybernetic awareness is put forward. The expediency of understanding cybernetic awareness as an ontological engineering of the geometric implementation of a spline fragment of mapping to ensure the principle of alternative positioning is revealed. The forecast of the achievability of the effect of the vessel location predictability in the local environment of the satellite signals incapacity in the practical realization of the potential of situational awareness is made. The possibility of conceptual resistance of the developed algorithms of malicious virtual interference due to the unique composition of spline functions in assessing the vulnerability of the bridge onboard computers to a cybernetic threat is substantiated. Attention is focused on the fundamental impossibility of distorting the spline standard of informativeness to disrupt the classical process of linking the measured exposure of the navigation field to the reference one to ensure autonomous positioning of moving objects in any hacker attacks on the target mathematical asset. The main reason for the stability of approximation constructions, which lies in the piecewise architecture of the spline, when local violations of mathematical composition do not affect the overall task of forming a realistic navigation isosurface as a graphical structure of semantic modeling, is revealed. The proposals of effective information processing as attributes of cybernetic awareness are tested on the example of computer visualization of measuring fields of bathymetry and maps of magnetic anomalies in the form of fragments of three-dimensional spreading of the planetary magnetic field. The developed package of application programs is adapted to synthesize a spline standard of mapped informativeness in the cybernetic awareness paradigm as an intellectual support for decision-making by a navigator in order to reduce his psychological cognitive load. It is proposed to use the potential of situational awareness as a mathematical support for an automated navigation system with artificial intelligence within the framework of the concept of unmanned navigation in strategic accordance with the A-Navigation project. The fundamental importance of a positive assessment of cybernetic awareness in promoting the practical use of autonomous marine surface vessels in modern navigation practice is determined.*

*Keywords: cybernetic awareness, ontological engineering, vulnerability assessment, semantic modeling, cognitive load, situation awareness.*

**For citation:**

Yuyukin, Igor V. "Spline standard of mapped informativeness of correlation-extreme navigation as the potential of cybernetic situational awareness." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 374–392. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-374-392.

**УДК 656.61.052 656**

## СПЛАЙНОВЫЙ ЭТАЛОН КАРТОГРАФИРОВАННОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ КАК ПОТЕНЦИАЛ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ

**И. В. Ююкин**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Выдвинута гипотеза о возможности использования сплайнового эталона картографированной информативности корреляционно-экстремальной навигации как потенциал кибернетической осведомленности. Выявлена целесообразность понимания кибернетической осведомленности как онтологического инжиниринга геометрической реализации сплайнового фрагмента картографирования для обеспечения*

принципа альтернативного позиционирования. Дан прогноз достижимости эффекта предсказуемости местоположения судна в локальной среде недееспособности спутниковых сигналов при практической реализации потенциала ситуационной осведомленности. Обоснована возможность концептуальной устойчивости разработанных алгоритмов злонамеренного виртуального вмешательства за счет уникальной композиции сплайн-функций при оценке уязвимости бортовых компьютеров мостика кибернетической угрозе. Акцентируется внимание на принципиальной невозможности искажения сплайнового эталона информативности для нарушения классического процесса привязки измеренной экспозиции навигационного поля к опорному для обеспечения автономного позиционирования подвижных объектов при любых попытках хакерских атак на целевой математический актив. Выявлена главная причина устойчивости аппроксимационных конструкций, заключающаяся в кусочной архитектуре сплайна, когда локальные нарушения математической композиции не отражаются на общей задаче формирования реалистичной навигационной изоповерхности как графической структуры семантического моделирования. Апробированы предложения эффективной обработки информации в качестве атрибутов кибернетической осведомленности на примере компьютерной визуализации измерительных полей батиметрии и карты магнитных аномалий в виде фрагментов трехмерного спрединга планетарного магнитного поля. Разработанный пакет прикладных программ адаптирован для синтеза сплайнового эталона картографированной информативности в парадигме кибернетической осведомленности в качестве интеллектуальной поддержки принятия решений судоводителем с целью снижения его психологической когнитивной нагрузки. Предложено использовать потенциал ситуационной осведомленности как математическое обеспечение автоматизированной системы судовождения с искусственным интеллектом в рамках концепции безэкипажного судоходства в стратегическом соответствии с проектом A-Navigation. Определено принципиальное значение положительной оценки кибернетической осведомленности в продвижении практического использования морских автономных надводных судов в современной практике судовождения.

Ключевые слова: кибернетическая осведомленность, онтологический инжиниринг, оценка уязвимости, семантическое моделирование, когнитивная нагрузка, ситуационная осведомленность.

**Для цитирования:**

Ююкин И. В. Сплайновый эталон картографированной информативности корреляционно-экстремальной навигации как потенциал кибернетической ситуационной осведомленности / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 374–392. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-374-392.

### **Введение (Introduction)**

Термин «осведомленность» в рамках подхода оценки кибернетической безопасности фокусирует решение вопросов устойчивости функционирования электронных систем в пространственно-временном континууме как единое онтологическое обоснование с предоставлением математического и компьютерного обеспечения поддержки принятия решений оператору управления подвижных объектов в качестве реализации ситуационной осознанности потенциальной возможности хакерских угроз для своевременной организации корректирующих действий [1]. Под онтологическим инжинирингом понимается используемый метод знаний в определенной предметной области и связанные свойства объектов управления в информационном домене [2], [3]. В практических приложениях кибернетическую осведомленность необходимо расценивать как понимание и контроль состояния профессиональной кибернетической среды в виде информации о критических уязвимостях автоматизированных систем с точки зрения предотвращения хакерских угроз, использующих обнаруженные критические уязвимости с возможностью осуществления релевантного прогноза последствий кибернетических атак на ближайшее будущее [4].

Концепция кибернетической осведомленности с явным положительным эффектом успешно применяется в следующих современных цифровых технологиях: промышленном интернете вещей, 3D-моделировании, нейросети, облачных вычислениях, виртуальной и дополненной реальности, компьютерной имитации на основе цифровых двойников, аддитивных технологиях, промышленном использовании распределенных реестров Blockchain, онтологической формализации системной деятельности, теории нечетких множеств [5]. Ситуационная осведомленность в различных прикладных приложениях реализуется как обеспокоенность по вопросам кибернетической халатности, связанной с переходным периодом цифровой трансформации и изменениями в бизнес-моделях предприятий для поддержания на высоком уровне требований безопасности квалифицированных

специалистов в области информационных технологий. Если раньше компании скрывали инциденты кибернетических атак, то сейчас такие виртуальные инциденты и их последствия предаются огласке с целью нивелирования высокой подверженности ошибкам современных систем управления.

Понятие кибернетической осведомленности трансформировалось из идеи бывшего главного научного сотрудника ВВС США М. Эндсли, суть которой состояла в практическом применении технологии ситуационной осведомленности пилота для валидационной оценки уязвимости компьютерных систем воздушного судна [6]. Исходный принцип ситуационной осведомленности определяется М. Эндсли как когнитивное восприятие оператором элементов окружающей обстановки в едином пространственно-временном континууме при осознанном понимании стратегии управления с проецированием прогнозов персонала в ближайшем будущем [7]. В современном практическом аспекте кибернетическая ситуационная осведомленность понимается как комбинация мер формализованной оценки риска в виде комплекса стратегий обеспечения безопасности на фоне кибернетического ландшафта злоумышленных угроз в единой системе координат на основе *семантического моделирования* [8].

Парадигма кибернетической осведомленности в вопросах безопасности информационного целевого актива *авионики* однозначно формирует прогностический сценарий эффективного предотвращения экстремальных ситуаций в авиации [9]. Аналогично в вопросах безопасности современного судовождения без использования концепции ситуационной осведомленности не может быть эффективного обеспечения защиты бортовых компьютеров навигационного мостика от целенаправленного вектора каскадных кибернетических атак.

В понимании специалистов, занимающихся изучением влияния человеческого фактора осведомленность определяется как интуитивное восприятие элементов деструктивной информационной обстановки с осознанным интерпретированием угроз кибернетической безопасности при проецировании последствий хакерских атак в статус ближайшего будущего [10]. В практической реальности отсутствует четкое осознание экспертами кибернетических прогнозов применимости искусственного интеллекта. В связи с этим необходимо рассматривать функционирование парадигмы ситуационной осведомленности на основе принципа «черного ящика» как понимание того, что при детальном рассмотрении концепции безопасности найдутся существенные неучтенные факторы [11]. Поэтому командную работу в условиях общей осведомленности персонала о ситуации системной безопасности лучше всего поддерживать умеренным уровнем объяснений при реализации разработки стратегии эффективной коммуникации без накладных расходов на связь в процессе организации комфортной когнитивной нагрузки оператора для выполнения динамичных и ограниченных по времени задач [12].

В рамках данного исследования представляется целесообразным применить концепцию кибернетической осведомленности для целей судовождения в приложении использования корреляционно-экстремальной навигационной системы (КЭНС) для реалистичной оценки кибернетической безопасности морского транспорта [13]. Под термином «киберситуационная осведомленность» в судовождении необходимо понимать фактологическую осведомленность в геометрической интерпретации онтологии сплайнового эталона картографирования корреляционно-экстремальной навигации как оптимального синтезирования трехмерного фрагмента геофизического поля для обеспечения принципа, являющегося альтернативным для спутниковых систем позиционирования с синхронной возможностью инициирования кибернетической безопасности КЭНС от непредсказуемого сценария хакерских угроз.

В обстоятельствах неопределенности спутниковых систем проблемы их уязвимости могут быть кардинальным образом нивелированы за счет использования технических средств судовождения, основанных на принципиально иных физических принципах работы. Необходимость поиска дублирующей системы GPS с перспективной системой обработки навигационной информации мотивирована возможностью повышения надежности альтернативного позиционирования для решения спуфинговых и джамминговых проблем в рамках развития концепции ситуационной осведомленности как для аэрокосмической, так и для морской индустрии [14]–[16]. В качестве пер-

спективного варианта автономного позиционирования предлагается *корреляционно-экстремальная навигация* с практической реализацией методов сплайн-функций. Принцип позиционирования корреляционно-экстремальной навигации реализуется как многократно повторяющаяся задача мгновенных сопоставлений последовательности навигационных измерений с графическим эталоном информативности геофизического поля, хранящимся в оперативной памяти бортового компьютера при финальной прогностической оценке правильности результата на основе базовой концепции кибернетической осведомленности.

Практическая реализация потенциала кибернетической осведомленности в судовождении позволяет сделать прогноз достижимости эффекта безусловной предсказуемости местоположения судна в локальной среде недееспособности спутниковых сигналов при оптимальном управлении движением с помощью компьютерного моделирования при условии предвидения точной оценки неопределенности навигационной системы. Апробированные на методах сплайн-функций алгоритмы обеспечения альтернативного позиционирования выполнены в качестве интеллектуальной поддержки судоводительского состава по управлению судном в условиях нештатной ситуации кибернетической угрозы как уязвимости атрибута кибернетической осведомленности.

В ходе практической реализации исследования по вопросам применения сплайн-функций в парадигме кибернетической осведомленности сформулированы следующие задачи:

1. Аналитический обзор проблематики кибернетической осведомленности в судовождении на основе использования концепции информационного эталона КЭНС с целью инновационного обеспечения альтернативы спутниковой навигации.

2. Анализ преимуществ применения технологии кибернетической осведомленности как развитие постулатов ситуационной осведомленности с целью усиления стандартов безопасности судовождения.

3. Рассмотрение вопроса развития концепции кибернетической осведомленности в аспекте дублирования спутниковых систем перспективными вариантами альтернативной навигации.

4. Формирование точки зрения об эффективности применения гипотезы кибернетической осведомленности в качестве формализованной оценки риска в морской навигации.

5. Адаптация к задаче корреляционно-экстремальной навигации алгоритмов сплайн-функций с целью моделирования эталона информативности как постулата кибернетической осведомленности.

6. Модификация прикладных паскаль-программ применительно к задаче оптимизации компьютерной трехмерной визуализации картографического эталона КЭНС на основе использования гибридного алгоритма двумерной аппроксимации.

### **Методы и материалы (Methods and Materials)**

Предполагается использовать синтезированный сплайновый эталон картографированной информативности как потенциал кибернетической осведомленности. Инновационный подход позиционирования основан на мгновенном сопоставлении полученных измерений навигационного поля с априорной информацией о нем, хранящейся в оперативной памяти бортового компьютера. Фактически модифицированный процесс навигации движущегося объекта реализуется как многократно повторяющаяся задача так называемой *привязки измерительного фрагмента*, зафиксированного бортовой аппаратурой в процессе движения, к предварительно созданному эталону картографированного поля с геометрически замкнутой географической областью. Задача навигации, в конечном счете, сводится к совмещению двух изоповерхностей при автоматическом определении максимальной степени близости текущего измерительного изображения к опорному эталону навигационного поля как атрибуту кибернетической осведомленности.

Под *информативностью* понимается мера, определяющая эффективность использования изотропного поля для вычисления координат местоположения транспортного средства. Вариативно информативность поля, характеризующегося неоднородностью по разным направлениям, может быть представлена в виде карты. Картографирование позволяет выделить области геофизического

поля, пригодные для целей навигации с дальнейшим их использованием для выбора информативного маршрута транспортного средства. Характеристики информативности поля могут служить в качестве показателей, определяющих возможность использования данных измерений физических параметров для решения навигационной задачи на основе использования КЭНС.

Применение картографированной информативности в целях навигации реализуется при наличии на борту виртуального носителя эталонной карты зоны коррекции навигационного поля. Навигационный датчик сканирует фрагмент поля в виде последовательности отсчетов физических данных с постоянным шагом вдоль траектории. Непосредственная задача метода коррекции состоит в том, чтобы путем привязки измеренного фрагмента поля к эталонной карте постоянно фиксировать географические координаты. Уточнение измерений выполняется методом поиска максимального или минимального экстремума функционала сравнения измеренного фрагмента с эталоном, полученным из информативности карты навигационного поля для безусловного подтверждения гипотез об искомых навигационных параметрах.

В ситуации кибернетической угрозы практически невозможно исказить сплайновый эталон картографированной информативности как визуализированную базовую экспозицию. Манипуляция графическими всплесками невозможна на основе зловредного оперирования специальными математическими коэффициентами методом искусственных алгоритмических подстановок, так как в реальности в бортовом обеспечении программы заложено использование машинных кодов, а не работа с файлами в исходных текстах языка программирования. Кроме того, уникальная математическая композиция сплайн-функций концептуально противодействует стороннему вмешательству злоумышленников. Таким образом, ни при каких обстоятельствах не нарушается классический процесс привязки измеренного фрагмента навигационного поля к опорному эталону, и тем самым обеспечивается автономное точное позиционирование подвижных объектов при попытках хакерских атаках на целевой математический актив.

Главная причина устойчивости сплайновых конструкций заключается в кусочной математической архитектуре сплайна, когда локальные нарушения математической композиции не отражаются на общей задаче аппроксимации. Базисные финитные функции алгоритмически препятствуют злоумышленной трансформации многозвенной структуры. Кубический  $B$ -сплайн может быть выражен в виде разложения на набор многочленов на каждом пятикратном узлом полигона сеточных контрольных точек [17]. Пять опорных точек, характеризующих кубический  $B$ -сплайн, алгоритмически минимизированы до числа базовых точек данного интерполянта, что позволяет непосредственно сформировать процесс оптимизации интерполяции в глобальном масштабе, нивелируя возможные локальные искажения.

Кибернетическое преимущество изоповерхности, построенной при помощи  $B$ -сплайнов третьей степени, заключается в том, что изменение одной из характеристических точек линии равного значения навигационного параметра вызывает изменение только четырех последовательных сегментов изолинии, что фактически означает локальность корректировки общей формы без стратегической модификации всей изолинии, поскольку сплайн представляет собой вторичную абстракцию по отношению к оригинальной изоповерхности. Ассоциированный финитный сплайн, синтезирующий по пяти дискретным данным в каждом элементе сплайнового набора искусственную кусочную конструкцию, не заменяет фактическую интерполируемую кривую, но при этом формирует максимально близкую к реальности навигационную изолинию. В худшем варианте кибернетической атаки даже искаженный единичный  $B$ -сплайн не препятствует последовательному соединению фрагментарных носителей без резких функциональных изменений и разрывов, что формирует реалистичную «склеенную» геометрическую форму в целом при любых геометрических неблагоприятных обстоятельствах. Дополнительным фактором кибернетической неуязвимости является запрограммированная возможность целенаправленного варьирования группой масштабирующих коэффициентов на основе всестороннего понимания теории сплайн-функций и определенного интеллектуального искусства синхронного балансирования сплайновыми параметрами.

Стратегически кибернетическую защиту обеспечивает корреляционно-экстремальная доктрина как система обработки информации на основе реализации целевой функции, предназначенной для определения координат движения. Для формирования экстремума традиционно используется корреляционное свойство достижения максимума при нулевом значении аргументов. Практическое применение исследуемого помехоустойчивого подхода автоматически создает проблему эффективного синтеза математической модели навигационного поля как базовой основы обеспечения безопасности корреляционно-экстремальной навигации.

Уровень изучения ситуационной осведомленности как предпосылки кибернетической осведомленности за последние три десятилетия позволяет исследовать не только кибернетические конструкции, но и давать оценку чувствительности и прогнозирования в аспекте корреляции с объективными показателями информированности о ситуации. С целью достижения конкретных результатов использовался ряд подходов: применение показателей эффективности и меры, направленные на оценку уровня знаний и понимания оператора о ситуации посредством прямого опроса индивида. Большинство исследований были сосредоточены на непосредственном определении *человеческого фактора* как источника знаний посредством субъективной или объективной оценки. Проведение рейтингов наблюдателей ситуационной осведомленности позволяет преодолеть определенные проблемы с самооценкой, но этот процесс еще подвержен влиянию субъективных факторов в вопросе эффективности функционирования сложной технической системы, поскольку сторонние наблюдатели имеют ограниченную информацию о ментальном состоянии человека, работающего внутри сложной технической системы.

Несмотря на то, что указанные показатели дают условное представление о том, как персонал развивает ситуационную осведомленность, фактически они могут использоваться только для косвенного определения качества и полноты результирующей концепции осведомленности в виде понимания состояния знаний о ситуации, полученных вовлеченными лицами. Знания и возможности отдельного человека, а также доступные системные интерфейсы определяют степень успешности используемых процессов при создании точного понимания ситуационной осведомленности. Поэтому даже два человека, вовлеченные в один и тот же процесс, могут не достигнуть одинаковой степени осведомленности. Кроме того, эти методы, как правило, дают лишь частичное представление о том, какая информация обрабатывается и как именно она используется для формирования проекционного понимания ситуации в смысле оперативного принятия обоснованных решений. Хотя сбор данных о производительности автоматизированной системы в целом презентативен, но основным ограничением этого класса мер является то, что они позволяют сделать вывод о ситуационной осведомленности только косвенно, что может являться аргументом без достаточной детализации или диагностичности о том, что, по мнению оператора, происходило на самом деле.

Двумя наиболее часто используемыми технологиями практического применения ситуационной осведомленности являются методика глобальной оценки и текущая оценка существующей ситуации [18]. При использовании глобальности моделирование репрезентативных задач или сценариев замораживается в течение случайно выбранного времени, когда персонал быстро отвечает на вопросы о текущем восприятии ситуации. Вопросы могут быть сформулированы устно или на компьютере для удобства администрирования. Затем восприятие людей сравнивается с реальной ситуацией на основе семантического моделирования для обеспечения объективной оценки ситуационной осведомленности. Оценка некоторых запросов, связанных с пониманием ситуации, может быть предоставлена экспертами по предмету, которые хорошо владеют ситуацией на момент фиксации. По результатам опроса получают несколько «моментальных снимков» ситуационной осведомленности с обеспечением оценки качества ситуации конкретным дизайном системы. Глобальный подход предоставляет объективную, непредвзятую оценку ситуационной осведомленности на основе обработки запросов в произвольное время по сценарию как в периоды высокой, так и в периоды низкой рабочей нагрузки, он содержит запросы широкого спектра требований ситуационной осведомленности для данной работы, включая восприятие данных, понимание смысла и прогнозирование на ближайшее будущее.

Риски прогнозирования включают предсказание функционирования и возможного статуса системы, а также определение соответствующих особенностей внешней среды и команды специалистов в зависимости от обстоятельств с представлением результата в процентах правильности для каждого запроса на основе оперативно значимых диапазонов допусков. Глобальная оценка включает запросы по всему спектру индивидуальных требований к ситуационной осведомленности. Этот подход сводит к минимуму возможное смещение внимания, поскольку опрашиваемые не могут подготовиться к опросам заранее. Методика текущего восприятия процесса успешно реализует проверку в режиме реального времени для оценки ситуационной осведомленности. Однако обычно запросы предоставляются в режиме реального времени, в то время как человек выполняет свои обычные оперативные задачи. В дополнение к точности ответа измеряемое время, необходимое для ответа на каждый запрос в устной форме, организует специальный формат мозгового штурма в реальном времени.

Безусловно, важным является изучение существующей исследовательской базы для определения того, насколько хорошо эти два подхода объективной оценки ситуационной осведомленности «работают» с точки зрения чувствительности и прогностической способности. Чтобы получить более четкое представление о полезности и валидности этих двух показателей, был проведен специальный анализ. В процессе эмпирических исследований, посвященных двум указанным методологическим направлениям, были рассмотрены вопросы *потенциальной интрузивности мер* с точки зрения их зависимости от рабочей памяти оператора с учетом компромиссов между скоростью и точностью принятия решений, а также потенциальных проблем с рабочей когнитивной нагрузкой на фоне общего дизайна опроса.

Вопрос, вызывающий озабоченность современных исследователей, заключался в том, *является ли показатель осведомленности прогностическим для оценки ситуации*. Большинство исследований было проведено в авиации, вооруженных силах, управлении технологическими процессами, морской индустрии, а также при изучении вопроса эффективного маневрирования подводных лодок. Было установлено, что глобальные и текущие оценки оказывают одинаковое влияние на производительность мыслительных способностей оператора, однако тщательный анализ показал, что текущая оценка имеет значительно меньшую чувствительность по сравнению с глобальной (64 % против 94 % соответственно) [19].

Таким образом, анализ эмпирических исследований выявил, что меньшая чувствительность текущей оценки напрямую влияет на выполнение основной задачи, затрудняя измерение ситуационной осведомленности с учетом компромиссов между скоростью и точностью принятия решения при корреляции с рабочей когнитивной нагрузкой. Методика глобальной оценки имеет более высокий уровень чувствительности, компенсирующий ограничение памяти оператора. Это дает очевидное преимущество как для индивидуальной, так и для командной оценки ситуационной осведомленности в различных прикладных областях и экспериментальных условиях.

Кибернетическая осведомленность фактически организует вероятностный подход, ориентированный на риск, предназначенный для декомпозиции угроз и оценки нарушений кибернетической безопасности в сложных технических системах [20]. Риск рассматривается как сочетание последствий некоторого инцидента и связанной с ним возможности возникновения нарушений кибербезопасности в качестве экстремальной ситуации [21]. Как формализованное понимание процедуры безопасности судовождения оценка риска является сформированным систематизированным примером практического применения вероятностного прогноза в виде комбинации частоты и ответственности за произошедшее аварийное происшествие с учетом принципов предварительной реализации подхода кибернетической осведомленности.

### Результаты (Results)

Апробированными предложениями эффективной обработки информации в качестве атрибутов кибернетической осведомленности для практического применения корреляционно-экстремальной навигации являются следующие варианты:

1-й вариант — компьютерная визуализация измерительных полей батиметрии для визуализации рельефа подводной топографии фрагментов морской среды Тирренского моря и акватории Вудс-Хоула;

2-й вариант — синтезирование карты магнитных аномалий как виртуального трехмерного спрединга планетарного магнитного поля.

Указанные варианты допускают теоретическое обобщение синтезирования информационных полей методами сплайн-функций при обеспечении оценивания точности сопоставления эталонных моделей с измерительными данными по экстремальным показателям. Картографирование эталона информативности поля на основе кусочной аппроксимации автоматически обеспечивает экономную организацию цифровой базы модельных данных эталона поля. Оптимальные результаты могут быть достигнуты с помощью кубических *B*-сплайнов, обеспечивающих, благодаря конструктивной особенности базисной структуры, четырехкратное сжатие массивов данных по сравнению с традиционными методами [22].

Использование магнитного поля Земли или гридированных данных промеров глубин для навигации представляется перспективным направлением исследований в качестве инновационной альтернативы для других глобальных систем позиционирования. Магнитная навигационная система консолидирует данные магнитометра с использованием карты магнитных аномалий для определения текущего местоположения подвижной технической единицы в масштабе реального времени. Полученные многочисленные экспериментальные результаты в значительной степени подтверждают применимость КЭНС для отслеживания движущихся объектов за счет применения нового принципа позиционирования с оценкой местоположения мобильного транспортного средства посредством анализа данных, репродуцированных бортовыми датчиками магнитного поля.

Важным аспектом успешной практической реализации магнитной и батиметрической навигации является *формирование оптимального эталона картографирования* как меры информативности в парадигме кибернетической осведомленности, определяющей эффективность использования разновидности геофизического поля для получения обсервации. Информативность навигационного поля практически определяется объемной конфигурацией бортовой электронной карты для некоторой площади характерной стохастической поверхности с целью практической реализации процедуры привязки. При этом перспективная навигация с коррекцией по специальной карте реализуется в качестве последовательности мгновенных сопоставлений технических измерений специализированной аппаратуры с эталоном информативности, хранящимся в памяти бортового компьютера. Инновационный вариант навигации необходимо понимать как уточнение измерений на основе поиска глобального экстремума функционала корреляционного сравнения с применением постулата кибернетической осведомленности.

На рис. 1 представлена трехмерная визуализация варианта представления информации по оценке глубины, полученной океанографическим исследовательским институтом штата Массачусетс для акватории Вудс-Хоул [23]. Цифровую модель на основе гридированных данных для трехмерной визуализации подводной топографии, приведенную на рис. 1 с математической точки зрения можно охарактеризовать как классическую блочную матрицу, каждый элемент которой задействуется при визуализации изображения 3D-формата для каждого отдельного пикселя объемной электронной карты.

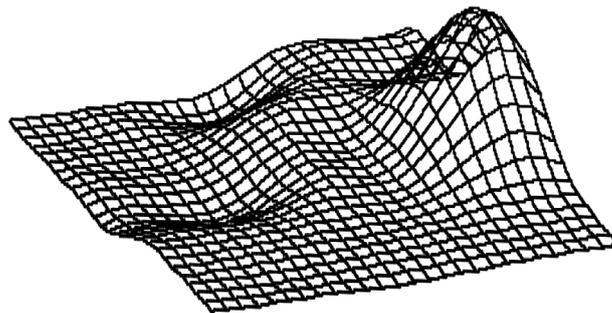


Рис. 1. Трехмерная визуализация гридированных данных синтезированного картографирования подводной топографии Вудс-Хоул

Абстрактный характер конкретизированного представления матриц получает конкретное воплощение при программной реализации гибридного сплайнового алгоритма для визуализации моделирования профиля дна судоходных акваторий. Гридированные данные при этом интерпретируются как результаты промеров глубин с переменным разрешением для формализованного представления двумерной сетки зафиксированных измерений для восстановления навигационной изоповерхности в трехмерном пространстве. Координатный набор узлов выполняет роль математической основы для синтеза поверхности морского дна с целью визуализации трехмерного отображения подводного ландшафта в электронной картографии. Наборы батиметрических данных должны быть предварительно обработаны на основе алгоритма регулярно структурированной сетки и преобразованы в цифровую модель рельефа местности с помощью методов интерполяции в целях информационного обеспечения различных векторных слоев электронной карты.

Скриншот как графический результат работы пакета прикладных программ по синтезированию топографии морского дна с использованием методов сплайн-функций показан на рис. 2 в парадигме расширения возможностей универсального стандарта обмена гидрографических данных S-100 [24]. На основе технологии сплайн-функций на данном рисунке восстановлена трехмерная перспектива изолинейной батиметрической модели исследованной акватории Тирренского моря.

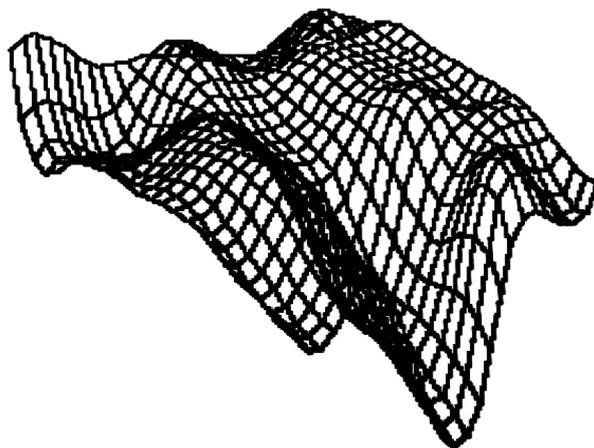


Рис. 2. Трехмерная визуализация сплайнового картографирования топографии дна морской акватории Тирренского моря

Математическое синтезирование изоповерхности подводной топографии восточного побережья о-ва Джильо реализовано на основе апробированной гибридной сплайновой модели при использовании измерительных батиметрических данных. В качестве сеточной основы для реализации сплайновой технологии использовалась матрица размером  $9 \times 15$  в соответствии с оцифровкой географической системы координат при общем количестве 135 измерительных фиксаций глубины. По широте задействовались девять узловых точек, по долготе — 15 точек. С целью достижения реалистичности изображения были введены дополнительные узловые точки на основе принципа деления первоначальных сеточных сегментов пополам. При внимательном изучении рисунка можно установить, что топография морского дна по форме напоминает чашу, глубина которой увеличивается по мере удаления от береговой линии.

Смоделированная объемная карта магнитных аномалий на рис. 3 представляет практическую целесообразность в целях околосредней навигации в рамках проекта аэронавигационного применения аномалий магнитного поля Земли в вопросе магнитного позиционирования на основе графической трансформации экспериментального опыта в виде сплайнового эталона информативного картографирования. По последним опубликованным научным данным, практическое применение магнитного позиционирования в перспективной авионике обеспечивает превосходство инновационного подхода в реальных результатах погрешности определения координат в 10 м, что, в принципе, сопоставимо с точностью спутниковой навигации [25].

В качестве цифровой сеточной основы сплайновой технологии использовалась базовая матрица размером  $9 \times 9$  при общем количестве восьмидесяти одной реперной точки как репродуцированных цифровых значений с контурной карты изолиний. По широте и долготе было задействовано девять узловых точек. С целью гладкого приближения продемонстрированной на рис. 3 трехмерной перспективы карты магнитных аномалий использовались 36 добавочных точек по каждой координате на фрагментированном аппроксимационном полигоне. Добавочные точки интерполяции выбирались каждый раз строго посередине сеточного интервала текущей расстановки сплайновых узлов согласно *схеме Марседена*. Две графические позиции всплесковых увеличений напряженности исследуемого магнитного поля синхронно воспроизведены на рисунке геометрическими флуктуациями как артефакты сплайновой перспективы восстановленной изоповерхности [26].

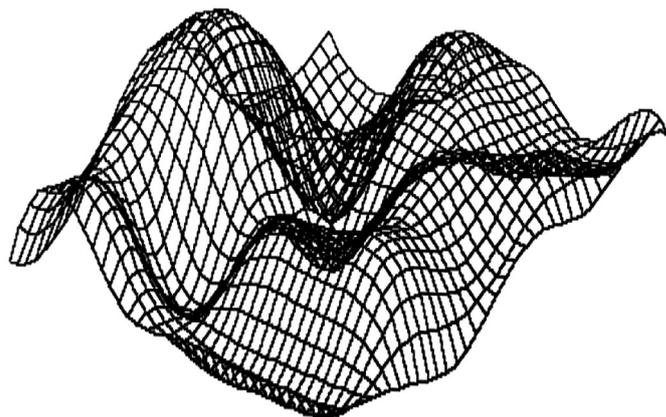


Рис. 3. Скриншот сплайн-аппроксимированной карты магнитных аномалий

Приведенные примеры на рис. 1–3 необходимо расценивать как конкретные возможности практической реализации потенциала кибернетической осведомленности. Представленная геометрическая информация как исходная основа ситуационной осведомленности имеет решающее значение для поддержки принятия решений искусственным интеллектом в существующих автономных системах судоходства, поскольку окончательное решение реализуется на основе строгих графических сопоставлений. Предлагаемый подход может быть использован как математическое обеспечение будущей автоматизированной системы судовождения с искусственным интеллектом в рамках концепции безэкипажного судоходства в стратегическом соответствии с проектом A-Navigation.

### Обсуждение (Discussion)

Предполагается, что в ближайшем будущем в водной транспортной системе будут сосуществовать суда с разной степенью автономности, образуя комбинированную водную транспортную систему. Это означает, что различные суда с разной степенью автономности будут функционировать в общем сценарии координации движения, образуя новый тип водной транспортной системы с неукоснительной реализацией условия обеспечения безопасного кибернетического состояния A-Navigation при снижении влияния человеческого фактора за счет внедрения систем искусственного интеллекта. Следовательно, автономное морское судно должно быть в полной мере осведомлено о ситуационной безопасности в режиме реального времени.

Представляется важным унифицировать структуру кибернетической осведомленности для реализации процесса осознания ситуации безопасности судовождения как восприятие, осмысление и поддержку принятия решения в практическом приложении в виде проекционного слоя *ситуационной осведомленности*. Как возможный способ достижения кибернетической осведомленности необходимо выделить интегрирование информации ситуационного восприятия в реальном времени, а также учет дополнительных знаний предметной области и данных разнородных датчиков для совершенствования архитектуры информирования о безопасности судовождения.

Дорожная карта кибернетической осведомленности является основным инструментом для выполнения задач уровня понимания осознанности ситуации, представляющей собой подход к достижению цели путем сопоставления информации, относящейся к ситуационной безопасности, формируемой из различных аспектов. Уровень восприятия ситуационной осведомленности включает следующие компоненты: статус судна, состояние оборудования, план маршрута, безопасное уклонение от препятствия, а также погодные условия. Обзор процесса осознания ситуационной безопасности в режиме реального времени дан на рис. 4 [27].

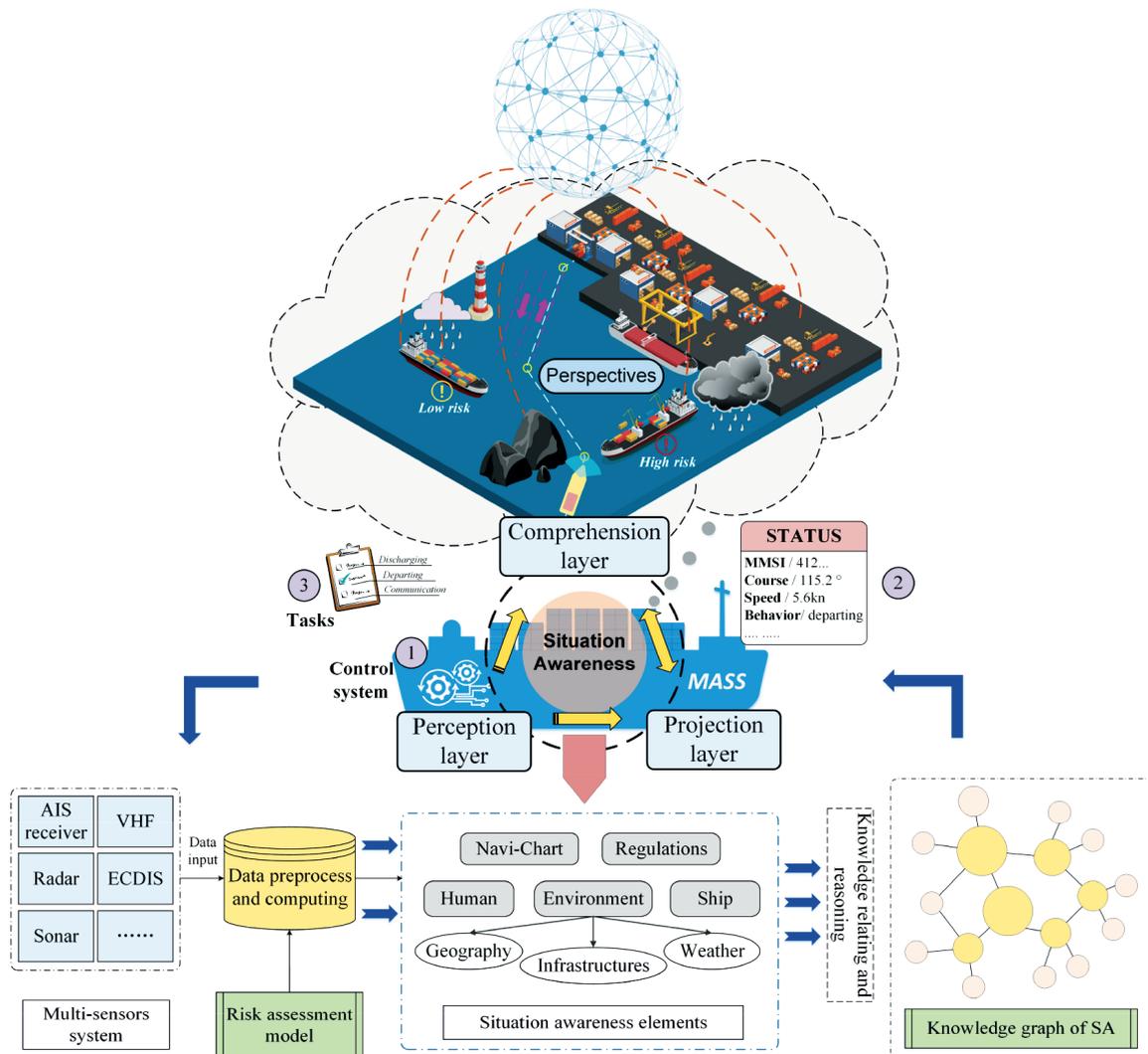


Рис. 4. Перспективная дорожная карта практического использования кибернетической ситуационной осведомленности в вопросах безопасности судовождения

Перспективная информация извлекается как на уровне понимания, включающем судно и оборудование, маршрут, воздействие событий и чрезвычайных ситуаций, так и на уровне проектирования, включающем трафик и метеорологическую информацию. Как статические, так и динамические данные, полученные с помощью мультисенсорной системы МАНС (в англ. варианте MASS — Maritime Autonomous Surface Ships), являются основой анализа ситуационной осведомленности на уровне восприятия осознания ситуации. Уровень осознания ситуации может достигаться МАНС при учете знания как на уровне восприятия, так и на уровне прогнозирования.

Три базовых уровня: понимание, восприятие, прогнозирование в рамках кибернетической онтологии формируют феномен ситуационной осведомленности как замкнутый цикл обмена информацией, что отражено в центральной части рис. 4. Для эффективной организации семантического

объединения вводится *концепция онтологического инжиниринга* с представлением различных ситуационных сценариев реального мира. Процесс включает различные функции для создания структурного графа знаний.

Основная цель дорожной карты ситуационной осведомленности (в английском варианте Situation Awareness) заключается в организации структурного графа знаний, в котором должны быть представлены различные объекты и их взаимосвязи друг с другом. В частности, работа по созданию карты ситуационной осведомленности включает несколько аспектов: расчет взаимосвязи пространственной топологии, идентификацию конфликтов на основе оценки риска и обогащение навигационных условий. Локальная структурная сеть может быть создана с использованием различных источников информации путем установления взаимосвязи между каждым объектом. Сеть ситуационной осведомленности может быть сформирована путем соединения каждого класса объектов для формирования всей сети в целом с целью максимального соответствия каждому элементу ситуации. Таким образом, семантическая онтология фактически поддерживает формирование дорожной карты ситуационной осведомленности.

Данные вводятся в модуль обработки и вычислений для проведения дальнейшего анализа на основе моделей оценки риска для расчета взаимосвязи пространственной топологии проекционного слоя ситуационной осведомленности. Затем они извлекаются в различные категории знаний, которые связаны друг с другом отношениями в виде графика знаний. Наконец, всестороннее понимание ситуационной осведомленности может быть выражено с помощью графика знаний, использующего такие функции, как рассуждение и запрос. С целью достижения ситуационной осведомленности по ситуационной карте можно выделить следующие возможности на уровне понимания: общую ситуацию автономной навигации с оценкой состояния судна, работоспособность оборудования и безопасность маршрута, обогащение оценки навигационного риска, временные и динамические характеристики, знания предметной области для учета чрезвычайных ситуаций. Ситуационная осведомленность, по сути, рассматривается как динамичный процесс. Приобретение дополнительных знаний в предметной области позволяет быть в курсе ситуации (например, строгое соблюдение Международных правил предотвращения столкновений судов (МППСС) при правильном их истолковании).

Для полной осведомленности *необходима концентрация внимания на собственном судне* при игнорировании окружающих объектов в диапазоне взаимодействия. Моделирование дорожной карты ситуационной осведомленности с глобальной точки зрения признается непрактичным, поскольку нереалистичная осведомленность может быть сформирована при различии степеней автономности судна и типов судов. Поэтому элементы сценария осведомленности акцентируются на собственном МАНС с их подробным уточнением в виде представленных в пунктирной рамке пяти расширенных категорий, демонстрируемых на рис. 4 как элементы осведомленности о ситуации и трех категорий в окружении судна, отмеченных светло-фиолетовыми кругами с цифрами 1–3. Таким образом представлены три модуля собственного судна как инициатора осознания ситуации кибернетической осведомленности: 1 — контрольная система управления, 2 — статус судна и 3 — модуль задач. Система управления относится к модулю, который отвечает за проектирование маршрута, принятие решений и реализацию действий. В большинстве обычных случаев данный модуль осуществляет управление МАНС, в то время как в некоторых чрезвычайных ситуациях ответственность за управление передается бортовым операторам в центр дистанционного управления. Модуль состояния судна играет роль отображения характеристик МАНС, включая данные о движении и статические характеристики. Модуль задач отвечает за хранение информации о задачах в общепринятых категориях: навигационные данные, коммуникационные задачи, направленные на взаимодействие со службами на берегу или окружающими судами, и транспортная информация о типе груза и деталях рейса.

Для проверки осуществимости предложенной модели ситуационной осведомленности выбирается фаза движения МАНС из портовой акватории к причалу в качестве примера демонстрации работы модели. Предполагается, что необходимая информация, касающаяся ситуации, может быть получена из системы судовых датчиков. МАНС приближается к пирсу по запланированному маршруту. Как показано на рис. 4, на переходе намечены путевые точки планового изменения курса следования, которые

можно эффективно изменить с целью достижения оптимальной конфигурации целевого маршрута для безопасного уклонения от навигационного препятствия или расхождения с двумя выходящими из порта судами. Видимость для каждого судна в данной ситуации устанавливается таким образом, чтобы они были в поле зрения друг друга на протяжении всего процесса судовождения. В качестве навигационного препятствия имитируется скала, в то время как система разделения движения и маяк указаны для отображения общего антуража дорожной карты ситуационной осведомленности. Кроме того, информация о погоде также предоставляется для полноты ситуационной осведомленности в режиме реального времени. Для оценки состояния движения судов в рамках концепции ситуационной осведомленности разработаны специальные показатели, такие как *риск столкновения* и *навигационная сложность движения*. Многие из этих показателей основаны на парных столкновениях между судами без учета влияния третьих объектов. Однако механизм, позволяющий выйти за рамки парных столкновений, важен для управления морским движением.

Перспективным направлением признается система оценки ситуации с морским движением, которая рассматривает движение как целостный процесс, а не как взаимодействие пары судов [28]. Для эффективного решения вопроса используется теория сложных сетей, и морской трафик моделируется как виртуальная сеть, топологические свойства которой составляют вектор состояния, отражающий профиль ситуационной осведомленности движения морского транспорта. Окружающая среда как один из пяти элементов сценария осведомленности включает физические объекты, влияющие на навигационное состояние судов (см. рис. 4). В частности, данный элемент можно разделить на три категории: география, инфраструктура, погода. Под географическими атрибутами подразумеваются изначально существующие в природе объекты.

Инфраструктура относится к объектам, построенным искусственным образом для логистических целей. Также важно иметь точную информацию о погоде, которая тесно связана с безопасностью навигации посредством прогнозирования видимости. Автоматизированный процесс представляет собой движение судна, при котором пространственно-топологическая взаимосвязь между его траекторией и объектами окружающей среды остается постоянной при сохранении неизменной скорости или курса, т. е. когда изменяются характеристики скорости или курса судов или пространственно-топологическая взаимосвязь между их траекторией и объектами окружающей среды, текущая реализация процесса на основе искусственного интеллекта переходит к следующему этапу моделирования.

В отличие от деятельного следования судна по запланированному маршруту процессное синтезирование является продолжением деятельного движения, описывающего поведение взаимодействия, возникающее между программированием траектории за счет подъема карты с постоянством скорости и курса и объектами в географическом пространстве соответственно. Например, подготовку к постановке на якорь можно рассматривать как поведенческий процесс, который обычно сопровождается серией действий замедления, в то время как траектория сохраняет ту же пространственную топологическую связь с географическим объектом якорной стоянки во время этого процесса до тех пор, пока замедление не будет остановлено как фактор изменения активности морского подвижного объекта. Следовательно, процесс подготовки к постановке на якорь указывает на то, что на судне происходит реализация автоматизированного процесса, связь которого со следующим вариантом процесса осуществляется с помощью анализа судовой активности.

Начало постановки на якорь и акт фактической постановки на якорь, являются моментами, когда заканчивается подготовка к постановке на якорь и происходит процесс непосредственной постановки на якорь как осуществление момента синтезирования последующего процесса. Аналогично пространственная топологическая взаимосвязь между траекторией судна и изменением географического объекта означает, что судно выполняет определенную активность, указывающую на начало организации следующего этапа процесса. Сам процесс, как правило, имеет большой временной и пространственный диапазоны, чем фактическая активность, он демонстрирует, что судно выполняет определенную задачу (например, стоит на якоре) и активность транспортного средства

не меняется в течение этого периода. В отличие от активности математическая формализация процесса не учитывает изменение характеристик движения в виде скорости и курса. Акцент делается на изменение пространственного и топологического состояния между траекторией и окружающей средой.

Судовая активность, которую, в принципе, можно рассматривать как один из компонентов автоматизированного процесса, является условием триггерного феномена между различными процессами и служит для формирования окончания предыдущего процесса и начала следующего. Оценка событий в рамках текущего вида наблюдения, описывающих активность судна, синтезируется как макроскопическое движение относительно текущей контрольной цели в виде взаимосвязи логических и временных условий серии упорядоченных действий. Например, швартовку и снятие с якоря можно рассматривать как одно целостное событие, включающее три сценария процесса: ускорение для снятия с якоря, замедление для подготовки к швартовке и непосредственно швартовную операцию. Автономная маршрутизация судна может обозначать процесс, происходящий в широком временном и пространственном контексте. Например, следование судна из одного порта в другой рассматривается как единое однозначное событие, содержащее несколько сценариев: отправление из порта отхода, несколько последующих сегментарных событий маршрутизации и прибытие в порт назначения. Последовательность макроскопических событий представляет собой семантическую агрегацию действий и процессов со связанными отношениями, позволяющих от тривиальных траекторий перейти к многомасштабному пространственно-временному семантическому синтезу и реализовать многомерное моделирование программного следования судна по запланированному маршруту. На основе многомасштабного анализа можно с позиций онтологического инжиниринга выполнить когнитивное моделирование активности как процесса, что позволяет сформировать систематическую интерпретацию движения судна.

Сближающееся судно является одним из наиболее важных факторов источника риска столкновения, на который следует обращать пристальное внимание. Важно определить взаимосвязь, указанную в МППСС между собственным судном и окружающими потенциально опасными для расхождения судами. Следовательно, необходимо получить данные элементов движения потенциально опасных судов для расхождения, а также полную подробную информацию, необходимую для определения в целом ситуации опасности столкновения. Для этого необходимо интегрировать фактические данные других элементов, таких как окружающая среда и юридические нормативные акты. В этом случае мероприятия по предотвращению столкновений могут быть эффективно реализованы всеми участниками путем совместных действий.

В автоматизированной системе водного транспорта нельзя *игнорировать человеческий фактор*, который включает в себя не только мореплавателей, операторов службы управления движения судов, персонал поисково-спасательных центров, но и менеджеров судоходных компаний. Согласно анализу морских происшествий, в торговом флоте 75 % аварийных инцидентов вызвано ошибочными действиями судоводителя ввиду высокой когнитивной нагрузки вахтенного помощника независимо от наличия современных интеллектуальных технических средств на мостике судна [29].

Электронно-картографическая навигационная информационная система отображает не только объекты окружающей среды, но и виртуальные функциональные объекты. Электронная карта очень важна для того, чтобы судно могло безопасно следовать запланированным курсом и эффективно выполнять поставленные задачи. Для автономной навигации большая часть информации представляется как взаимодействие физических и виртуальных объектов, которые должны быть вычислены МАНС. Для полного понимания ситуации необходимо дополнительно преобразовать обозначенных участников фреймворка ситуационной осведомленности в вычисляемые объекты, пространственные отношения которых могут быть оптимальным образом спрогнозированы в соответствии с теорией пространственной топологии.

Дорожная карта практического использования кибернетической осведомленности (см. рис. 4) демонстрирует пример инновационного реалистичного понимания функционирования МАНС с безусловным условием необходимости интегрирования с концепцией *хорошей морской практики*.

Интеллектуальная идентификация судна в пространственно-временном континууме имеет решающее значение для контроля за безопасностью на водном транспорте при построении когнитивного ориентирования судна, где его оптимальное следование в различных семантических масштабах обеспечивается за счет использования определенных функций онтологии в различных сценариях последовательно от микроскопической до макроскопической перспектив [30].

На основе анализа многомасштабных характеристик судна, отраженных в траектории его движения, синтезированной благодаря логическому способу восприятия судоводителями сложного ситуационного поведения в комбинации с функционированием автоматизированной системы наблюдения, процесс безопасного следования подвижного объекта можно рассматривать как результат применения всеобъемлющего интеллектуального познания, реализованного из постулата осведомленности. Вследствие указанного факта становится реально возможным моделировать интерактивное маневрирование судна с учетом топологической и географической семантики для различных масштабов в когнитивной манере логического рассуждения человека на базе аксиом с ограниченными свойствами. Положительная оценка кибернетической осведомленности имеет принципиальное значение в ситуационном продвижении практического применения концепции A-Navigation.

### Выводы (Summary)

Проведенное исследование актуальности применения сплайнового эталона картографированной информативности корреляционно-экстремальной навигации как потенциала кибернетической ситуационной осведомленности позволяет сделать следующие выводы:

1. Аналитический обзор проблематики кибернетической осведомленности в судовождении показал, что сплайновый эталон картографирования целесообразен практически в качестве инновационного обеспечения корреляционно-экстремальной навигации как альтернативы спутникового позиционирования.

2. Анализ преимуществ применения технологии кибернетической осведомленности подтвердил возможность применения в судовождении постулатов ситуационной осведомленности с целью продвижения возможностей искусственного интеллекта для усиления концепции A-Navigation.

3. Изучение вопроса развития концепции кибернетической осведомленности в части дублирования спутниковых систем перспективными вариантами альтернативной навигации позволяет спрогнозировать принципиальную успешность решения проблемы локальной уязвимости глобальных средств позиционирования.

4. Сформирована точка зрения об эффективности применения гипотезы кибернетической осведомленности в качестве формализованной оценки риска в морской индустрии для информационной поддержки принятия решений.

5. Набор алгоритмов адаптирован под задачу корреляционно-экстремальной навигации сплайн-функций с целью моделирования эталона информативности как постулата кибернетической осведомленности.

6. Апробирована модификация пакета прикладных паскаль-программ применительно к задаче оптимизации компьютерной трехмерной визуализации картографического эталона КЭНС на основе использования гибридного алгоритма двумерной аппроксимации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gaskova D. Cyber Threat Risk Assessment in Energy Based on Cyber Situational Awareness Techniques / D. Gaskova, E. Galperova, A. Massel // Information Systems and Design: Second International Conference, ICID 2021, Virtual Event, September 6–7, 2021, Revised Selected Papers. — Cham: Springer International Publishing, 2022. — Pp. 134–145. DOI: 10.1007/978-3-030-95494-9\_11.
2. Insaurralde C. C. Ontologies to Support Space Traffic Management Awareness / C. C. Insaurralde, E. Blash // 2022 IEEE Aerospace Conference (AERO). — IEEE, 2022. — Pp. 1–10. DOI: 10.1109/AERO53065.2022.9843812.

3. *Массель А. Г.* Онтологический инжиниринг для разработки интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков кибербезопасности энергетических объектов / А. Г. Массель, Д. А. Гаськова // Онтология проектирования. — 2019. — Т. 9. — № 2 (32). — С. 225–238. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238.
4. *Гаськова Д. А.* Методы, модели и комплекс программ анализа киберситуационной осведомленности энергетических объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Гаськова. — Иркутск, 2021. — 24 с.
5. *Гаськова Д. А.* Методики анализа киберситуационной осведомленности об энергетическом объекте / Д. А. Гаськова, А. Г. Массель // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. — 2021. — Т. 19. — № 2. С. 17–28. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-2-17-28.
6. *Endsley M. R.* Situation awareness / M. R. Endsley // Handbook of human factors and ergonomics. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2021. — Pp. 434–455. DOI: 10.1002/9781119636113.ch17.
7. *Endsley M. R.* Situation awareness global assessment technique (SAGAT) / M. R. Endsley // Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference. — IEEE, 1988. — Pp. 789–795. DOI: 10.1109/NAECON.1988.195097.
8. *Гаськова Д. А.* Метод определения уровня киберситуационной осведомленности энергетических объектов / Д. А. Гаськова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2020. — № 4 (20). — С. 64–74. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.006.
9. *Blash E.* Cyber Awareness Trends in Avionics / E. Blash, R. Sabatini, A. Roy, K. A. Kramer, G. Andrew, G. T. Schmidt, C. C. Insaurralde, G. Fasano // 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC). — IEEE, 2019. — Pp. 1–8. DOI: 10.1109/DASC43569.2019.9081646.
10. *Bracken B.* Can Situation Awareness Be Measured Physiologically? / B. Bracken, S. T Byrne, A. Winder, N. Shamsi, M. R. Endsley // Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering: Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conferences on Neuroergonomics and Cognitive Engineering, Industrial Cognitive Ergonomics and Engineering Psychology, and Cognitive Computing and Internet of Things, July 25–29, 2021, USA. — Springer International Publishing, 2021. — Pp. 31–38. DOI: 10.1007/978-3-030-80285-1\_4.
11. *Gaskova D. A.* Modeling scenarios of extreme situations in the energy sector caused by cyber threats / D. A. Gaskova, A. G. Massel // E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2021. — Vol. 289. — Pp. 03005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128903005.
12. *Chiou E. K.* Towards Human-Robot Teaming: Tradeoffs of Explanation-Based Communication Strategies in a Virtual Search and Rescue Task / E. K. Chiou, M. Demir, V. Buchanan, C. C. Coral, M. R. Endsley, G. J. Lematta, N. J. Cooke, N. J. McNeese // International Journal of Social Robotics. — 2022. — Vol. 14. — Pp. 1117–1136. DOI: 10.1007/s12369-021-00834-1.
13. *Ююкин И. В.* Кибернетическая безопасность альтернативной автономной навигации с позиций сплайновой технологии / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 346–364. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-346-364.
14. *Insaurralde C. C.* Ontology-Based Situation Awareness for Air and Space Traffic Management / C. C. Insaurralde, E. Blash, R. Sabatini // 2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC). — IEEE, 2022. — Pp. 1–8. DOI: 10.1109/DASC55683.2022.9925810.
15. *Ююкин И. В.* Навигационное использование e-Logan в модификации с методом сплайн-функций / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 703–715. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-703-715.
16. *Blash E.* Space Track Ontology elements for Space Domain Awareness / E. Blash, G. Chen, D. Shen, C. C. Insaurralde, K. Pham // Sensors and Systems for Space Applications XV. — SPIE, 2022. — Vol. 12121 — Pp. 98–107. DOI: 10.1117/12.2619580.
17. *Ююкин И. В.* Сплайновое синтезирование картографированного эталона информативности поля в задаче корреляционно-экстремальной навигации / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 25–39. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-25-39.
18. *Endsley M. R.* The Divergence of Objective and Subjective Situation Awareness: A Meta-Analysis / M. R. Endsley // Journal of cognitive engineering and decision making. — 2020. — Vol. 14. — Is. 1. — Pp. 34–53. DOI: 10.1177/1555343419874248.
19. *Endsley M. R.* A Systematic Review and Meta-Analysis of Direct Objective Measures of Situation Awareness: A Comparison of SAGAT and SPAM / M. R. Endsley // Human Factors. — 2021. — Vol. 63. — Is. 1. — Pp. 124–150. DOI: 10.1177/0018720819875376.

20. Gaskova D. Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility / D. Gaskova, A. Massel // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). — IEEE, 2018. — Pp. 1–5. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482229.

21. Гаськова Д. А. Технология анализа киберугроз и оценка рисков нарушения кибербезопасности критической инфраструктуры / Д. А. Гаськова, А. Г. Массель // Вопросы кибербезопасности. — 2019. — № 2 (30). — С. 42–49. DOI: 10.21681/2311-3456-2019-2-42-49.

22. Ююкин И. В. Сплайн-интерполяция навигационных изолиний / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 1026–1036. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1026-1036.

23. Ююкин И. В. Сплайновая модель оперирования гридированными данными как принцип электронного картографирования топографии морского дна / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 5. — С. 656–675. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-656-675.

24. Ююкин И. В. Применение сплайновых интерполирующих функций в парадигме универсально-го стандарта обмена цифровыми гидрографическими данными / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 875–890. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-875-890.

25. Canciani A. J. Magnetic Navigation on an F-16 Aircraft Using Online Calibration / A. J. Canciani // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System. — 2022. — Vol. 58. — Is. 1. — Pp. 420–434. DOI: 10.1109/TAES.2021.3101567.

26. Ююкин И. В. Перспективная магнитная навигация с использованием метода сплайн-функций для оптимального формирования эталона картографирования / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 4. — С. 519–534. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-519-534.

27. Song R. Constructed Knowledge Maps for Situation Awareness of Maritime Autonomous Surface Ships / R. Song, E. Papadimitriou, R. R. Negenborn, P. van Gelder // Proceedings of the International Ship Control Systems Symposium. — 2022. — Vol. 16. — Pp. 21. DOI: 10.24868/10722.

28. Sui Z. Marine traffic profile for enhancing situational awareness based on complex network theory / Z. Sui, Y. Huang, Y. Wen, C. Zhou, X. Huang // Ocean Engineering. — 2021. — Vol. 241. — Pp. 110049. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.110049.

29. Zagar D. Human Factor in Navigation Overview of Cognitive Load Measurement during Simulated Navigational Tasks / D. Zagar, M. Svetina, A. Kosir, F. Dimc // Journal of Marine Science and Engineering. — 2020. — Vol. 8. — Is. 10. — Pp. 775. DOI: 10.3390/jmse8100775.

30. Song R. Semantic Modeling of Ship Behavior in Cognitive Space / R. Song, Y. Wen, W. Tao, Q. Zhang, E. Papadimitriou, P. van Gelder // Journal of Marine Science and Engineering. — 2022. — Vol. 10. — Is. 10. — Pp. 1347. DOI: 10.3390/jmse10101347.

## REFERENCES

1. Gaskova, Daria, Elena Galperova, and Aleksei Massel. “Cyber Threat Risk Assessment in Energy Based on Cyber Situational Awareness Techniques.” *Information Systems and Design: Second International Conference, ICID 2021, Virtual Event, September 6–7, 2021, Revised Selected Papers*. Cham: Springer International Publishing, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-95494-9\_11.

2. Insaurralde, Carlos C., and Erik Blash. “Ontologies to Support Space Traffic Management Awareness.” *2022 IEEE Aerospace Conference (AERO)*. IEEE, 2022. DOI: 10.1109/AERO53065.2022.9843812.

3. Massel, A.G., and D. A. Gaskova. “Ontological engineering for the development of the intelligent system for threats analysis and risk assessment of cybersecurity in energy facilities.” *Ontology of Designing* 9.2(32) (2019): 225–238. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238.

4. Gaskova, Daria A. Metody, modeli i kompleks programm analiza kibersituatsionnoy osvedomlennosti energeticheskikh obektov. Abstract of PhD diss. Irkutsk, 2021.

5. Gaskova, D.A., and A. G. Massel. “The Method of Cyber Awareness Analysis of an Energy Facility.” *Vestnik NSU. Series: Information Technologies* 19.2 (2021): 17–28. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-2-17-28.

6. Endsley, Mica R. “Situation awareness.” *Handbook of human factors and ergonomics*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2021. 434–455. DOI: 10.1002/9781119636113.ch17.

7. Endsley, Mica R. "Situation awareness global assessment technique (SAGAT)." *Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference*. IEEE, 1988. DOI: 10.1109/NAECON.1988.195097.
8. Gaskova, Daria A. "Method for determining the level of cyber situational awareness on energy facilities." *Information and mathematical technologies in science and management* 4(20) (2020): 64–74. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.006.
9. Blash, Erik, Roberto Sabatini, Alope Roy, Kathleen A. Kramer, George Andrew, George T. Schmidt, Carlos C. Insaurralde, and Giancarmine Fasano. "Cyber Awareness Trends in Avionics." *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE, 2019. DOI: 10.1109/DASC43569.2019.9081646.
10. Bracken, Bethany, Sean Tobbyne, Aaron Winder, Nina Shamsi, and Mica R. Endsley. "Can Situation Awareness Be Measured Physiologically?" *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering: Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conferences on Neuroergonomics and Cognitive Engineering, Industrial Cognitive Ergonomics and Engineering Psychology, and Cognitive Computing and Internet of Things, July 25–29, 2021, USA*. Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-95494-9\_11.
11. Gaskova, Daria A., and Aleksei G. Massel. "Modeling scenarios of extreme situations in the energy sector caused by cyber threats." *E3S Web of Conferences*. Vol. 289. EDP Sciences, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202128903005.
12. Chiou, Erin K., Mustafa Demir, Verica Buchanan, Christopher C. Coral, Mica R. Endsley, Glenn J. Lematta, Nancy J. Cooke, and Nathan J. McNeese. "Towards Human-Robot Teaming: Tradeoffs of Explanation-Based Communication Strategies in a Virtual Search and Rescue Task." *International Journal of Social Robotics* 14 (2022): 1117–1136. DOI: 10.1007/s12369-021-00834-1.
13. Yuyukin, Igor V. "Cybernetic security of alternative offline navigation from the standpoint of spline technology." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.3 (2022): 346–364. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-346-364.
14. Insaurralde, Carlos C., Erik Blash, and Roberto Sabatini. "Ontology-Based Situation Awareness for Air and Space Traffic Management." *2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE, 2022. DOI: 10.1109/DASC55683.2022.9925810.
15. Yuyukin, Igor V. "Navigational use of e-Loran in modification with spline functions method." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 703–715. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-703-715.
16. Blash, Erik, Genshe Chen, Dan Shen, Carlos C. Insaurralde, and Khanh Pham. "Space Track Ontology elements for Space Domain Awareness." *Sensors and Systems for Space Applications XV*. Vol. 12121. SPIE, 2022. DOI: 10.1117/12.2619580.
17. Yuyukin, Igor V. "Spline synthesis of the charted reference of the field informativity in mission correlation-extreme navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 25–39. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-25-39.
18. Endsley, Mica R. "The Divergence of Objective and Subjective Situation Awareness: A Meta-Analysis." *Journal of cognitive engineering and decision making* 14.1 (2020): 34–53. DOI: 10.1177/1555343419874248.
19. Endsley, Mica R. "A Systematic Review and Meta-Analysis of Direct Objective Measures of Situation Awareness: A Comparison of SAGAT and SPAM." *Human Factors* 63.1 (2021): 124–150. DOI: 10.1177/0018720819875376.
20. Gaskova, Daria, and Aleksei Massel. "Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility." *2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC)*. IEEE, 2018. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482229.
21. Gaskova, Daria, and Aleksei Massel. "The technology of cyber threat analysis and risk assessment of cybersecurity violation of critical infrastructure." *Cybersecurity issues* 2(30) (2019): 42–49. DOI: 10.21681/2311-3456-2019-2-42-49.
22. Yuyukin, Igor V. "Spline interpolation of navigational isolines." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 1026–1036. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1026-1036.
23. Yuyukin, Igor V. "Spline model of gridded data operation as a principle of electronic mapping seabed topography." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.5 (2022): 656–675. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-656-675.
24. Yuyukin, Igor V. "Application of spline interpolating functions in the paradigm of the universal standard exchange of digital hydrographic data." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 875–890. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-875-890.

25. Canciani, Aaron J. “Magnetic Navigation on an F-16 Aircraft Using Online Calibration.” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System* 58.1 (2022): 420–434. DOI: 10.1109/TAES.2021.3101567.

26. Yuyukin, Igor V. “Perspective magnetic navigation with using the method of spline functions for optimal formation of the map-aided standard.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.4 (2022): 519–534. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-519-534.

27. Song, Rongxin, Eleonora Papadimitriou, Rudy R. Negenborn, and Pieter van Gelder “Constructed Knowledge Maps for Situation Awareness of Maritime Autonomous Surface Ships.” *Proceedings of the International Ship Control Systems Symposium*. Vol. 16. 2022. DOI: 10.24868/10722.

28. Sui, Zhongyi, Yamin Huang, Yuanqiao Wen, Chunhui Zhou, and Xi Huang “Marine traffic profile for enhancing situational awareness based on complex network theory.” *Ocean Engineering* 241 (2021): 110049. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.110049.

29. Zagar, Dejan, Matija Svetina, Andrej Kosir, and Franc Dimc. “Human Factor in Navigation Overview of Cognitive Load Measurement during Simulated Navigational Tasks.” *Journal of Marine Science and Engineering* 8.10 (2020): 775. DOI: 10.3390/jmse8100775.

30. Song, Rongxin, Yuanqiao Wen, Wei Tao, Qi Zhang, Eleonora Papadimitriou, and Pieter van Gelder “Semantic Modeling of Ship Behavior in Cognitive Space.” *Journal of Marine Science and Engineering* 10.10 (2022): 1347. DOI: 10.3390/jmse10101347.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Ююкин Игорь Викторович** —  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация,  
г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [uukiniv@gumrf.ru](mailto:uukiniv@gumrf.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Yuyukin, Igor V.** —  
PhD, associate professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [uukiniv@gumrf.ru](mailto:uukiniv@gumrf.ru)

*Статья поступила в редакцию 28 февраля 2023 г.  
Received: February 28, 2023.*