

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.К. Дригола, А.В. Алексеев, В.Е. Бондырев, Д.О. Иванов (Санкт-Петербург)

Введение. Комплексное моделирование объектов морской техники и морских транспортных систем (ОМТиМТС) с использованием всего арсенала теории и инструментальных средств моделирования является сегодня безальтернативным при исследовании, синтезе, оптимизации и исследовательском проектировании сложных объектов (СЛО). Но одновременно и неиссякаемым источником когнитивных данных и знаний для повышения эффективности экономики, качества жизни населения, укрепления обороноспособности страны и в целом национальной безопасности страны в это сложное для России время [1, 2].

Обусловлено это, прежде всего, неуклонной тенденцией роста функциональной, структурной и алгоритмической сложности современных объектов информатизации и их моделирования как следствия развития информационных технологий, все возрастающих и новых требований общества к средствам и системам прогрессивного технологического развития.

Именно комплексное моделирование СЛО, включая ОМТиМТС, позволяет на системном уровне анализировать их свойства, оценивать валидность и находить перспективные пути развития инновационных решений в обеспечение конкурентной способности продукции и услуг, включая, в первую очередь, системы управления.

Анализ состояния и эффективности систем управления разнородными объектами позволяет утверждать, что *используемые сегодня технологии и средства управления*, включая критические, весьма *далеки от совершенства и требований времени* [1–8], в том числе *по базовым критериям системного управления* [1–5]:

- оперативности управления – не решены проблема мониторинга, мультиконтурного, полимодельного опережающего управления, контроля качества управленческих решений, проблема прогнозирования развития обстановки;
- достоверности используемой информации – не решены проблема интеллектуального и рефлексивного управления, проблема мониторинга и контроля ценности используемых данных, проблема автоматической фильтрации ложного контента, проблема минимизации избыточности данных и ранжирования их качества, проблема формирования виртуальных информационных пространств и ситуационной маскировки, проблема автоматизации процессов анализа, синтеза, оптимизации;
- устойчивости управления – не решены проблема прогнозирования и ранжирования качества проектов управленческих решений, проблема создания теории автоматического управления защитой информации, проблема комплексной визуализации единого информационного пространства, проблема визуализации легитимности и критичности информационных взаимодействий, ранжирования каналов взаимодействия по их системным показателям качества;
- скрытности управления – не решены проблема интеграции каналов связи и скрытного использования открытых каналов управления, проблема динамической информационной маскировки, проблема ментального управления субъектами взаимодействий разных групп и социума, проблема создания средств и систем двойного назначения, проблема использования демаскирующих признаков, проблема цифровизации скрытности управления;
- непрерывности управления – не решены проблема создания теории практики распределенного управления в пространстве, времени и диапазоне динамично

изменяющихся условий, проблема развития теории и практики управления гетерогенными системами, проблема создания теории и практики ролевого и рефлексивного управления, перехвата управления;

- ресурсной обеспеченности заданного качества управления – не решены проблема типового нормирования достаточности обеспечения при решении основных классов задач и разработки методики цифровой оценки критичности, проблема «бережливого управления» и технологий ресурсосберегающего управления;

- проектного качества и эффективности управления в целом – не решены проблема создания теории практики цифровой оптимизации, целеполагания и соответствующего целераспределения, проблема анализа и систематизации современных тенденций совершенствования систем управления разнородными СЛО с учетом всех стадий их жизненного цикла и типовых решаемых задач с их ранжированием, проблема развития и использования технологий полимодельного моделирования СЛО как по типовым модельным данным, так и по реальным данным объектов моделирования, проблема обобщения опыта создания систем мониторинга и интеллектуального анализа обстановки, проблема распределенного управления, проблема формирования и актуализации баз данных и знаний, в том числе с использованием элементов искусственного интеллекта (ИИ) [9–11].

Названные выше проблемы и задачи обуславливают острую необходимость форсированного поиска результативных и эффективных инновационных направлений развития систем управления для различных классов объектов управления и, в первую очередь, критически значимых типа ОМТиМТС. Причем, в интересах решения комплекса первостепенных национальных задач в обеспечение безусловного **превосходства в управлении, превосходства в информационной сфере, превосходства в технологическом развитии** и, безусловно, в обеспечение национального суверенитета.

Актуальность темы исследования. В этой связи, по нашему мнению, наиболее перспективным направлением моделирования и развития систем управления ОМТиМТС в настоящее время следует считать развитие технологий цифровых двойников (ЦД), среди множества которых [12–14] рассмотрим возможности моделирования на базе технологий Кафедры судовой автоматики и измерений Санкт-Петербургского государственного морского технического университета [15–35].

В ходе ранее выполненных исследований, включая *анализ лучших практик развития систем управления*, выполнения исследовательского проектирования, **разработаны платформа** и пилотный *вариант экспериментально-опытного образца ЦД с уникальной структурой, системой свойств* и характеристик, а также технология использования с последующей ее апробацией на ряде задач и объектов моделирования.

Это позволило в рамках настоящих исследований использовать накопленный опыт и инструментарий РПК «КСПр-23» [19], в том числе для учета возможностей ИИ.

Замысел на решение поставленной задачи. В контексте разработки и исследования ЦД распределенной системы управления (РСУ) с элементами ИИ, по нашему мнению, **базовыми принципами концепции создания ЦД РСУ** должны быть:

П.1. Непрерывная автоматическая оценка, мониторинг, контроль и оптимизация качества функционирования СЛО (объектов управления) путем максимизации агрегированного показателя качества (АПК): при проектировании – Q_p , а при использовании (функционировании) СЛО – путем оценки по той же методике значения качества по фактическим данным эксплуатации Q с оценкой эффективности функционирования СЛО по критерию типа

$$W_{opt} = \text{Max} \left(\frac{Q}{Q_n} \right). \quad (1)$$

П.2. Непрерывная автоматическая оценка, мониторинг, контроль и оптимизация качества управленческих решений для всех N пунктов управления (ПУ) РСУ по критерию

$$Q_{opt} = \mathbf{Max}_{1 \leq n \leq N} \left(\frac{N_P}{N_P + N_O + N_K + N_H} \right), \quad (2)$$

где N_P, N_O, N_K, N_H – соответственно общие в процессе управления РСУ для N ПУ потоки решений – реализованных, отмененных, скорректированных, нереализованных.

П.2. Масштабируемость технологических решений ЦД на все ПУ РСУ с соответствующим обеспечением единого информационного и технологического пространства на базе единой аппаратно-программной платформы.

П.3. Инвариантность технологических решений ЦД к специфике и задачам РСУ с обеспечением единого технологического пространства управления и соответствующей возможностью мультиконтурного управления с любого из ПУ в обеспечение скрытности, устойчивости и непрерывности управления.

П.4. Квалиметрическая оценка, анализ, оптимизация и контроль системных свойств и показателей проектного качества (K_P) РСУ Q_U и эффективности функционирования РСУ $W=Q/Q_U$ как меры реализации K_P в условиях эксплуатации.

П.5. Реализация парадигмы роботизированной интеллектуальной поддержки рефлексивного проактивного (опережающего) мультиконтурного и полимодельного управления СлО, в том числе с использованием элементов ИИ на ОМТиМТС, включая распознавание образов ситуационной обстановки, синтез проектных и управленческих решений на основе оценки, анализа системных показателей качества.

Тем самым, предусматривается обеспечение за счет оптимизации проектных и управленческих решений в процессе боевого использования РСУ военно-технологического превосходства по управлению при эффективности боевого использования системы управления потенциального (реального) противника $W_{ПП}$

$$ВТП_y = \frac{W}{W_{ПП}}. \quad (3)$$

Модель и математический аппарат оценки названных выше понятий и моделей может быть заимствован из названных ниже источников [15-35], а также их развития с учетом свойств инвариантности и масштабируемости.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения при настоящем исследовании включали:

1. Развитие технологии ЦД применительно к задачам РСУ методом адаптации структуры и параметров [19] к типовым модельным исходным данным по пунктам и системам управления с учетом реализации названных выше принципов.

При этом, в паспорт ЦД РСУ СлО вошли следующие варианты построения и сравнительного анализа альтернативы систем управления в соответствии с рисунком 1:

А.1. Типовая автоматизированная система централизованного управления (1.АСУц) с модельными параметрами, приведенными на рис. 1.

А.2. Типовая система централизованного управления (2.АСУ_{СИП}), отличающаяся от варианта 1.СУц наличием развитой системы информационно-поисковой поддержки принятия решений (СИП) на центральном пункте управления.

А.3. Типовая система централизованного управления (3.АСУ_А) по типу БИУС «Aegis_3.6», отличающаяся от варианта 1.СУц и 2.СУ_{СИП} наличием высокопроизводительного компьютерного комплекса, позволяющего автоматически решать задачи ПРО, ПКО, ПЛО, обнаруживать, сопровождать и поражать до 18 воздушных и морских целей при сопровождении до 250-300 целей [36].

А.4. Типовая система централизованного управления (4.АСУ_Б), базовая при сравнении, отличающаяся от варианта 3.АСУ_А наличием развитой системы интеллектуальной поддержки принятия решений (ИСППР) на центральном пункте управления, в том числе с элементами ИИ, позволяющими:

- решать автоматически комплекс радиолокационных задач в радиусе 320 км с параметрами, превосходящими вариант 3.АСУ_А, и приведенными на рис. 1.а;
- в реальном масштабе времени обеспечивать перехват групповых баллистических целей с использованием программного обеспечения версии Aegis_5.2 и способностью сбивать ракеты средней дальности до 5500 км, ограниченно и МБР, ракеты SM-3 Block IA/IA/IB/IBB, SM-6 [36]. Модельные данные приведены на рис. 1.а.

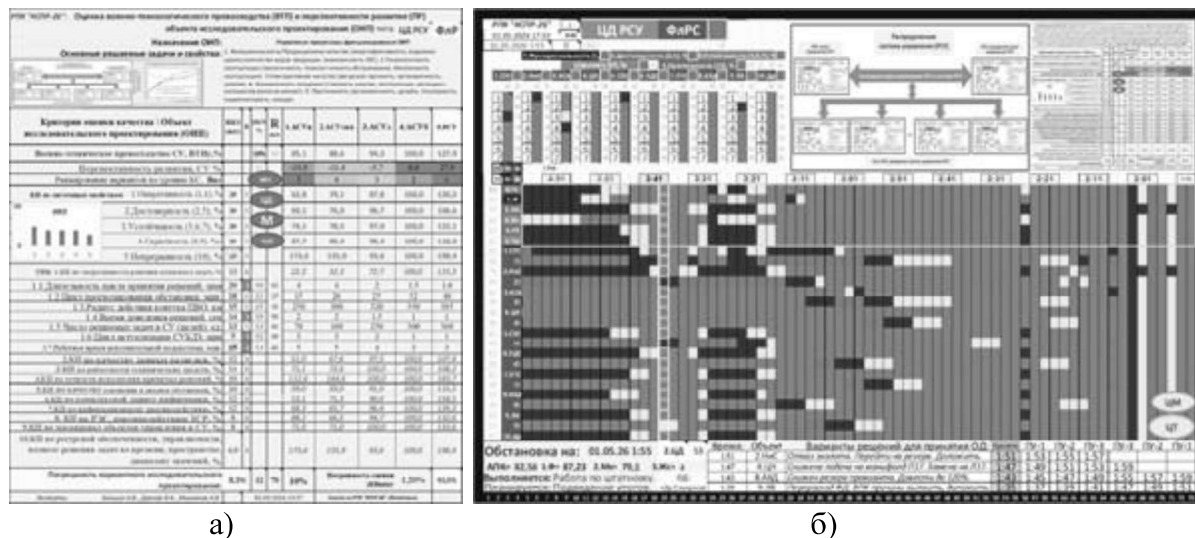


Рис. 1. Типовые экранные формы ЦД РСУ:
а – режим цифрового паспорта; б – режим ЦМ и ЦТ

А.5. Исследовательский вариант РСУ (5.РСУ), отличающаяся от базового при сравнении варианта 4.АСУ_Б наличием развитой ИСПРУ на базе ЦД с режимами цифровой модели (ЦМ) и цифровой тени (ЦТ), а также с централизацией системного управления по программе или по ситуации (реализация принципов П.1–П.5), в том числе с элементами ИИ, позволяющими в свете требований, приведенных на рис. 2, обеспечить результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности операторов или превосходящие их в части:

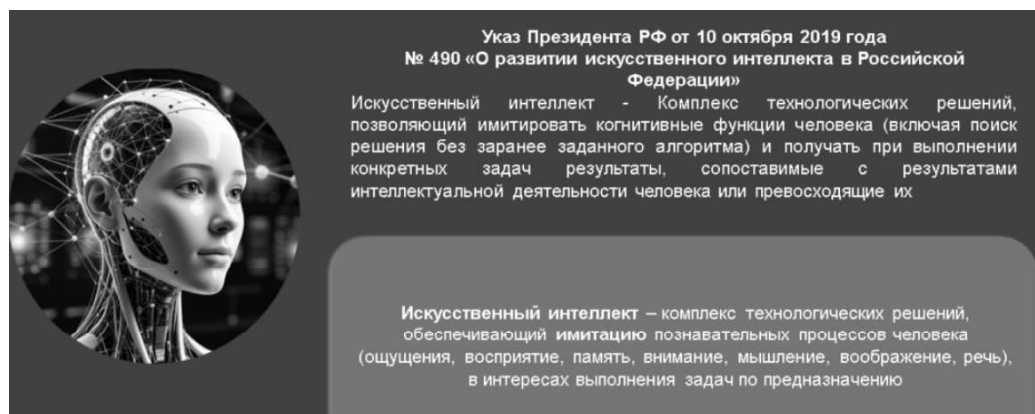


Рис. 2. Базовые требования по определению и качеству решения задач ИИ

- автоматического решения комплекса радиолокационных задач с превосходством по скорости и качеству в сравнении с А.4 порядка $> 1,2$ раза;
- решения задач эффективного с показателем ВТПу $> 1,1$ мультиконтурного распределенного управления, полимодельного анализа с превосходством по качеству 1,1 и проактивного управления с упреждением порядка 6 минут при других сопоставимых модельных допущениях по альтернативам А.3 и А.4.

Для обоснования и качественной постановки задач по *эффективному инновационному и инвестиционному обеспечению* развития систем управления, в первую очередь **требуются**, как минимум, методический аппарат и средства исследовательского/концептуального проектирования, а также возможность моделирования РСУ типовых объектов управления, например, боевых информационно-управляющих систем (БИУС).

Из всего многообразия возможных направлений решения задачи разработки РСУ в классе успешно развиваемых сегодня именно **технология ЦД РСУ** разнородными объектами управления нам представляется *наиболее целесообразной*, как и *выбор метода адаптации* уже существующих технологий и практических вариантов ЦД к условиям и специфике РСУ типовых объектов управления **на основе** [23–35]:

- анализа и систематизации современных тенденций совершенствования систем управления разнородными типовыми объектами управления (ТОУ) с учетом всех стадий их жизненного цикла и ранжирования типовых решаемых задач;
- обоснования системы критериев оценки качества функционирования ЦД РСУ ТОУ с учетом специфики решаемых задач, например, флотилии разнородных сил, корабля, подводной лодки и т.п.;
- адаптации программного обеспечения ЦД типа [19] к специфике задач и выбранной системе критериев оценки проектного качества и эффективности;
- развития и использования технологий полимодельного моделирования сложных объектов как по типовым модельным данным, так и по реальным данным объектов моделирования (ЦД в режиме «Цифровой тени ТОУ»);
- вариантного исследовательского проектирования и ранжирования по системным показателям проектного качества/эффективности альтернативных вариантов функционирования ЦД РСУ ТОУ с соответствующими требованиями по целям, задачам, функционалу, структурам РСУ;
- обобщения опыта создания систем мониторинга и интеллектуального анализа обстановки в варианте систем поддержки принятия решений и управления (ЦД в режиме СПРУ) типа [19];
- практической отработки образцов роботизированных систем поддержки принятия проектных и управленческих решений путем проведения широкомасштабных ситуационных модельных исследований типа [18, 20, 22];
- формирования и актуализации баз данных и знаний (БДЗ) в варианте цифровых паспортов ЦД РСУ и систем управления БДЗ по типу [19].

Результаты исследовательского проектирования варианта 5. РСУ с использованием в качестве примера ЦД на базе роботизированного проектного комплекса РПК «ИСПР-23.1» [24] приведены на рис. 1. Структура ЦД включает:

1. цифровой паспорт (рис. 1.а), предназначенный для визуализации, сравнительного альтернативного анализа, синтеза и оптимизации комплекса свойств и характеристик объектов моделирования;
2. цифровую модель (рис. 1.б), предназначенную для исследования объекта моделирования по модельным данным и ситуациям;
3. цифровую тень, аналогично рис. 1.б, но при использовании в качестве входных данных, информации с датчиков и систем реального объекта;

4. базу данных и знаний, предназначенную для сбора, систематизации, хранения и актуализации данных моделирования;

5. систему поддержки решений и управления, предназначенную для управления РПК система интерактивного обеспечения процессов моделирования и их использования при реализации принятых управленческих решений.

Анализ полученных результатов в сопоставление с ранее известными нам технологиями ЦД [12-14] показывает:

1. Пятиэлементная структура ЦД РСУ является минимально необходимой (безизбыточной) и позволяющей эффективно реализовать названные выше принципы РСУ, в том числе применительно к ОМТиМТС и с использованием элементов искусственного интеллекта при ожидаемой конкурентной способности (военно-техническом превосходстве) в сравнении с современными альтернативными вариантами типа «Aegis» более, чем на 27%, что весьма существенно (рис. 1.а).

2. Для иллюстрации возможности реализации ЦД РСУ на рис. 1 приведен пример адаптации [19] к условиям рассматриваемой проблемы в виде главной экранной формы в режиме «Цифровой паспорт» (а) и в режиме «Цифровая модель/тень» (б).

3. Комплекс данных технологических решений можно масштабировать на любые пункты управления РСУ ТОУ, что существенно упрощает процедуру разработки, создания, ввода в действие и подготовки персонала. Именно это является неотъемлемым свойством типовых проектных решений ЦД РСУ ТОУ, что, однако, накладывает особые требования к качеству этих решений.

4. С другой стороны, оптимизация главных экранных форм данного и подобных решений нацелена на минимизацию информационно-технической избыточности и максимизацию ценности используемой операторами РСУ ТОУ информации, в том числе без предъявления требований к ним по специальной программной подготовке, но при качественно новом уровне требований по операторской подготовке.

5. Основными из немногочисленных проблемных вопросов разработки ЦД РСУ ТОУ на настоящем этапе их развития могут быть названы: разработка и согласование отдельных исходных данных; согласованное решение вопросов режимности; принятие решение о возможности создания пилотного образца и моделирования задач РСУ ТОУ в виде выделенного сегмента действующих информационно-коммуникационных систем без, естественно, нанесения ущерба им.

6. Создание модельных комплексов типа ЦД РСУ ТОУ на базе существующих информационно-коммуникационных систем по существу, как известно, является самым малозатратным и самым перспективным организационным вариантом реализации инновационных решений типа ЦД РСУ ТОУ [22–26].

7. Уникальную возможность комплексного решения задач исследовательского проектирования на объектах практически любой сложности при обязательном условии (ограничения) адекватного формирования системы критериев и задания соответствующих исходных данных, включая индексы критериальной значимости.

8. Вместе с тем, именно эти условия входят в компетенцию Заказчика, а многовариантный компьютерный эксперимент при средней погрешности задания исходных данных порядка 10% позволяет, как показано на рис. 1.а при числе критериев порядка 70 получить погрешность оценки системных показателей порядка 1,5%, что вполне приемлемо.

Новизна предлагаемого подхода данного организационно-технологического предложения обусловлена принятой парадигмой цифровизации, анализа и оптимизации системных свойств и характеристик (в перспективе – сертификации) перспективных технологий и соответствующих средств, а также их разработки и реализации, включая средства моделирования, в том числе по технологии ЦД РСУ ТОУ с элементами искусственного интеллекта.

Новизна полученных результатов обусловлена выполненными впервые и полученными системными оценками на модельном примере А.1-А.5 ожидаемой эффективности по критерию **ВТПу** > **117%**, реализацией концепции и 5 названных принципов построения и боевого использования систем управления сложными объектами типа РСУ [25], что только подтверждает перспективность их развития.

Реализация технологии ЦД на базе РПК «КСПР-26» [26–35] путем адаптации к условиям исследования РСУ и выполненный числовой эксперимент подтвердил высокие возможности ЦД и их дальнейшего развития, использования в задачах системного анализа сложных организационно-технических систем.

Уникальной особенностью технологического решения ЦД РСУ на базе РПК «КСПР-26» следует считать возможность цифрового обоснования перспектив развития исследуемых вариантов ОМТиМТС путем автоматической оценки, анализа и использования индексов корневой чувствительности, как показано на рис. 3.



Рис. 3. Обоснование проектных решений ОМТиМТС с использованием метода индексов корневой чувствительности

Реализованные в РПК «КСПР-26» методология и математический аппарат квалиметрического анализа, синтеза и оптимизации свойств и характеристик сложных объектов типа РСУ ТОУ [27–35] подтверждают свою исследовательскую результативность и применительно к сложным ОМТиМТС практически системную безальтернативность.

Заключение

По нашему мнению, реализация предлагаемого инновационного проекта данного состава возможна силами 2...3 организаций, специализирующихся в области цифрового моделирования, при числе ключевых участников проекта до 15...20 и позволит создать промышленный образец ЦД РСУ ТОУ, в том числе с использованием элементов искусственного интеллекта, в *варианте пилотного проекта*, наметить и апробировать отдельные инновационные решения по проблеме проактивного (опережающего) управления, проблеме интеллектуального и рефлексивного управления, мониторинга и контроля качества принимаемых управленческих решений, интеграции каналов связи и скрытного использования открытых каналов управления, непрерывности распределенного управления в пространстве, времени и диапазоне динамично изменяющихся условий, что и обуславливает актуальность реализации данного инновационного научно-технологического предложения.

Литература

1. **Архипов А.В., Четвертаков М.М.** Долгосрочная кораблестроительная программа: принципы разработки и проблемы реализации // Оружие наследников Победы. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2015, с. 794–801.
2. **Волков В.И., Тычинин И.Ю., Алексеев А.В.** Анализ системных аспектов управления развитием критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 1 / СПОИСУ. – СПб., 2015, с. 520–526.
3. **Бобровиц В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Комплексное моделирование системного управления качеством и конкурентной способностью морской техники Шестая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2021). Труды конференции. – М.: Издательство «Перо», 2021, с. 26–32.
4. **Охтилев М.Ю., Охтилев П.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Концепция и технология проактивного управления жизненным циклом сложных технических объектов на судостроительном предприятии / Седьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2023)». Труды конференции – СПб.: ИПК «НП-Принт», 2023, с. 163-68.
5. **Плотников А.М., Долматов М.А., Девятков В.В.** Вопросы имитационного (комплексного) моделирования судостроительных производств / Седьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2023)». Труды конференции – СПб.: ИПК «НП-Принт», 2023, с. 176-185.
6. **Бобровиц В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Мусатенко Р.И., Смольников А.В.** Системное управление проектным качеством и живучестью объектов морской техники: теория практики / Седьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2023)». Труды конференции – СПб.: ИПК «НП-Принт», 2023, с. 48-56.
7. **Алексеев А.В., Согонов С.А., Антипов В.В., Смольников А.В.** Технология оптимизации проектных решений по критерию обеспечения конкурентной способности продукции и услуг / Новые технологии в судостроении. НТС-2025: Сборник трудов отраслевой научно-технической конференции / АО «ЦТСС», 2025, с. 20–29.
8. **Баёв А.С.** К достижению технологической независимости в судостроении / Новые технологии в судостроении. НТС-2025: Сборник трудов отраслевой научно-технической конференции / АО «ЦТСС», 2025, с. 30–35.
9. **Алексеев А.В., Евсеенко С.М.** Об интеллекте и определении степени интеллектуализации продукции и деятельности приборостроительного предприятия / Инновации. Научно-практический ежемесячный журнал. 2021, 06 (272), с. 36-47.
10. **Алексеев А.В., Евсеенко С.М.** Об искусственной интеллектуализации и определении степени интеллектуализации продукции и деятельности приборостроительного предприятия / Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies, № 4 (54) том 2, 2021, с. 140-150.
11. **Согонов С.А., Алексеев А.В., Евсеенко С.М. Михальчук А.В., Пшеничная К.В.** Обоснование инновационной и инвестиционной привлекательности технологических предложений по использованию элементов искусственного интеллекта в системах автоматизации / Актуальные проблемы морской энергетики: материалы XIII международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2025, с. 307-315.

12. **Серугендо Д.Д., Каттинг-Десель А.Ф, Гиз Л., Корменье Т., Хан И., Хоссенлоп Л.** Цифровые двойники: от концепций до промышленной эксплуатации. [Электронный ресурс] / <https://www.osp.ru/os/2022/04/13056597> (дата обращения 12.04.2026).
13. **Прохоров А., Лысачев М.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое / научн. ред. А. Боровиков. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
14. Библиотека цифровых моделей и виртуальный полигон для выполнения цифровых двойников / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019612794, 28.02.2019. Заявка № 2019611680 от 20.02.2019.
15. **Алексеев А.В., Волкова А.А.** Модель и программный комплекс цифрового двойника типовой системы комплексной защиты информации / Сборник трудов, СПбГМТУ: Наука О+, 2022, с. 25-29.
16. **Алексеев А.В., Михальчук А.В., Грачев В.Н., Миклуш С.В.** Технология разработки, структура и реализация цифрового двойника типового объекта информатизации / Седьмая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем (ИКМ МТМТС-2023)». Труды конференции – СПб., ИПК «НП-Принт», 2023, с. 36-43.
17. **Алексеев А.В.** Квалиметрическая концепция и технология создания и использования цифровых двойников в инвариантном исполнении /Международный технологический форум – Рыбинск, 2023, с. 156-176.
18. **Алексеев А.В., Максимова М.А., Согонов С.А., Михальчук А.В.** Модель и технология цифровых двойников систем автоматизации судов / Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ). Выпуск 4 (8), 2023, с. 5-14.
19. **Алексеев А.В., Михальчук А.В.** Цифровой двойник системы комплексной защиты информации в инвариантном исполнении (ЦД СКЗИ) / Реестр программ Федеральной службы по интеллектуальной собственности № 2023662162, 06.06.2023.
20. **Алексеев А.В.** Теория практики цифровых двойников в судостроении /Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023): сборник трудов одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности / Под науч. ред. В.В.Девяткова. – Казань: Изд-во АН РТ, 2023, с. 78-90.
21. **Алексеев А.В., Согонов С.А., Максимова М.А., Хруцкий О.В., Равин А.А., Михальчук А.В.** Методология создания и учебно-лабораторного использования цифровых двойников систем автоматизации судов и аудита их информационной защищенности / Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023). XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт– Петербург, 25-27 октября 2023 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб, 2023. С. 220-222.
22. **Алексеев А.В., Михальчук А.В. Охтилев М.Ю., Микони С.В., Соколов Б.В.** Системно-кибернетический подход к созданию и использованию цифровых двойников сложных технических объектов / XIV Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2024): сборник научных трудов, 17-20 июня 2024 г., Москва / Под общ. ред. Д.А. Новикова; Ин-т проблем упр. Им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. наук – М.: ИПУ РАН, 2024, с. 3764-3768.
23. **Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Цифровой двойник систем автоматизации процессов борьбы за информационную живучесть корабля, судна / Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023). XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт– Петербург, 25-27 октября 2023 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб, 2023, с. 226-228.
24. **Дригола В.К., Алексеев А.В., Степанян М.В.** Цифровой двойник распределенной системы управления морскими объектами. постановка задачи / Региональная

информатика (РИ-2024). XIX Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2024)». Санкт-Петербург, 23-25 октября 2024 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб., 2024, с. 314-316.

25. **Дригола В.К., Алексеев А.В.** Модель распределенной системы управления флотилии разнородных сил в информационно-защищенном исполнении и её приложения / Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 14 / СПОИСУ. – СПб., 2025, с. 390-395.
26. **Дригола В.К., Алексеев А.В.** Технология оптимизации принятия решений и распределенного управления сложными организационно-техническими системами / III Всероссийская научно-практическая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационные технологии в Вооруженных силах Российской Федерации» – Анапа, 2024.03.21-22.
27. **Дригола В.К., Алексеев А.В.** Наука и образование в судостроении: методические аспекты освоения технологий цифровизации образовательной среды / Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ). Выпуск 4 (8), 2024, с. 5-14.
28. Инновационный проект «Внедрение на кораблях и в соединениях ВМФ технологии и программного комплекса цифрового двойника технической и боевой готовности соединения кораблей к выходу в море» / Алексеев А.В., Москаленко В.А., Мусатенко Р.И., Дригола В.К., Михальчук А.В., Стефанович И.Д. – СПб.: СПбГМТУ, НП «ИАП БЖКС», 2024.
29. **Алексеев А.В., Михальчук А.В., Согонов С.А.** Калькулятор информационной безопасности: возможности, свойства и методика использования / Комплексная защита информации: материалы XXIX науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 г. – Санкт-Петербург: УГЗ МЧС РФ, 2024. – 277 с.
30. **Дригола В.К., Алексеев А.В.** Цифровой двойник распределенной системы управления: вариант реализации / Актуальные проблемы морской энергетики: материалы XIII международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2025, с. 229-237.
31. **Михальчук А.В., Алексеев А.В., Дригола В.К., Бондырев В.Е., Марьян В.Н.** Метод исследования и программная поддержка цифровизации качества моделей, валидация и верификации цифровых двойников в судостроении / Двенадцатая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2025). Труды конференции, 15–17 октября 2025 г., Санкт-Петербург: Издательство АО «ЦТСС», 2025, с. 423-416.
32. **Михальчук А.В., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Алгоритм функционирования цифрового двойника управления борьбой за информационную живучесть корабля, судна в режиме «Цифровой тени» / Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 14 / СПОИСУ. – СПб., 2025, с. 399-404.
33. **Алексеев А.В., Дригола В.К., Михальчук А.В.** Информационная живучесть корабля, судна: прикладная теория обеспечения военно-технологического превосходства / Телекоммуникации и связь. Научный рецензируемый журнал. 2025, № 4 (07), с. 79-87.
34. **Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В., Бондырев В.Е.** Сертификация качества моделей на примере цифровых двойников управления борьбой за живучесть корабля, судна / Актуальные проблемы морской энергетики: материалы XIV международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2026, с. 5-14.
35. **Михальчук А.В., Алексеев А.В.** Цифровой двойник информационной безопасности на базе РПК «КАСОР-26.Гюйс» / VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Цифровая трансформация и информационная безопасность: вызовы для науки и образования», 26 июня – 1 июля 2026. Нальчик: КБГУ, 2026.
36. ИДЖИС (БИУС) / [https://ru.wikipedia.org/wiki/Иджис_\(БИУС\)?ysclid=molonpbtjc204306573](https://ru.wikipedia.org/wiki/Иджис_(БИУС)?ysclid=molonpbtjc204306573) (Дата обращения: 30.04.2026).