


УДК 004.8:623.8
EDN: XZTWNS

А.В. Шалдыбин¹, Д.О. Новиков² 

¹ Филиал «НИИ „Лот“» ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

² ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

МЕТОДЫ АДАПТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СУДОСТРОЕНИИ И РАЗРАБОТКЕ АВТОНОМНЫХ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

Объект и цель научной работы. Современное судостроение и разработка автономных морских платформ специального назначения (АМПСН) характеризуются ростом структурной сложности, увеличением объемов цифровых данных и необходимостью принятия решений в условиях высокой неопределенности внешней среды, а также динамичным изменением требований к перспективным судам и АМПСН. Традиционные централизованные системы управления и проектирования оказываются недостаточно гибкими для эффективной интеграции технологий искусственного интеллекта (ИИ) в данные процессы. Цели исследования – разработка и методологическое обоснование подходов к адаптивному интеллектуальному управлению и применению распределенного ИИ в судостроении и создании АМПСН.

Материалы и методы. В работе использованы методы системного анализа, теории управления, инженерной экономики, а также концепции распределенных интеллектуальных систем и многоагентных моделей. Анализ основан на сопоставлении современных научных публикаций, стратегических документов Российской Федерации и практик цифровой трансформации сложных инженерных систем.


Основные результаты. Сформирована структурированная модель уровней адаптивного интеллектуального управления, позволяющая связать алгоритмические, инженерные, информационно-технологические и управленческие контуры в единую систему. Выявлены ключевые ограничения существующих подходов и обоснована необходимость перехода к распределенным архитектурам принятия решений.

Заключение. Полученные результаты создают методологическую основу для внедрения распределенного ИИ в процессы проектирования и эксплуатации морских технических систем, обеспечивая повышение управляемости, адаптивности и воспроизводимости инженерных решений.

Ключевые слова: адаптивное интеллектуальное управление, распределенный искусственный интеллект, судостроение, автономные морские платформы, системный анализ, многоагентные системы, цифровые платформы, инженерное проектирование, неопределенность.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 004.8:623.8
EDN: XZTWN

A.V. Shaldybin¹, D.O. Novikov² 

¹ Lot Branch of Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

² Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

ADAPTIVE INTELLIGENT CONTROL AND DISTRIBUTED AI METHODS IN SHIPBUILDING AND AUTONOMOUS MARINE PLATFORM DESIGN

Для цитирования: Шалдыбин А.В., Новиков Д.О. Методы адаптивного интеллектуального управления и распределенного искусственного интеллекта в судостроении и разработке автономных морских платформ. Труды Крыловского государственного научного центра. 2026; 1(415): 200–212.

For citations: Shaldybin A.V., Novikov D.O. Adaptive intelligent control and distributed AI methods in shipbuilding and autonomous marine platform design. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2026; 1(415): 200–212 (in Russian).

Object and purpose of research. As modern ships and special autonomous marine platforms are becoming more and more complex, they need ever-growing volume of digital data and decision making in highly volatile environment, so the requirements to future warships and special marine platforms are changing very fast. Traditional systems of centralized control and design are too rigid to efficiently integrate artificial intelligence (AI) to decision making and design processes. The purpose of this study was to develop and methodologically justify the approaches to adaptive intelligent control and application of distributed AI agents in shipbuilding and design of special marine platforms.

Materials and methods. The study follows the methods of system analysis, control theory and engineering economy, as well as the concept of distributed intelligent systems and multi-agent models. The analysis relies on comparison of current research publications, strategic documents of the Russian Federation and digital transformation practices in complex engineering systems.

Main results. The authors managed to obtain a structured model of adaptive intelligent control levels that enables fusion of algorithms, engineering, IT and management into a single system. The paper identifies key limitations of existing approaches and justify the necessity of transition to distributed decision making architectures.

Conclusion. The results of this study form methodological basis for introduction of distributed AI technologies to design and operation of marine technical systems, making engineering solutions more controllable, flexible and easy to reproduce.

Keywords: AI-based adaptive control, distributed AI, shipbuilding, autonomous marine platforms, system analysis, multi-agent systems, digital platforms, engineering design, uncertainty.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Развитие судостроения и автономных морских платформ специального назначения в последние годы все в большей степени определяется не столько совершенствованием отдельных технических подсистем, сколько способностью интегрировать разнородные данные, алгоритмы и управленческие решения в рамках единой интеллектуальной среды. В условиях усложнения задач, стоящих перед ВМФ, роста требований к автономности и ограничения доступа к зарубежным цифровым технологиям возрастает роль собственных методов адаптивного интеллектуального управления.

Актуальность исследования обусловлена совокупностью взаимосвязанных факторов:

- 1) рост сложности морских технических систем, требующий перехода от иерархических к распределенным моделям управления и принятия решений;
- 2) стратегическая ориентация Российской Федерации на развитие ИИ, закреплённая в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. [1];
- 3) изменение внешнеэкономических условий в 2022–2023 гг., приведшее к дефициту вычислительных ресурсов, программных платформ в области ИИ [2];
- 4) недостаточный уровень внедрения технологий ИИ в высокотехнологичных отраслях промышленности, включая судостроение [2];

- 5) отсутствие методологически выверенных подходов, позволяющих увязать алгоритмы машинного обучения, инженерное проектирование и управленческие контуры в единой воспроизводимой системе.

Дополнительным фактором актуализации рассматриваемой проблематики является институциональное закрепление приоритетов внедрения технологий искусственного интеллекта в ключевые отрасли экономики и государственное управление. Утвержденные 05.01.2026 поручения Президента РФ предусматривают формирование национального плана внедрения ИИ на федеральном и региональном уровнях, а также приоритетное использование российских фундаментальных моделей генеративного ИИ на объектах критической информационной инфраструктуры. Это усиливает потребность в разработке методологически обоснованных, воспроизводимых и безопасных архитектур адаптивного и распределенного интеллектуального управления для высокотехнологичных отраслей, включая судостроение и создание АМПСН, где требования к надежности, объяснимости и устойчивости решений являются критическими.

Таким образом, в сложившихся условиях тема разработки адаптивных и распределенных интеллектуальных методов управления приобретает критическое значение, подчеркивая методологический разрыв между развитием алгоритмов ИИ и их системным применением в отечественном судостроении.

К основным стратегическим документам Российской Федерации, определяющим развитие ИИ

и связанным с тематикой исследования, прежде всего относятся Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. (Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490) и последующие изменения (Указ Президента РФ от 15.02.2024 № 124), которые акцентируют внимание на необходимости адаптации технологий ИИ к изменяющимся экономическим условиям, международным ограничениям и новым вызовам. Это непосредственно связано с задачами внедрения распределенных ИИ-систем в судостроении и проектировании автономных морских платформ [1, 3, 4]. В документах прямо указаны такие вызовы, как нехватка вычислительных мощностей, недостаточная зрелость отечественных ИИ-решений, нормативные барьеры и необходимость обеспечения прозрачности и объяснимости алгоритмов, что напрямую связано с задачами распределенного и адаптивного управления в сложных инженерных системах.

Развитие исследуемой тематики также напрямую соотносится с упомянутыми поручениями Президента РФ от 05.01.2026, адресованными Правительству РФ и организациям в сфере развития технологий искусственного интеллекта. В документах предусмотрена разработка национального плана внедрения ИИ в отраслях экономики, социальной сфере и системе государственного управления, а также стимулирование спроса на российские фундаментальные модели генеративного ИИ. Отдельно подчеркнута необходимость их приоритетного использования в государственном управлении и на объектах критической информационной инфраструктуры при обязательном обеспечении безопасности. Реализация данных поручений, запланированная до 01.06.2026 с участием межведомственных и отраслевых структур, формирует нормативно-стратегическую основу для развития распределенных интеллектуальных систем управления в судостроении как одной из технологически наиболее сложных и ответственных отраслей.

Важно подчеркнуть, что выделение АМПСН из общего перечня объектов морской техники в качестве самостоятельного объекта исследования обусловлено не масштабными или тактико-техническими характеристиками, а принципиальным изменением роли интеллектуальной системы управления. Если для судна традиционной архитектуры искусственный интеллект выполняет ассистирующую функцию, сохраняя человека в контуре принятия решений, то для АМПСН интеллектуальная система становится базальтернативной основой функционирования, замещающая человека полностью.

Указанное различие конкретизируется в следующих особенностях:

- целевая автономия: судно выступает ретранслятором решений командного пункта, тогда как АМПСН вынуждена самостоятельно реинтерпретировать целевую задачу в условиях отсутствия гарантированного канала связи;
- архитектура управления: для судов характерна иерархическая централизованная модель, для групп АМПСН – децентрализованное многоагентное (роевое) взаимодействие, при котором целевая функция формируется эмерджентно;
- критичность задержек: секундные задержки принятия решений для судна значимы лишь в узких фазах боевого маневрирования, в периоды противоздушной и противолодочной обороны при скоростных целях, при управлении судном в стесненных водах и штормовых условиях, в аварийных ситуациях (пожар, поступление забортной воды), а также при применении оружия по временным интервалам; для АМПСН в подводном положении или зоне радиоэлектронного противодействия они означают полную потерю управляемости;
- объект оптимизации: при создании судов распределенный ИИ оптимизирует процессы проектирования и эксплуатации; при создании АМПСН распределенный ИИ становится неотъемлемой частью конструкции платформы, определяющей ее тактико-технические характеристики наравне с физическими подсистемами.

Таким образом, кардинальное отличие заключается в роли искусственного интеллекта: для кораблей ИИ – функциональная надстройка над существующими системами; для АМПСН распределенный ИИ – архитектурный фундамент, обеспечивающий само существование платформы как боевой или специальной единицы.

Признавая глубину указанных различий, настоящее исследование исходит из необходимости объединения судов и АМПСН в единый контур методологического анализа. Данный посыл обосновывается следующими положениями:

- 1) Оба класса объектов функционируют в общей физической среде и подчиняются единым ограничениям, накладываемым морской навигацией, гидродинамикой и требованиями живучести.
- 2) Технологическая база – распределенные интеллектуальные системы, многоагентные модели, методы адаптивного управления – является инвариантной относительно наличия или отсутствия

- человека в контуре, различаясь лишь степенью автономности принимаемых решений.
- 3) Современная практика проектирования морской техники демонстрирует конвергенцию бортовых интеллектуальных систем: корабли насыщаются элементами автономности, свойственными АМПСН, а платформы, в свою очередь, наследуют архитектурные решения, апробированные в судовых системах поддержки принятия решений.
 - 4) Стратегические документы Российской Федерации (Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г., поручения Президента РФ от 05.01.2026) ориентированы на сквозное внедрение технологий ИИ в объекты критической информационной инфраструктуры без сегментации по признаку наличия экипажа, что формирует запрос на унифицированные методологические решения.

Следовательно, корректная постановка исследовательской задачи требует одновременного удержания двух позиций: дифференциации объектов по признаку роли ИИ и интеграции подходов в рамках единой методологической платформы. Только такая методическая позиция позволяет, с одной стороны, избежать некорректного переноса решений из ассистирующего контура в замещающий, а с другой – обеспечить технологический трансфер и воспроизводимость инженерных решений.

Цели исследования – методологическое обоснование и разработка подходов к адаптивному интеллектуальному управлению на основе распределенного искусственного интеллекта, дифференцированных по признаку роли ИИ в контуре управления (ассистирующей – для судов, замещающей – для АМПСН), но объединенных единой системой принципов, моделей и архитектурных решений.

Объект исследования – процессы проектирования, управления и применения морских технических систем, рассматриваемые в континууме «полное присутствие человека в контуре – полное отсутствие человека в контуре».

Предмет исследования – методы и архитектуры адаптивного интеллектуального управления на основе распределенных многоагентных систем, обеспечивающие устойчивость, объяснимость и воспроизводимость решений для всего спектра объектов морской техники.

Анализ современных публикаций показывает, что в международных исследованиях активно раз-

виваются методы многоагентного обучения, распределенного принятия решений и интеллектуального управления сложными системами [5–9]. Вместе с тем большинство работ ориентировано либо на абстрактные модели, либо на отдельные прикладные области, не учитывая специфику судостроения как интеграции инженерных, производственных и управленческих процессов.

В отечественных исследованиях внимание сосредоточено преимущественно на цифровизации отдельных стадий проектирования, без формирования целостной методологической модели распределенного интеллектуального управления.

Методологической основой работы является системный анализ структурно-сложных технических систем, дополненный концепциями распределенного искусственного интеллекта и адаптивного управления. Используется представление цифровых платформ как «нервной системы» инженерного объекта, обеспечивающей согласование данных, алгоритмов и управленческих решений. Такой подход позволяет сформировать воспроизводимую модель интеграции ИИ в судостроение и разработку АМПСН.

Методологические основания применения распределенного искусственного интеллекта в судостроении

Methodological justification for distributed AI implementation in shipbuilding

Современное судостроение и проектирование автономных морских платформ характеризуются высокой структурной сложностью, многокритериальностью решений и необходимостью работы с разнородными потоками данных, включая сенсорные измерения, цифровые модели конструкций и эксплуатационные параметры [9].

Традиционные централизованные системы управления и проектирования демонстрируют ограниченную масштабируемость и адаптивность в таких условиях, что обосновывает переход к распределенным архитектурам ИИ, способным функционировать в реальном времени и обеспечивать когнитивную адаптацию на всех уровнях жизненного цикла судна или платформы [8].

Обоснование необходимости распределенных подходов

Рост объема данных, генерируемых конструкторскими и эксплуатационными системами, делает

критическим использование распределенных вычислительных ресурсов и автономных интеллектуальных модулей. Эти модули должны выполнять локальный анализ, обмениваться результатами с другими узлами и корректировать алгоритмы на основе обратной связи от инженерных, эксплуатационных и управленческих уровней [2].

Основные преимущества распределенного ИИ включают:

- увеличение масштабируемости и скорости обработки данных – возможность параллельного анализа больших массивов информации без перегрузки центрального сервера;
- повышение устойчивости к сбоям системы и сбоям коммуникаций – локальные модули сохраняют функциональность при частичной недоступности сети;
- обеспечение гибкости адаптивного управления – алгоритмы могут корректироваться под изменяющиеся условия эксплуатации и проектные требования.

Ключевым вызовом при этом является интеграция локальных интеллектуальных модулей в единую управляемую систему, требующая формализованных процедур верификации, валидации и стандартизации процессов обмена данными и принятия решений [9].

Методологические пробелы в существующих исследованиях

Анализ публикаций 2020–2025 гг. [5–9] показывает, что исследования распределенного ИИ в судостроении преимущественно сосредоточены на отдельных технологических компонентах (например, оптимизация проектных расчетов или автономное управление движением платформ).

Отсутствует комплексный системный подход, способный:

- объединить инженерно-прикладной, информационно-технологический и управленческий уровни;
- учитывать интеграционные риски, возникающие при внедрении распределенных интеллектуальных модулей;
- обеспечивать методологическую воспроизводимость при масштабировании на разные классы судов и платформ.

Таким образом, существует явный методологический пробел, связанный с необходимостью формализации интеграции распределенных ИИ-систем с адаптивными механизмами управления на всех уровнях жизненного цикла.

Ключевые принципы построения архитектуры распределенного искусственного интеллекта

На основе анализа современных практик, требований стратегических документов Российской Федерации [1, 3] и публикаций по распределенным системам искусственного интеллекта можно выделить следующие уникальные и специфические принципы для судостроения и создания автономных морских платформ:

- 1) многоуровневая архитектура с когнитивной связью между уровнями – объединение алгоритмического, инженерно-прикладного, информационно-технологического и управленческого контуров с обеспечением обмена данными и решений в режиме реального времени;
- 2) адаптивность алгоритмов к изменяющимся эксплуатационным условиям – способность модулей ИИ автоматически корректировать параметры управления судном или платформой в зависимости от данных сенсоров и симуляций нагрузок;
- 3) интеграционное управление рисками – формализация идентификации, оценки и минимизации рисков, возникающих при взаимодействии распределенных модулей, включая задержки обмена данными, несовместимость форматов и ошибки вычислительных моделей;
- 4) верификация и валидация моделей на каждом уровне – обеспечение воспроизводимости прогнозов и корректности алгоритмов через систематическую проверку на инженерных, информационных и управленческих слоях;
- 5) стандартизация протоколов обмена данными и интерфейсов – унификация форматов данных, процедур интеграции и метрик качества для обеспечения совместимости локальных модулей с цифровыми платформами;
- 6) прозрачность и объяснимость решений ИИ – разработка визуальных и цифровых инструментов для демонстрации логики принятия решений, особенно в критических ситуациях автономных платформ;
- 7) приоритет использования российских фундаментальных моделей генеративного ИИ – обеспечение полной адаптации национальных технологий к требованиям безопасности, киберустойчивости и критической информационной инфраструктуры;
- 8) обеспечение киберустойчивости и защищенности данных – включение криптографических

- и протокольных механизмов на уровне передачи данных, хранения и вычислений для предотвращения воздействия недружественных внешних факторов;
- 9) динамическая адаптация через обратную связь – внедрение циклов коррекции алгоритмов на основе результатов проектирования, экспериментов и управленческих решений, включая автоматическое обновление моделей прогнозирования;
 - 10) иерархическая приоритизация задач и ресурсов – распределение вычислительных мощностей, сенсорных данных и управляющих сигналов в зависимости от критичности операций (например, автономное движение судна по сравнению с вспомогательными задачами);
 - 11) сценарное моделирование и предиктивная аналитика – использование моделей для анализа возможных ситуаций, включая отказоустойчивость систем и прогнозирование экономической эффективности проектов внедрения ИИ;
 - 12) интеграция с цифровыми двойниками судна или платформы – синхронизация распределенных ИИ-модулей с виртуальными моделями для тестирования решений до их внедрения в реальных условиях.

Широкий перечень ключевых принципов демонстрирует, что архитектура распределенного ИИ для судостроения и автономных морских платформ должна быть специфически адаптирована под инженерно-прикладные, управленческие и эксплуатационные требования. Такой системный подход позволяет не только повысить эффективность принятия решений, но и минимизировать интеграционные риски при внедрении ИИ на уровне цифровой платформы, проектных процессов и эксплуатации.

Совокупность сформулированных ключевых принципов находит интегральное отражение в уровневой архитектурной схеме распределенного ИИ, представленной на рис. 1.

Представленная на рис. 1 пятиуровневая архитектура аккумулирует изложенные выше принципы и фиксирует структурную логику распределенного искусственного интеллекта как иерархически организованной системы. Четкое разделение уровней позволяет локализовать функции обработки данных, инженерных расчетов, цифровых платформ и управленческих решений, а также создать основу для последующего анализа интеграционных рисков, возникающих на границах уровней и в процессах их взаимодействия.

Таким образом, уровневая архитектура не только задает рамку проектирования распределенного



Рис. 1. Уровневая архитектура распределенного искусственного интеллекта в системе управления жизненным циклом судов и АМПСН

Fig. 1. Layered architecture of distributed AI in ship lifecycle management

ИИ, но и формирует методологическую предпосылку для построения концептуальной модели управления интеграционными рисками.

Концептуальная модель управления интеграционными рисками

Conceptual model of integration risk management

Разработка концептуальной модели управления интеграционными рисками следует из выявленных в предыдущем разделе методологических и организационно-технологических пробелов и предназначена для обеспечения системной, безопасной и адаптивной интеграции распределенного ИИ в деятельность будущего Национального исследовательского центра (НИЦ) судостроения имени академика А.Н. Крылова (сейчас – Крыловский государственный научный центр) и создаваемого на его базе ядра сетевой инфраструктуры.

Концептуальная модель построена по принципу многоуровневой системы с обратными связями и включает следующие ключевые элементы:

- 1) Алгоритмический уровень (искусственный интеллект и машинное обучение) – модули предиктивной аналитики и адаптивного управления, обеспечивающие автоматическую корректировку стратегий на основе данных сенсоров

- и цифровых двойников судов или морской техники. Связи с верхними уровнями через обратные связи для учета управленческих решений.
- 2) Инженерно-прикладной уровень – проектно-конструкторская деятельность, расчеты нагрузок и гидродинамические симуляции. Генерирует исходные данные и сценарии для алгоритмов ИИ, корректируя их параметры. Обратная связь к алгоритмическому уровню обеспечивает адаптацию моделей под реальное поведение судов и платформ.
 - 3) Информационно-технологический уровень (цифровая платформа) – централизованная и распределенная инфраструктура данных, включая вычислительные ресурсы Крыловского центра. Обеспечивает хранение, интеграцию и стандартизированный обмен данными между алгоритмическим, инженерным и управленческим уровнями. Поддержка процессов верификации и валидации моделей.
 - 4) Организационно-управленческий уровень – контур поддержки управленческих решений на основе анализа рисков. Осуществляет мониторинг, оценку и корректировку работы ИИ, принимая во внимание интеграционные риски и внешние ограничения (недобросовестная конкуренция, нормативные барьеры).
 - 5) Системно-стратегический уровень – формирование конкурентных преимуществ через интеграцию распределенного ИИ. Взаимодействует с органами власти, отраслевыми ассоциациями и ключевыми пользователями (например, с Крыловским центром, профильными проектными

подразделениями). Обеспечивает соблюдение принципов прозрачности, безопасности и приоритетного использования отечественных моделей генеративного ИИ.

В рамках предложенной модели интеграционные риски рассматриваются не как побочный эффект цифровизации, а как самостоятельный управляемый контур, охватывающий типовые проблемы распределенных систем: задержки передачи данных между уровнями, функциональную и форматную несовместимость модулей, накопление ошибок вычислительных моделей, а также риски информационной и вычислительной безопасности.

Связи между уровнями носят не линейный, а итерационный характер. Горизонтальные и диагональные взаимодействия отражают механизмы обратной связи, за счет которых алгоритмы ИИ и инженерные процессы последовательно уточняются на основе результатов расчетов, экспериментальных данных и управленческих решений. Такая динамика позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям проектирования и эксплуатации, сохраняя целостность и управляемость.

Ключевым условием устойчивости этой структуры является встраивание процедур верификации, валидации и стандартизации непосредственно в соответствующие функциональные уровни. Это обеспечивает воспроизводимость результатов, согласованность решений и снижение накопленных интеграционных ошибок на всех этапах жизненного цикла, что наглядно отражено на рис. 2.



Рис. 2. Многоуровневая концептуальная модель управления интеграционными рисками при внедрении распределенного искусственного интеллекта в деятельность Национального исследовательского центра судостроения

Fig. 2. Conceptual layout of network infrastructure at National Shipbuilding Research Centre as basis of integration risk management

Концептуальная схема сетевой инфраструктуры Национального исследовательского центра судостроения как основы управления интеграционными рисками

Conceptual scheme of the network infrastructure of the National Shipbuilding Research Centre as a basis for integration risk management

Представленная на рис. 2 многоуровневая концептуальная модель реализует системный подход к управлению интеграционными рисками, возникающими при внедрении технологий распределенного искусственного интеллекта в деятельность НИЦ судостроения. В отличие от традиционных централизованных архитектур предлагаемая модель носит принципиально итерационный характер: связи между пятью функциональными уровнями – алгоритмическим, инженерно-прикладным, информационно-технологическим, организационно-управленческим и системно-стратегическим – организованы не как однонаправленные потоки данных, а как замкнутые контуры с множественными прямыми, обратными и диагональными связями.

Ключевой особенностью модели является встраивание процедур верификации, валидации и стандартизации непосредственно в функциональные уровни, что позволяет перейти от реактивного реагирования на сбои к проактивному управлению рисками на ранних этапах проектирования. Интеграционные риски – задержки передачи данных, функциональная и форматная несовместимость модулей, накопление ошибок вычислительных моделей, угрозы информационной безопасности – рассматриваются не как побочные эффекты цифро-

визации, а как самостоятельный управляемый контур, локализованный на стыках уровней.

Архитектура обеспечивает согласованность исследовательских, проектно-конструкторских и управленческих процессов за счет того, что алгоритмы машинного обучения непрерывно уточняются на основе данных от цифровых двойников и гидродинамических симуляций, а управленческие решения, в свою очередь, корректируют приоритеты вычислительных экспериментов и критерии оценки рисков. Тем самым модель создает методологическую основу для воспроизводимого, безопасного и адаптивного внедрения распределенного ИИ как в судовые системы ассистирующего типа, так и в архитектуру автономных морских платформ специального назначения, где интеллектуальная система выступает не надстройкой, а фундаментом функционирования.

Классификация интеграционных рисков и методы их оценки при внедрении распределенного искусственного интеллекта

Classification of integration risks and their assessment methods in distributed AI induction

Логическим продолжением концептуальной модели является формализация интеграционных рисков, возникающих при внедрении распределенного искусственного интеллекта в деятельность НИЦ судостроения. Для перехода от концепции к управляемой практике требуется систематизация типов рисков и соответствующих методов их выявления, оценки и снижения. В целях структурирования и сопоставления ключевых интеграционных рисков распределенного ИИ по уровню вероятности и кри-

Рис. 3. Карта интеграционных рисков распределенного искусственного интеллекта в Национальном исследовательском центре судостроения

Fig. 3. Distributed AI integration risk map at National Shipbuilding Research Centre



тичности последствий далее используется матричное представление, приведенное на рис. 3.

Представленная карта интеграционных рисков визуализирует распределение ключевых технологических, вычислительных и организационно-управленческих угроз в координатах вероятности их возникновения и критичности последствий для деятельности НИЦ судостроения. Использование матричного представления позволяет не только классифицировать риски по уровням допустимости, но и связать их с конкретными контурами управления – верификацией, валидацией и стандартизацией. Тем самым схема служит инструментом обоснования приоритетов управленческих решений и формирования адаптивных механизмов снижения системных эффектов интеграционных сбоев.

В рамках данного исследования интеграционные риски понимаются как совокупность угроз, возникающих на стыке алгоритмических, инженерных, информационно-технологических и управлен-

ческих уровней. Специфика заключается в том, что они не принадлежат полностью ни одному уровню, а проявляются именно в процессе взаимодействия между ними.

Классификация рисков (табл. 1) выполнена по функционально-уровневому признаку, что обеспечивает:

- сопоставимость рисков с элементами концептуальной модели;
- возможность привязки каждого риска к конкретным управленческим и техническим механизмам;
- воспроизводимость методики при масштабировании на иные проекты и классы морской техники.

Представленная классификация демонстрирует, что интеграционные риски носят междисциплинарный и многоуровневый характер, а их оценка не может быть сведена к одному методу или подразделению. Так, алгоритмические риски требуют

Таблица 1. Типы интеграционных рисков при внедрении распределенного искусственного интеллекта и методы их оценки

Table 1. Types of integration risks in distributed AI induction and their assessment methods

Тип интеграционного риска	Источник возникновения	Проявление в деятельности Крыловского центра	Основные методы оценки	Управленческий контур
Алгоритмический риск	Несоответствие моделей ИИ, переобучение	Некорректные прогнозы, нестабильное управление	Верификация моделей, тестирование на эталонных данных	Алгоритмический
Инженерно-модельный риск	Упрощение расчетных моделей	Расхождение между расчетами и экспериментом	Сравнительный анализ, цифровые двойники	Инженерно-прикладной
Данные и вычисления	Ограниченность ресурсов, задержки передачи	Потеря актуальности данных	Мониторинг задержек, нагрузочное тестирование	Информационно-технологический
Интеграционный риск платформ	Несовместимость форматов и интерфейсов	Нарушение сквозных процессов	Стандартизация интерфейсов, аудит интеграций	Платформенный
Управленческий риск	Недостаточная интерпретируемость решений ИИ	Ошибочные управленческие решения	Экспертная оценка, объяснимый ИИ	Организационно-управленческий
Нормативно-правовой риск	Несоответствие требованиям регулирования	Ограничения на внедрение решений	Анализ соответствия нормативам	Системно-стратегический
Кадровый риск	Дефицит специалистов	Зависимость от внешних исполнителей	Анализ компетенций, кадровый аудит	Организационный
Риск безопасности	Угрозы кибервоздействия	Нарушение устойчивости систем	Аудит безопасности, сценарный анализ	Межуровневый

формализованных процедур верификации и тестирования, тогда как управленческие риски связаны с интерпретацией результатов и требуют участия экспертов предметной области.

Особое внимание следует уделить рискам, связанным с данными и вычислительными ресурсами, т.к. именно они являются критическим ограничением при переходе Крыловского центра к роли ядра сетевой инфраструктуры. Ограниченность вычислительных мощностей и задержки передачи данных напрямую влияют на корректность решений ИИ и требуют постоянного мониторинга.

Нормативно-правовые и кадровые риски, в свою очередь, формируют внешние и внутренние ограничения, определяющие скорость и масштаб внедрения распределенного ИИ. Их игнорирование приводит к разрыву между технологическими возможностями и реальной практикой применения.

Проведенная классификация и анализ методов оценки интеграционных рисков показывают, что успешное внедрение распределенного искусственного интеллекта в деятельность Крыловского центра возможно только при системном управлении рисками на всех уровнях – от алгоритмического до стратегического.

Заключение

Conclusion

I. В ходе исследования получены следующие основные результаты.

- 1) Обоснована многоуровневая архитектура распределенного искусственного интеллекта, дифференцированная по признаку роли ИИ в контуре управления. Показано, что для судовых систем традиционной архитектуры, где ИИ выполняет ассистирующую функцию при сохранении человека в контуре принятия решений, приоритетное значение имеют уровни поддержки ситуационной осведомленности, предиктивной диагностики и оптимизации бортовых систем. Для АМПСН, где распределенный ИИ выступает не функциональной надстройкой, а архитектурным фундаментом, обеспечивающим целевое существование платформы в условиях отсутствия гарантированной связи, критическими становятся контуры децентрализованного много-агентного взаимодействия, когнитивной автономии и роевой кооперации. При этом оба класса объектов рассмотрены в единой методологической рамке, что позволяет обеспечить техноло-

гический трансфер и воспроизводимость инженерных решений.

- 2) Выявлено, что интеграционные риски при внедрении распределенного искусственного интеллекта носят системный характер и формируются на стыках вычислительных, инженерных и управленческих контуров. Установлено, что для АМПСН, в силу отсутствия дублирующего человеческого управления, требования к верификации, валидации и стандартизации интеллектуальных алгоритмов приобретает критический характер, а накопление скрытых ошибок на этапах проектирования непосредственно транслируется в потерю тактико-технических характеристик платформы. Для судовых систем доминирующими являются риски функциональной несовместимости ассистирующих ИИ-модулей с существующими автоматизированными системами управления и риски недостаточной объяснимости рекомендаций для лица, принимающего решения.
- 3) Предложена концептуальная модель управления интеграционными рисками, основанная на сочетании сетевой инфраструктуры, процессов контроля качества моделей и управленческих механизмов приоритизации ресурсов. Модель впервые реализует переход от реактивного реагирования на сбои к проактивному управлению рисками на ранних этапах проектирования и внедрения технологий ИИ. При этом процедуры верификации, валидации и стандартизации встроены непосредственно в функциональные уровни архитектуры, что обеспечивает устойчивость как ассистирующих, так и замещающих интеллектуальных систем.
- 4) Разработана классификация интеграционных рисков, учитывающая вероятность их возникновения и критичность последствий для научно-исследовательской, проектно-конструкторской и управленческой деятельности НИЦ судостроения. Показана возможность использования риск-матриц и карт рисков как инструмента поддержки управленческих решений, дифференцированных по типам объектов морской техники и степени автономности интеллектуальных систем.

II. Научная новизна работы заключается в следующем.

- 1) Впервые для задач судостроения и разработки АМПСН предложен системный подход к архитектуре распределенного искусственного интеллекта, в котором управление интеграцион-

ными рисками рассматривается как неотъемлемый элемент проектирования. Новизна подхода состоит не только в самой постановке задачи, но и в методологическом различии ассистирующей и замещающей ролей ИИ, что позволяет избежать некорректного переноса решений из одного класса систем в другой при сохранении единой архитектурной платформы.

- 2) Впервые обоснована необходимость увязки процессов верификации, валидации и стандартизации моделей искусственного интеллекта с конкретными уровнями архитектуры и управленческими контурами научно-исследовательского центра. Показано, что для АМПСН данные процедуры должны быть неотделимы от сертификации платформы в целом, тогда как для судовых систем они могут быть реализованы как итерационное уточнение рекомендательных сервисов в процессе эксплуатации.
- 3) Впервые интеграционные риски распределенного искусственного интеллекта в судостроении систематизированы в виде матричной модели, ориентированной на принятие управленческих решений, а не только на техническую диагностику отказов. Модель учитывает специфику объектов с различной степенью автономности и позволяет формировать экономически обоснованные стратегии парирования рисков.

III. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их непосредственного применения в деятельности НИЦ судостроения и организаций, участвующих в формировании и реализации государственной политики в области искусственного интеллекта.

- 1) Для Крыловского государственного научного центра и создаваемого на его базе Национального исследовательского центра судостроения результаты исследования позволяют:
 - использовать предложенную архитектурную модель в качестве основы при проектировании цифровых платформ и вычислительной инфраструктуры для задач ИИ с дифференциацией требований к судовым системам и АМПСН;
 - внедрять риск-ориентированный подход к управлению проектами ИИ, снижая вероятность системных сбоев и несогласованности между подразделениями, участвующими в разработке систем различной степени автономности;

- формализовать процедуры верификации и валидации моделей в научных и проектно-конструкторских работах с учетом критичности принимаемых ИИ-решений.

Для органов государственного управления результаты могут быть использованы при разработке отраслевых программ внедрения технологий искусственного интеллекта, включая формирование дифференцированных требований к безопасности, воспроизводимости и управляемости ИИ-систем для объектов критической информационной инфраструктуры с постоянным присутствием человека и для полностью автономных платформ.

IV. По результатам проведенного анализа целесообразно рекомендовать:

- 1) НИЦ судостроения – внедрять архитектурный и риск-ориентированный подходы к ИИ как обязательный элемент научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивая разделение требований к ассистирующим и замещающим интеллектуальным системам на этапе технического задания;
- 2) федеральным органам исполнительной власти – учитывать специфику интеграционных рисков и степень автономности интеллектуальных систем при разработке нормативных требований и стандартов в области ИИ для судостроительной отрасли;
- 3) профильным научным организациям – развивать методы количественной оценки интеграционных рисков с учетом жизненного цикла морских технических систем и различной роли человека в контуре принятия решений.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку формализованных метрик зрелости архитектур распределенного искусственного интеллекта для систем различной степени автономности и методов экономической оценки эффектов их внедрения в высокотехнологичных отраслях с учетом снижения рисков целевого отказа платформ специального назначения.

V. Совокупность полученных теоретических, методологических и прикладных результатов позволяет квалифицировать выполненное исследование как завершённый этап формирования системного подхода к адаптивному интеллектуальному управлению и распределенному искусственному интеллекту в судостроении и разработке АМПСН, открывающий возможность перехода от точечных экспериментальных внедрений к масштабируемым, нормативно обеспеченным и экономически обоснованным архитектурным решениям.

Список использованной литературы

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года : утв. указом Президента Рос. Федерации от 10.10.2019 № 490 // Официальный интернет-портал правовой информации. Москва, 2019. URL: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001201910110003> (дата обращения: 12.01.2026).
2. Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта»: [Пр-172] // Президент России : офиц. сайт Москва, 2023. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406165361/> (дата обращения: 05.01.2026).
3. Указ Президента Российской Федерации от 15 февраля 2024 г. № 124 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» и в национальную стратегию, утвержденную этим указом» // Официальный интернет-портал правовой информации. Москва, 2024. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402150063> (дата обращения: 04.01.2026).
4. Путин обновил Национальную стратегию развития ИИ до 2030 года // ТАСС : [сайт]. 2024. 15 февр. URL: <https://tass.ru/politika/20000627> (дата обращения: 04.01.2026).
5. Wei W., Liu L. Trustworthy distributed AI systems: robustness, privacy, and governance // ACM Computing Surveys. 2025. Vol. 57, No. 6. P. 143, p. 1–42. DOI: 10.1145/3645102.
6. Batool A., Zowghi D., Bano M. Responsible AI governance: a systematic literature review // ArXiv : [site]. 2023. 18 Dec. 8 p. DOI: 10.48550/arXiv.2401.10896 (Accessed: 12.01.2026).
7. Towards concrete and connected AI risk assessment (C²AIRA): a systematic mapping study / B. Xia, Q. Lu, H. Perera [et al.] // 2023 IEEE/ACM 2nd International Conference on AI Engineering : Software Engineering for AI (CAIN). Red Hook : Curran, 2023. P. 104–116. DOI: 10.1109/CAIN58948.2023.00027.
8. Возможное применение искусственного интеллекта в судостроении и судоремонте / Д.К. Щеглов, Т.Г. Суровцева, М.Н. Ещенко, А.А. Ухов // Судостроение. 2024. № 3. С. 52–56.
9. Дудко М.В., Дудко О.Ю. Цифровизация и цифровая трансформация судостроения в РФ // Гипотеза. 2022. № 3. С. 59–66.
10. National strategy of AI development up to the year 2030. Approved by the Executive Order of the President of the Russian Federation No. 490 dt. October 10, 2019 // Official Legal Portal. URL: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001201910110003> (Accessed: 12.01.2026) (*in Russian*).
11. List of follow-up instructions after conference “Quest into AI World”. Document No. Pr-172 // Official web site of the President of the Russian Federation. Moscow, 2023. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406165361/> (Accessed: 05.01.2026) (*in Russian*).
12. Executive Order of the President of the Russian Federation No. 124 dt. February 15, 2024 “On introduction of alterations to the Executive order of the President of the Russian Federation No. 490 “On AI development in the Russian Federation” and to the National Strategy approved by the same Order“ // Official Legal Portal. Moscow, 2024. URL: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001201910110003> (Accessed: 04.01.2026) (*in Russian*).
13. Putin announces National AI development strategy up to 2030 // TASS news agency : [site]. 2024. February 15. URL: <https://tass.ru/politika/20000627> (Accessed: 04.01.2026) (*in Russian*).
14. Wei W., Liu L. Trustworthy distributed AI systems: robustness, privacy, and governance // ACM Computing Surveys. 2025. Vol. 57, No. 6. P. 143, p. 1–42. DOI: 10.1145/3645102.
15. Batool A., Zowghi D., Bano M. Responsible AI governance: a systematic literature review // ArXiv : [site]. 2023. 18 Dec. 8 p. DOI: 10.48550/arXiv.2401.10896 (Accessed: 12.01.2026).
16. Towards concrete and connected AI risk assessment (C²AIRA): a systematic mapping study / B. Xia, Q. Lu, H. Perera [et al.] // 2023 IEEE/ACM 2nd International Conference on AI Engineering : Software Engineering for AI (CAIN). Red Hook : Curran, 2023. P. 104–116. DOI: 10.1109/CAIN58948.2023.00027.
17. Possible AI applications in shipbuilding and ship repair / D.K. Sheglov, T.G. Surovitseva, M.N. Yeshenko, A.A. Ukhov // Sudostroenie. 2024. Vol. 3(880). P. 52–56 (*in Russian*).
18. Dudko M.V., Dudko O.Yu. Digitization and digital transformation of Russian shipbuilding // Hypothesis. 2022. No. 3(20). P. 59–66 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Шалдыбин Андрей Викторович, к.т.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела филиала «НИИ „Лот“» ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия. Адрес: 199178, Санкт-Петербург, 19-я линия Васильевского острова, д. 24, а/я 260. Тел.: +7 (812) 748-54-50. E-mail: lot@ksrc.ru.

Новиков Дмитрий Олегович, генеральный директор ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

References

1. National strategy of AI development up to the year 2030. Approved by the Executive Order of the President of the Russian Federation No. 490 dt. October 10, 2019 // Offi-

Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-46-23. E-mail: krylov@ksrc.ru. <https://orcid.org/0009-0009-8495-8331>.

About the authors

Andrey V. Shaldybin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Research Department, Lot Branch of Krylov State Research Centre. Address: 24, 19th Line of Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, Russia, post code 199178, p.o. box 260. Tel.: +7 (812) 748-54-50. E-mail: lot@ksrc.ru.

Dmitry O. Novikov, Director General, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-46-23. E-mail: krylov@ksrc.ru. <https://orcid.org/0009-0009-8495-8331>.

Поступила / Received: 10.02.26
Принята в печать / Accepted: 18.02.26
© Шалдыбин А.В., Новиков Д.О., 2026