

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛАДочно-МОДЕЛИРУЮЩЕГО ВЫСОКОУРОВНЕВОГО СЛОЯ LAYRED CAKE АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ НПА И БПЛА

Астахов Максим Игоревич

ведущий программист, ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
infonaftoo@mail.ru

Петрова Кристина Игоревна

научный сотрудник, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований МТО ВС РФ) Военной академии МТО им. А.В. Хрулёва,
infonaftoo@mail.ru

Калинин Иван Викторович

инженер, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований МТО ВС РФ) Военной академии МТО им. А.В. Хрулёва,
rehcbd23@yandex.ru

Огурцова Кристина Михайловна

ведущий инженер, «Научно-производственное предприятие «Пульсар», Москва; Общество с ограниченной ответственностью «Геном Геометрии Дизайна Систем», Санкт-Петербург; Общество с ограниченной ответственностью «Yadro», Москва

kristina-ogurtsova@mail.ru

Зайцев Александр Андреевич

инженер, ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
aleksaneksss@gmail.com

Евстигнеев Николай Николаевич

инженер, Общество с ограниченной ответственностью «Геном Геометрии Дизайна Систем»
nikevst88@gmail.com

DESIGN OF HIGH LEVEL DEBUGGING AND SIMULATION LAYER OF LAYERED CAKE ARCHITECTURE OF DYNAMIC OBJECT DEVELOPMENT SYSTEM AS AN EXAMPLE

**M. Astahov
K. Petrova
I. Kalinin
K. Ogurtsova
A. Zaitsev
N. Evstigneev**

Summary: In the article, the authors consider the intermediate results of the ongoing research work aimed at developing an approach and methods for creating a system that allows designing new generation products. The method of constructing the architecture of this system is substantiated, including through one of the components — the debugging and modeling layer responsible for conducting complex numerical calculations of robotic complexes. An experiment with post-analysis is presented, showing the achievement of results when performing tasks: designing an object with the property of adaptability to the localization environment; development of the head algorithm; the possibility of releasing product objects. This method can have many fields of application, but within the framework of the article, the authors mean robotic complexes. As an experimental test of the possibility of achieving positive results in the design of the system, robotic complexes for aerial and underwater purposes were selected. The choice of these robotic complexes is based on the existing scientific and technical background of the organizations represented by the authors.

Keywords: debugging and modeling complex, functional modeling, behavioral modeling robotic complex, visualization of the situation, Research and Development — R&D, autonomous uninhabited underwater vehicle, unmanned autonomous aircraft, digital twin.

Аннотация. В статье авторы рассматривают промежуточные результаты проводимой научно-исследовательской работы направленной на разработку подхода и методов создания системы, позволяющей проектировать продукты нового поколения. Обосновывается метод построения архитектуры данной системы, в том числе и через один из компонентов — отладочно-моделирующий слой, отвечающий за проведение комплексных численных расчетов робототехнических комплексов. Приводится эксперимент с пост-анализом, показывающий достижение результатов при выполнении задач: проектирование объекта со свойством адаптивности к среде локализации; разработка головного алгоритма; возможность выпуска объектов-продуктов. Данный метод может иметь многие сферы применения, но в рамках статьи авторы подразумевают робототехнические комплексы. В качестве экспериментальной проверки возможности достижения положительных результатов проектирования системы выбраны робототехнические комплексы воздушного и подводного назначения. Выбор данных робототехнических комплексов основывается на существующем научно-техническом заделе организаций, представляемых авторами.

Ключевые слова: отладочно-моделирующий комплекс, функциональное моделирование, поведенческое моделирование робототехнический комплекс, визуализация обстановки, Research and Development — R&D, автономный необитаемый подводный аппарат, беспилотный автономный летательный аппарат, цифровой двойник.

Современное развитие человеческого общества повышает требования к разрабатываемым объектам, например, робототехническим комплексам (РТК), выполняющим задачи как самостоятельный объект, так и в группах. Набор параметров РТК, к которым у человека начинает складываться наиболее требовательное отношение, являются: габариты, функционал, материал, энергообеспечение, комбинаторика, автономность и эргономика. Именно данные параметры становятся определяющими при эксплуатации, а равно базовыми при разработке РТК. Соответствие данным параметрам уже на этапе проектирования РТК, усложняет процесс R&D, верификации и валидации, но позволяет создать новый, адаптивный и экономически эффективный продукт, отвечающий параметрам среды локализации, восприятию человека и решаемым задачам, в том числе и в перспективе [1].

Увеличивает актуальность создания РТК нового поколения, в которых ключевыми средствами исполнения могут быть РТК и объём спектра комплексных технических задач, таких, например, как:

- выполнение действий и работ в опасных для человека средах и условиях (космическая среда, глубоководная среда, зоны радиоактивного загрязнения);
- выполнение действий, связанных с неприемлемыми рисками (поиск и уничтожение мин);
- функционирование во время длительных миссий.

Необходимо отметить, что одним из ключевых этапов проектирования РТК является этап испытаний, которые, основываясь на рассматриваемой технологии, изменятся после включения в себя гибридного применения в трёхмерной среде следующих средств: математического моделирования, репликацию потенциальных сред локализации, машинного обучения. В свою очередь построение процессов, в том числе испытаний, основанных на рассматриваемом подходе и методах, является одной из задач, решаемых авторами.

Проводимый авторами данной статьи анализ подходов и методов, в том числе и представленных выше, подтверждает актуальность и своевременность ведущихся авторами разработок по созданию отладочно-моделирующего комплекса, в том числе и для РТК. Разработка отладочно-моделирующего комплекса обусловлена потребностью в предоставлении инструмента тестирования, например, при создании алгоритмов управления и взаимодействия групп РТК. Основываясь на виртуализации физических сред, данный комплекс предусматривает моделирование в 3D-средах РТК, групп РТК, моделей поведения и взаимодействия РТК, статические и динамические объекты взаимодействия с ними, гидрометеорологических условий, различных времен года и времени суток [2,3].

Выводы, полученные авторами, также показывают, что результаты исследований могут быть распространены на смежные предметные области. В числе выводов отмечается, что моделирование отдельно взятых элементов в пределах ограниченных этапов переходит в необходимый процесс моделирования целых технологий и полного цикла процесса проектирования, например, РТК.

Развитие алгоритмов визуализации, программного обеспечения для моделирования 3D-объектов, программирования их полимодального поведения, а также появление новых устройств обратной связи позволяют создавать системы, имитирующие физическую реальность, концепции эргономики иммерсивных сред, инженерную психологию. Вышеуказанные технологии являются базовыми предпосылками создания архитектуры системы, основанной на методе «Layered cake», выраженной в аппаратно-программной платформе, управляемой головным, самообучаемым алгоритмом, направленной на решения представленных задач.

Подход, описанный в статье, основан на виртуализации сред, процессов, систем, объектов и методов. Посредством оркестрирования и комплексирования разрабатываемая система обеспечивает набор принципиальных возможностей, таких как наиболее «жёсткая» формализация исследуемых сред локализации РТК, получение знаний и самообучение головного алгоритма системы и головных алгоритмов моделей поведения РТК. Также следует упомянуть методологию разработки таковых, основанную на проектирование систем и подсистем, а равно РТК в режиме реального времени благодаря дереву решений [4].

Одним из решений становится внедрение асинхронности и параллелизма процессов на этапе R&D, например, выбор и проверка материала узла создаваемого объекта в CAD и параллельная проверка функционирования и геометрии узла в 3D. При этом разработка данного метода сопряжена с набором требующих решения вопросов, например, бесшовный обмен данными, выбор решения, поведение в реальных условиях. Данный пример применения представленного метода является реализуемым и подтверждается ведущимися отечественными разработками — проект по разработке беспилотного летательного аппарата «Исследователь», ведущийся инженерами третьего управления «Научно-исследовательского института военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации Военной академии материально-технического обеспечения». В проекте также разрабатывается универсальная, модульная платформа беспилотного автономного летательного аппарата (свидетельство регистрации программы и базы данных № RU2022623464), которая испытывается посредством

CAD и 3D-средами в режиме реального времени. Процессом проведения испытаний управляет коммуникативная распределённая интеллектуальная система управления поведением БПЛА. Система передаёт данные о состоянии БПЛА при выполнении сценариев и испытаниях в созданную инженерами виртуализированную среду на основе программных компонентов SolidWorks и Maya. Данный проект подтверждает жизнеспособность и возможность создания технологии «цифровой двойник».

В отличие от классического способа решения задачи, когда проводится комбинаторный поиск вариантов решения по детерминированному алгоритму, позволяющего найти оптимальное решение, в методах, построенных на дереве решений и мультиагентах решения задач, происходит посредством самоорганизации множества программных агентов, способных к конкуренции и имеющих собственные критерии, предпочтения и ограничения. Использование данных методов подразумевает, что решение считается найденным, когда в ходе недетерминированных взаимодействий агенты достигают неулучшаемого консенсуса (временного равновесия, баланса интересов), который и принимается за решение задачи [5]. Решение задачи, в такого рода системах всегда рассматривается как временное «равновесие», получаемое как динамическая остановка системы в случае, когда ни один из агентов более не может улучшить свое состояние.

Методы машинного обучения и глубокое обучение в отладочно-моделирующем комплексе определяют системные основы для запуска графа оркестрации вложенными алгоритмами и порядок комплексирования построения поведенческих моделей [6].

Процесс моделирования РТК осуществляется с использованием графических элементов, применяемых для генерации описания системы с использованием соответствующих нотаций, которая выстраивает определённые правила описания и использования различных категорий моделируемой системы, например, узлов, процессов, взаимосвязей. Формализованные графические модели РТК, используются для анализа и оптимизации. Отладочно-моделирующий комплекс использует и структурное моделирование с целью исследования возможных перспектив создания следующего от разрабатываемого поколения РТК [7]. С помощью структурного моделирования головной алгоритм разрабатываемой системы выстраивает архитектуру РТК в определённой семантической сети — элементы, оборудования, подсистем, связи с внешней средой, объекты взаимодействия и отношений между ними, что позволяет с точки зрения решения задач и функционала предъявляемых проектируемому РТК требований проверить, достигает ли созданная сеть необходимого результата, провести верификацию и валидацию РТК уже на R&D.

Моделирование поведения РТК в 3D-средах позволяет принять решение о целесообразности и адекватности применяемых алгоритмов управления и выборе оборудования для РТК оптимизации и унификации научных, инженерно-технических, эргономических решений на всех стадиях жизненного цикла РТК до создания и выхода РТК в среду локализации [8,9].

Комплексирование методами машинного обучения при проектировании РТК, основываясь на результатах анализа, полученного авторами, проведенного в рамках данной работы, позволит определить перечень технологий и технологических компонентов необходимых для создания отладочно-моделирующего комплекса и поддержки их целевого назначения, представленные в таблице 1.

Следует отметить, что отдельной задачей является отработка моделей поведения РТК в группе, поскольку применение групп РТК даёт принципиально важные дополнительные возможности при решении предъявляемых задач.

Моделирование физических сред локализации РТК является параллельным процессом в разрабатываемой системе. РТК создаются и применяются во внешних средах: космическая; воздушная (земная атмосфера); земная поверхность; водная и подводная поверхности. Для каждой среды существуют присущие ей характерные свойства, факторы, параметры, которые укладываются в алгоритмическую последовательность вложенных алгоритмов и оркестрируются головным алгоритмом разрабатываемой системы [10].

Разрабатываемая авторами архитектура системы основана на структуре «Layered cake», которая позволяет создать высокоуровневый комплекс, на основе которого сформирована отладочно-имитационная среда, позволяющая проводить исследование и отладку головных алгоритмов моделей управления, систем, подсистем, конфигурации объектов в режиме реального времени. Семантическая структуры архитектуры представлена на рисунке 1.

Важно отметить, что ключевым преимуществом разрабатываемой архитектуры, отличающим данную разрабатываемую систему от уже существующих PLM, PDM систем с функциональной точки зрения, является отладочно-моделирующий комплекс, позволяющий создать направленный вектор исследований на разработку методов представления знаний и формирования поведенческих моделей РТК и групп РТК.

Создание высокоуровневого слоя системы — отладочно-моделирующего комплекса позволяет выработать единый подход при создании новых РТК,

Таблица 1.

Перечень технологий и технологических компонентов отладочно-моделирующего комплекса

Технологии	Технологические компоненты
Проверки (оценки) выполнимости (достижимости) требований назначения к РТК на базе его функционального моделирования	а) организация интеллектуального управление разработкой и конструированием РТК; б) интеграция алгоритмов поведенческой модели РТК по проверке достижение требований назначения; в) проведение верификации модели РТК на ранних стадиях разработки; г) обеспечение сквозного моделирование РТК для всех стадий жизненного цикла программирование.
Проверки (оценки) выполнимости (достижимости) требований назначения к РТК на базе разработки автоматизированного взаимодействия кибернетического моделирования и моделирования взаимодействия РТК с внешней средой	а) построение интегральных цифровых моделей местности и гидро-, аэро- и метеорологических условий, времен года и суток; б) проведение валидации РТК в обозначенных внешних условиях использования, заданной тактической обстановке или по данным полученным различными средствами разведки.
Моделирования взаимодействия робототехнических комплексов в группе для решения стратегических и тактических задач планирования действий Самообучения и самопрограммирования РТК и групп РТК	а) планирование маршрутов группы РТК с учетом проходимости и безопасности; б) планирование локальных перемещений РТК с учётом планов других членов группы; в) организация группового перемещения роботов по заданному маршруту с учетом требований ретрансляции и подзарядки; г) моделирование динамических процессов движения группы РТК; д) создание, поддержка и развитие базы знаний для функционирования РТК; е) ситуационный анализ для РТК и групп РТК, методы моделирования и прогнозирования ситуаций; ё) автономное управление РТК выполнением миссии, сценариев с учетом опыта применения РТК однородных типов; к) машинное обучение и самообучение в предметной области РТК.

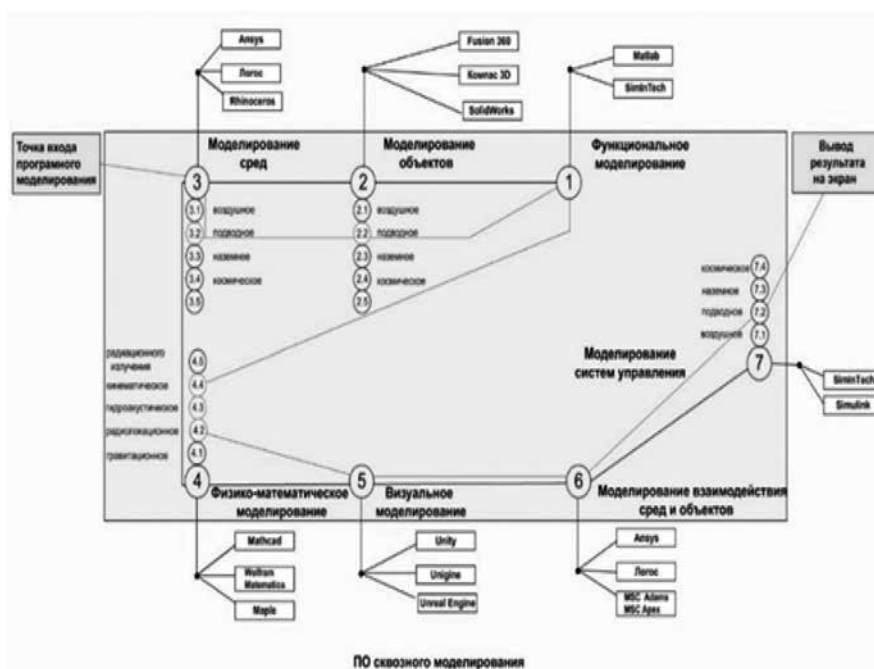


Рис. 1. Семантическая структура архитектуры системы с интегрированным отладочно-моделирующим комплексом

сократить издержки при тестировании, отладке и внесении конструктивных изменений, сместив вектор разработки на этап R&D, а также производить валидацию и верификацию РТК на стадиях создания.

Экспериментальная отработка возможностей создаваемой системы и архитектуры, проводится на разработанном авторами отладочно-имитационном комплексе.

Основной набор экспериментов направлен на подсистему, вложенный алгоритм которой выполняет автоматизацию выбора моделей, через подбор параметров, основанных на зависимостях, указанных в техническом задании Заказчика и среды локализации, посредством множественного запуска, получения знаний, самообучения [11,12]. Верифицируемая структурная схема отладочно-моделирующего комплекса представлена на рисунке 2.

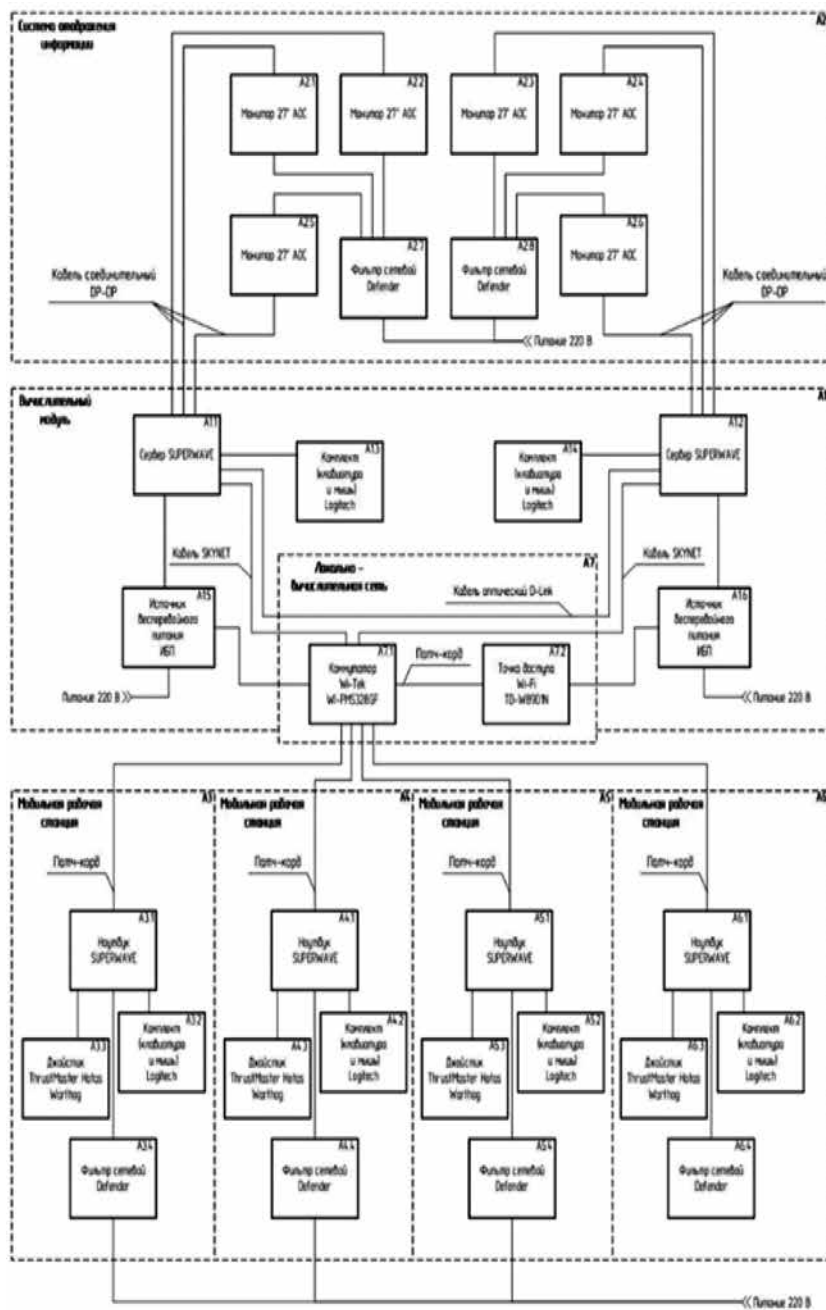


Рис. 2. Структурная схема отлаочно-моделирующего комплекса

В качестве объектов испытаний, тестирования выбраны РТК подводного и воздушного назначения. Для подтверждения рассматриваемых авторами подхода и методов создания представленной системы, проверки способности создания головных алгоритмов, модели поведения РТК и групп РТК с обучением таковых и взаимодействию в группах, экспериментально создан верхнеуровневый слой представленной в данной статье архитектуры — отлаочно-моделирующий комплекс.

Подсистема, например, позволила авторам экспериментально изучить поведения, геометрии дизайна —

рамы воздушного РТК — БПЛА при следующих параметрах: высота полёта 2 км; скорость полёта $V=80$ км/ч; полная аэродинамическая сила $Ra=7.459$ Н в сложных экстремальных условиях в момент выполнения задачи по сопровождению цели. Результаты эксперимента показаны на рисунке 3.

Приведённая демонстрация показывает, как разрабатываемая система, решая задачу посредством вложенного алгоритма — экспертной системы, проверяет в виртуализированной среде реальные физические воздействия на раму БПЛА «Исследователь» (прим.: Па-

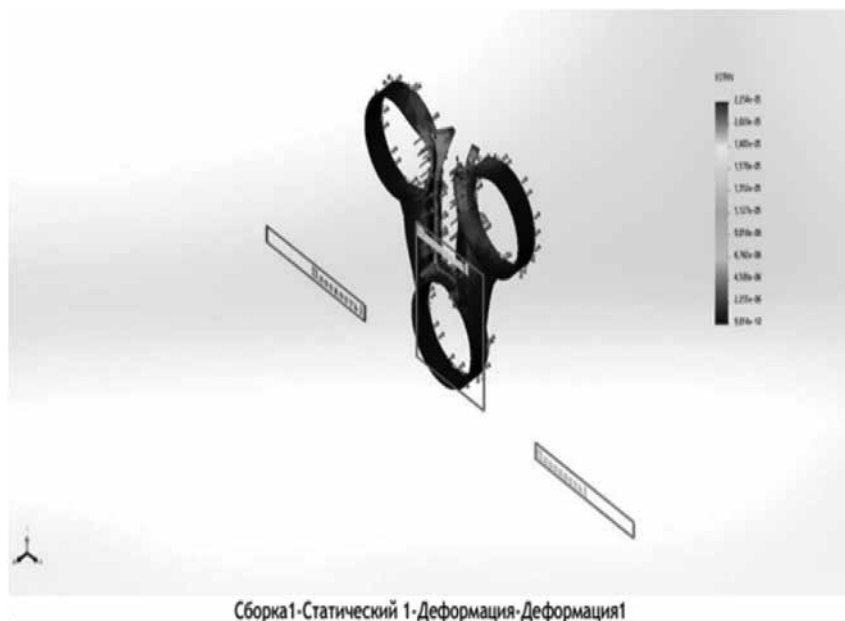


Рис. 3. Проверка возможной деформации рамы воздушного РТК — БПЛА «Исследователь»

тент на промышленный образец №135705). Проверка осуществляется в момент нахождения «Исследователя» в надводном положении при проведении эксперимента. Результат эксперимента показывает, что рама УЗ БПЛА «Исследователь» для эксплуатации в надводных средах, обеспечивая ему наибольшую надёжность, что подтверждается результатами, представленными на рисунке 2.

Отладочно-моделирующий комплекс в данном случае путём комплексирования моделей проверяет сразу устойчивость рамы и взаимодействия РТК «БПЛА» с условиями среды локализации в процессе выполнения задач учитывая, например, ветер и температуру при выполнении задачи [13].

Методы проектирования, позволяющие создавать РТК нового поколения с системой, наделяемой искусственным интеллектом, особенно востребованы в ситуациях, когда РТК самостоятельно решает оперативную задачу по гибкому алгоритму в сложной ситуации с большим набором неструктурированных данных [14].

Результаты эксперимента показывают, что расчеты, проводимые на этапе отладочного моделирования, позволяют вложенной экспертной системе показать инженерам-конструкторам значения коэффициентов загромождения KVT и паразитных сил $k_{\text{пар}}$ для маршевых двигателей АНПА.

Полученные авторами выводы по результатам проведённых экспериментов, позволяют утверждать, что создаваемая архитектура системы, разработанная на методах подхода «Layered cake», позволила добиться хорошо определяемых связей между слоями создаваемой систе-

мы и позволила создать набор технологий, где высокоуровневым слоем становится отладочно-моделирующий комплекс, позволивший испытать работу систем и подсистем, поведения алгоритмов и модулей программного обеспечения разрабатываемых РТК воздушного «Исследователь» и подводного АНПА назначения.

Результаты проведенного исследования показывают, что в настоящий момент времени развитие науки и технологии являются достаточным для возможности создания полноценной копии реального объекта — продукта со смещением вектора в процессе разработки такого на этап R&D. Он будет основан на подходе приоритизаций и комплексирования технологий в t момент времени и методов: системной инженерии; многоуровневой матрицы требований; семействе мультидисциплинарных математических моделей, выраженных в 3D-средах [15, 16].

Анализ полученных результатов подтверждает способность промышленности, в том числе и ключевых научно-исследовательских организаций, к созданию аппаратно-программных платформ и сред, отвечающих как частично, так и полностью концепции представленного в данной статье подхода и методов.

Необходимо отметить, что предприятиям промышленности для достижения создания полного цикла best-in-class и персонализации выпускаемой конвейерной продукции еще требуется доработка промышленных мощностей, смена вектора инженерной мысли, повсеместной интеграции методов системной инженерии, но на данный момент возможность реализации, представленной выше концепции в среднесрочной перспективе возможна.

Основные выводы, полученные по результатам промежуточных исследований, авторы формируют следующим образом:

- **представленная авторами разрабатываемая система на экспериментальном уровне отдельными предприятиями промышленности и научно-исследовательских организаций (например, проект БПЛА «Исследователь», разрабатываемый инженерами 3 управления «Научно-исследовательского института военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации Военной академии материально-технического обеспечения»);**
- **рассматриваемая авторами проектируемая система в коммерческом секторе не реализуется. Инструменты, образующие и позволяющие реализовать рассматриваемую концепцию, такие как САПР, 3D-пакеты, кроссплатформенные среды разработки в реальном времени, PDM и PLM, являются хорошо масштабируемыми, но конечными продуктами, что не позволяет предприятиям коммерческого сектора интегрировать данные инструменты [17, 18];**
- **существующий научно-технический задел, апробированные, прикладные и тиражируемые решения ЦНИИ РТК способны стать основой для разработки, рассматриваемой авторами системы, выраженной в аппаратно-программной платформе, способной реализовать рассматриваемый подход и методы проектирования РТК нового поколения;**
- **разработка ЦНИИ РТК, выраженная в представленной выше аппаратно-программной платформе, способна включить в себя как основу динамического управления такой средой — платформой: master algorithm, что, в свою очередь, позволит заявить о данной платформе как системе с наделяемым искусственным интеллектом. Данная разработка в настоящий момент является перспективной и не имеющей аналогов на территории РФ [21].**

Дополнительными преимуществами рассматриваемую систему наделяет отладочно-моделирующий комплекс, представляя таковой инструментом:

- для заказчиков — при формировании ТТЗ и моделей применения РТК;
- для разработчиков-при проектировании и конструировании РТК;
- при эксплуатации РТК, формировании и моделировании задач.

Непосредственно отладочно-моделирующий комплекс позволит изучать, исследовать и отлаживать

сценарии поведения и технологические операции методами представленными авторами. Не мало важным преимуществом отладочно-моделирующего комплекса является построение в 3D средах физических сред локализаций РТК и проработка влияния на проектируемый РТК внешних сред и других объектов [19].

Авторы отдельно отмечают то, что каждый «слой» из разрабатываемой архитектуры вносит в создаваемую систему как комплекс, набор возможностей, увеличивая многофункциональность системы. «Слой» выраженный отладочно-моделирующим комплексом, позволяет реализовать следующий набор возможностей:

- **формировать научные, проектные, инженерно-технические, эргономические решения для всех стадий создания РТК и последующих этапов жизненного цикла;**
- **на стадиях формирования ТТЗ, авантпроектов, предэскизного и эскизного проектирования проводить функциональное и поведенческое моделирование прототипов РТК и групп РТК для выбора вариантов дальнейшей разработки;**
- **на стадиях технического проектирования развивать выбранный вариант прототипа РТК моделированием его компонентов (сенсоров, исполнительных механизмов и специальных устройств, энергетики, средств передвижения и других компонентов);**
- **произвести построения моделей внешних сред, со статическими и динамическими объектами взаимодействия с РТК, при различных гидро-, аэро- и метеорологических условиях, временах года и времени суток;**
- **проводить функциональное и поведенческое моделирование прототипов РТК совместно с моделями внешних сред и пространств функционирования;**
- **разрабатывать алгоритмическое обеспечение для всех уровней и стадий создания систем управления РТК и групп РТК: алгоритмическое обеспечение общих и частных сценариев миссий; алгоритмическое обеспечение комплексных и простых типовых технологических операций; алгоритмическое обеспечение компонентов РТК;**
- **проводить научно-технические разработки при создании алгоритмического обеспечения РТК для слабоструктурированной предметной области в условиях нечёткой и неполной исходной информации;**
- **проводить научно-технические разработки технологий построения и применения баз знаний для систем управления РТК;**
- **проводить прикладные разработки технологий искусственного интеллекта (представление знаний, распознавания образов, принятия решений на управление) на основе комплекс-**

ного моделирования предметных областей функционирования РТК;

- произвести планирование и оптимизировать производственные процессы на реальных платформах с целью снижения затрат и качественного управления ресурсами;
- использовать разработанные модели и алгоритмы в специализированных тренажёрах и, тем самым, обеспечить качественную подготовку специалистов к выполнению задач по управлению производственными объектами и техническими средствами, в том числе робототехническими;
- исследовать алгоритмы движения, выполнения технологических операций и систем управления робототехнических средств;
- снизить затраты на испытания новой техники за счет системы моделирования виртуального окружения [20].

Проведённые авторами исследования определили основные подходы, методы и методология, разработки архитектуры, создания головного алгоритма и системы, реализующей способ проектирования РТК, отвечающий современному уровню развития экосистемы человека. Формализованы основные задачи и сформирован технический облик архитектуры создаваемой системы. Проведены эксперименты по оптимизации инженерно-технических, эргономических решений РТК подводного и воздушного видов. Результаты экспериментов, подтвердили жизнеспособность выбранных методов и методологии создания системы и проектирования РТК. Анализ полученных результатов подтвердил возможность тестирования, отладки и внесения конструктивных изменений с параллельным процессом валидации и верификации РТК на стадии R&D.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия. Общие положения
2. Поминова В.А., Петушок И.К., Подходы к исследованию методов создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК // ТРУДЫ 33-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА», Санкт-Петербург: Изд-во: ЦНИИ РТК, 2022, С. 416–423. // [Электронный ресурс] — URL: Proceedings_ER-2022.pdf (rtc.ru)
3. Игнатиади Е.К. Петушок И.К. Виртуальный полигон для морских робототехнических средств // доклад / XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления» п. Домбай, Карачаево-Черкесская республика, 2021 — 18 с.
4. Пузырьков Д.В., Подрыга В.О., Поляков С.В. Облачный сервис для масштабных молекулярно-динамических расчетов: от идеи до реализации // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18–23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2017. С. 406–416. URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/58.pdf>
5. Багницкий А.В., Инзарцев А.В., Павин А.М., Мельман С.В., Морозов М.А. Модельное решение задачи автоматической инспекции подводных трубопроводов с помощью гидролокатора бокового обзора // Подводные исследования и робототехника, №1(11), 2011, С. 17–23
6. Бобков В.А., Морозов М.А. Моделирование работы гидролокационных устройств средствами машинной графики // Подводные исследования и робототехника. — 2012. — №1. — С. 46–51.
7. Alexis Asseman, Tomasz Kornuta, and Ahmet Ozcan. Learning beyond simulated physics. In Modeling and Decision-making in the Spatiotemporal Domain Workshop, 2018
8. Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jon Shlens, and Zbigniew Wojna. Rethinking the inception architecture for computer vision. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pages 2818–2826, 2016
9. Zhiting Hu, Xuezhe Ma, Zhengzhong Liu, Eduard H. Hovy, and Eric P. Xing. Harnessing deep neural networks with logic rules. CoRR, abs/1603.06318, 2016
10. Magnus R Hestenes, Eduard Stiefel, et al., «Methods of conjugate gradients for solving linear systems», Journal of research of the National Bureau of Standards, vol. 49, no. 6, pp. 409–436, 1952.
11. Quan Hoang, Tu Dinh Nguyen, Trung Le, and Dinh Phung. MGAN: Training generative adversarial nets with multiple generators. In ICLR, 2018
12. M Ehsan Abbasnejad, Qinfeng Shi, Anton van den Hengel, and Lingqiao Liu. A generative adversarial density estimator. In CVPR, 2019
13. Mathilde Caron, Ishan Misra, Julien Mairal, Priya Goyal, Piotr Bojanowski, and Armand Joulin. Unsupervised learning of visual features by contrasting cluster assignments. In NeurIPS, 2020.
14. Sukhoroslov O., Volkov S., Afanasiev A.A Web-Based Platform for Publication and Distributed Execution of Computing Applications // 14th International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC). IEEE, 2015. pp. 175–184.
15. Sim Streamlined For Design: structural simulation and analysis in the cloud [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sim4design.com/index>
16. Петушок И.К. Модель информационной среды: доклад, печатный в кн. / Тр. XVII Всероссийской науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы защиты и безопасности», — СПб.: РАРАН, НПО «Специальных материалов», 2015.
17. Новиков Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов. Учебное пособие. — М.: Университетская книга, 2010 — 192 с.
18. Моисеев В.С. М Динамика полета и управление беспилотными летательными аппаратами / монография. — Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017 416 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).
19. Исследование путей создания многофункционального модульного реконфигурируемого гиперизбыточного необитаемого подводного аппарата для интеграции в робототехнический комплекс трех сред базирования // Отчет о НИР / ЦНИИ РТК, рук. С.А. Половко. СПб, 2019 .
20. Усачов В.Е., Таргамадзе Р.Ч. Принципы и алгоритмы формирования системы математических моделей целевой миссии беспилотного ЛА. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 49. — URL: <https://mai.ru/upload/iblock/e9d/printsipy-i-algoritmy-formirovaniya-sistemy-matematicheskikh-modeley-tselevoy-missii-bespilotnogo-la.pdf>
21. Отчёт о научно-исследовательской работе «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК», рег. № НИОКТР 122060100021-7.

© Астахов Максим Игоревич (infonaftoo@mail.ru); Петрова Кристина Игоревна (infonaftoo@mail.ru); Калинин Иван Викторович (rehcbd23@yandex.ru); Огурцова Кристина Михайловна (kristina-ogurtsova@mail.ru); Зайцев Александр Андреевич (aleksaneksss@gmail.com); Евстигнеев Николай Николаевич (nikevst88@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»