

КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

М.Ю. Охтилев, П.А. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов (Санкт-Петербург)

Введение. В настоящее время по отношению России со стороны ведущих западных стран наблюдается все более и более усиливающееся санкционное давление в наукоемких отраслях отечественной экономики, к числу которых относится и сфера информационно-аналитических управляющих систем.

Чтобы остаться независимым государством и обеспечить требуемый уровень национальной безопасности Президентом РФ и Правительством РФ были поставлены цель и задачи по разработке и реализации отечественной стратегической инициативы и соответствующих комплексных программ развития отечественных перспективных интеллектуальных информационных технологий и систем для моделирования, прогнозирования и принятия управленческих решений, связанных с повышением эффективности экономики и качества жизни населения, а также укрепления обороноспособности и в целом национальной безопасности.

Для реализации данной цели авторы доклада решали проблемы, связанные с созданием, внедрением и использованием единой отечественной информационно-аналитической платформы (ИАП) проактивного управления жизненным циклом сложных объектов (СЛО) в различных отраслях экономики РФ. Данная ИАП отвечает всем основным требованиям, которые предъявляются к российским информационным системам с точки зрения импортозамещения.

Задачи разработки ИАП. Разработка ИАП потребовала широкомасштабного решения следующих основных задач:

1. Разработка требований, предъявляемых к существующим и перспективным информационным технологиям интеграции и самоорганизации вычислительных и коммуникационных, киберфизических программно-аппаратных комплексов в интересах создания единого интеллектуального информационного пространства для организации проактивного управления ЖЦ СЛО.

2. Разработка общесистемного и специального модельно-алгоритмического, программного и информационного обеспечения проактивного управления ЖЦ на основе применения киберфизических систем (КФС) и интеллектуальных интерфейсов.

3. Разработка и развитие методологических, методических и технологических основ интеграции существующих и перспективных информационно-аналитических систем (ИАС) и КФС в рамках создаваемой платформы на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях.

4. Разработка и развитие методологических, методических и технологических основ системного (комплексного, гибридного) моделирования процессов проактивного управления ЖЦ СЛО на основе междисциплинарных исследований и интеграции новых фундаментальных и прикладных научных результатов, полученных в рамках таких научных направлений как неокибернетика, информатика и общая теория систем;

5. Автоматизации процессов сбора, семантической обработки и представления данных, информации и знаний о многоструктурных макросостояниях СЛО, получаемых от различных и разнородных источников (в том числе, от КФС), в масштабе времени, близком к реальному.

7. Автоматизации процессов информационного обеспечения и интеллектуальной поддержки принятия решений в ходе автоматизированного (автоматического) управления ЖЦ СЛО на основе применения киберфизических систем (КФС) и интеллектуальных интерфейсов.

8. Разработка методологических, методических и технологических основ обеспечения требуемого уровня катастрофоустойчивости (в том числе и информационной безопасности) ИАП к различным классам индифферентных и целенаправленных возмущающих возмущений.

9. Разработка методологических, методических и технологических основ комплексного многокритериального оценивания, анализа и выбора эффективных вариантов динамического структурно-функционального синтеза и управления ИАП.

Концепция разработки ИАП. В основу работ, проводимых авторами доклада, была положена научно-техническая идея, заключающаяся в создании принципиально нового подхода к проектированию и применению ИАП проактивного управления ЖЦ СЛО на основе комплексной разработки и использования, во-первых, киберфизических систем (КФС), обеспечивающих, соответствующие процессы управления с обратной связью постоянно актуализируемой и обрабатываемой информацией, и, во-вторых, интеллектуальных интерфейсов с элементами визуального программирования, позволяющих различным категориям пользователей на профессиональном языке осуществлять адаптивное взаимодействие с платформой в ходе проактивного управления ЖЦ СЛО [6–11]. При этом интеллектуальные интерфейсы обеспечивают тиражируемость извлекаемых у экспертов знаний о состоянии СЛО для последующего внедрения их в аналогичные смежные системы на основе использования новых логико-алгебраических и логико-лингвистических моделей, созданных для описания рассматриваемых изделий и базирующихся на постулатах теории искусственного интеллекта, инженерии знаний, теории управления. Проактивное же управление ЖЦ СЛО позволяет, в отличие от традиционно реализуемого на практике реактивного управления, заранее предотвращать предпосылки (а не последствия) возникновения нештатных (критических) ситуаций за счет целенаправленно сформированной структурно-функциональной избыточности, базирующейся на знаниях, полученных в результате многовариантного упреждающего прогнозирования возможных вариантов функционирования СЛО. Разработанная методология и технологии управления ЖЦ СЛО, принципиально отличаются от создаваемых за рубежом технологий CL2M (Closed Loop Lifecycle Management – управление ЖЦ с обратной связью) тем, что они основываются на концепции проактивного (упреждающего) управления [10–13].

Научная и практическая значимость ИАП. Практическое значение разработанной ИАП состоит в ее унифицированности и многофункциональности, позволивших реализовать на практике широкий спектр ИАС, в том числе, единый виртуальный электронный паспорт изделий ракетно-космической техники, содержащий согласованную и корректную информацию об их состоянии однозначно воспринимаемую пользователями на всех этапах жизненного цикла. Разработанная отечественная ИАС, обеспечивающая формирование и использование электронного паспорта изделий ракетно-космической техники оперирует не только с традиционными документами и файлами, но и с формализованными, постоянно актуализируемыми с помощью соответствующих киберфизических систем, информационными моделями, содержащими данные, информацию и знания об изделиях и однозначно воспринимаемыми всеми участниками их ЖЦ. Более того, на основе проактивного управления ЖЦ СЛО удалось на практике перейти от технологий событийного и плано-предупредительных регламентов и ремонтов к технологиям обслуживания их по фактическому состоянию [14].

Также на базе ИАП удалось разработать и организовать серийное производство уникальных мобильных киберфизических сервисных систем. Одна из главных особенностей данных систем состоит в том, что в них для организации процессов автоматизированного контроля состояния оборудования были реализованы технологии комбинированного использования различных классов интеллектуальных сенсоров и датчиков, имеющих общий интерфейс с бортовым компьютером, который управляет всеми системами, на основе многоуровневой киберфизической модели. Универсальность решения позволяет оснастить мобильную сервисную систему дополнительными системами и датчиками. Реализована возможность установки системы предотвращения столкновения с другими объектами и системы идентификации и контроля перемещения мобильного оборудования, используемого для обслуживания пассажиров на борту судов гражданской авиации. Также к настоящему времени реализованы интеллектуальные интерфейсы для интеграции с производственными системами, в которых эксплуатируются мобильные сервисные системы, интерфейс к системе проактивного обслуживания и системе геопозиционирования.

Научная новизна работы выполненной работы заключается в создании методологии, методического обеспечения и технологии комплексной автоматизации и интеллектуализации проактивного управления ЖЦ СЛО на основе принципиально нового подхода, основанного на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей, методов и алгоритмов и программных средств, обеспечивающих в отличие от существующих подходов, во-первых, в интерактивном (либо автоматическом режиме) интеллектуальную обработку данных, информации и знаний о состоянии рассматриваемых СЛО, разнотипных как по своей физической природе, так и по формам представления, а также при наличии некорректной, неточной измерительной информации об указанных изделиях, и, во-вторых, упреждающее многовариантное прогнозирование и проактивное управление их состояниями на основе информации, поступающей от встроенных в них интеллектуальных информационных датчиков и приборов [2, 3, 10, 11].

Разработанные технологии создания и применения (эксплуатации) ИАП проактивного управления ЖЦ СЛО базируются на фундаментальных и прикладных научных результатах, полученных авторами, в рамках разработанных и развиваемых ими двух теорий: теории проактивного управления структурной динамикой СЛО и теории оценивания и управления качеством моделей и полимодельных комплексов (ПМК). Последняя теория получила название квалиметрии моделей и ПМК [7, 11]. Результаты данной теории позволили осуществить научно обоснованный выбор модельно-алгоритмического обеспечения проактивного управления СЛО на различных этапах их ЖЦ. Конкретно на практике предлагаемая методология и технологии получили внедрение в виде новых классов комбинированных моделей, методов, алгоритмов, методик, позволяющих успешно решать на практике следующие классы прикладных задач: задачи обеспечения разработки и доступа к актуальным и достоверным данным о СЛО на всех стадиях жизненного цикла; задачи обмена электронными документами (конструкторскими, технологическими, эксплуатационными и пр.), а также результатами всех видов испытаний и действий с СЛО на всех этапах их ЖЦ; задачи многокритериального оценивания, анализа и прогнозирования значений показателей качества и эффективности изделий и всех их составных частей; задачи обеспечения информационной совместимости различных автоматизированных систем проактивного управления СЛО на этапах проектирования, производства, эксплуатации. На рис. 1 представлены основные сведения о структуре, научных основах и внедрении созданной ИАП.

Внедрения программ созданных на базе ИАП

ГК РОСАТОМ



- Ленинградская АЭС
- Смоленская АЭС
- Курская АЭС

ГК РОСКОСМОС



- Космодром, Плесецк
- Центр управления полётами, Краснознаменск
- Гвианский космический центр, Куру
- Космодром, Байконур

Промышленность



- Уральский электро-химический комбинат
- Красноярский электро-химический комбинат
- Ангарский электро-химический комбинат



СТРУКТУРА ИАП



23 патента РФ на изобретения
10 свидетельств о регистрации программ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АВТОРСКИЕ ПРАВА



Патент РФ на изобретение № 2676405, от 19.07.2016,
«Способ автоматизированного проектирования производства программного обеспечения и система для его осуществления»

Патент РФ на изобретение № 2656841, от 19.07.2016,
«Способ построения единого информационного пространства и система для его осуществления»

Рис. 1. Обобщенные сведения о созданной ИАП.

Возможности ИАП применительно к судостроительной сфере проиллюстрированы на примере решения задач синтеза производственных технологий и планов судостроительного предприятия. К основным выходным данным, получаемым в результате решения данных задач, относится выбранная оптимальная технология реализации производственного плана, а также сам план и расписание работы оборудования судостроительного предприятия. Проведенный анализ используемых в настоящее время на отечественных судостроительных предприятиях программных средств комплексного моделирования и планирования показал: во-первых, существенную гетерогенность применяемого программного и математического обеспечения, во-вторых, сложность или невозможность организации взаимодействия между программными средствами. Упомянутые выше программные средства комплексного моделирования и планирования представляют собой унаследованные программные системы в виде законченных решений (например, имитационная модель в среде AnyLogic, GPSS), реализующих имитационные модели судостроительного завода, прошедшие валидацию и верификацию. Такие подсистемы целесообразно использовать в составе предлагаемого программно-методического комплекса. Разработка подобных подсистем «с нуля» представляет собой экономически не выгодный процесс как с точки зрения трудозатрат, так и времени выполнения проекта. В связи с этим в рамках ИАП был разработан программный комплекс (ПМК), обеспечивающий беспрепятственный обмен согласованными исходными данными и выходным результатом между готовыми и создаваемыми программными средствами.

В разработанный ПМК включены следующие унаследованные модули: расчета показателей надежности и критичности отказов; многокритериального синтеза производственных технологий и планов судостроительного предприятия, а также оценивания и анализа интегральных показателей выполнимости производственных планов.

Связующее программное обеспечение, осуществляющее централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между

различными информационными системами, реализовано в виде сервисной шины предприятия. Следует еще раз подчеркнуть, что стандартизация моделей взаимодействия веб-сервисов не определяет логику работы программного комплекса. Для этих целей используется язык описания последовательности действий и инфраструктура для его выполнения. В рассматриваемом примере используется реализация сервисной шины OpenESB, в которой имеется встроенный интерпретатор языка WS-BPEL. Вследствие этого выходной файл расчетного модуля, содержащий синтезированную технологию и план ее реализации, записанный в формате BPMN 2.0, конвертируется в исполняемый файл в формате WS-BPEL, который интерпретируется средствами OpenESB, реализуя бизнес-логику, то есть взаимодействие (между различными частями программного комплекса).

Заключение

Разработка и внедрение на практике в различных предметных областях описанной выше ИАП (авиация, ракетостроение и космонавтика, атомная энергетика, транспортно-логистические системы, военная сфера) позволили получить следующие положительные эффекты:

- сокращение на 15-20% времени обработки информации и принятия управленческих решений;
- снижение до 30% стоимости и сроков разработки программного обеспечения информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений.

Также обеспечивается повышение степени соответствия разрабатываемого программного обеспечения (ПО) исходным требованиям и постановке задачи, а также достоверности результатов его функционирования на основе формальных спецификаций; потенциальное снижение стоимости, сроков разработки и сложности масштабирования и модифицирования ПО информационно-аналитической поддержки ЖЦ СлО; технологичность и конструктивность процессов извлечения и представления экспертных знаний на основе использования графических нотаций, использования полимодельного и многоязычного описания, комплекса средств верификации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-19-00767, <https://rscf.ru/project/22-19-00767>).

Литература

1. **Ершова Т.** О цифровой парадигме развития // Информационное общество, 2019, № 4–5. С. 1–2.
2. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Юсупов Р.М., Стыскин М.М., Джао В.Ю-Д.** Концепция и технологии проактивного управления жизненным циклом изделий // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т.: 63. № 2. С. 158–163.
3. **Ронжин А.Л., Соколов Б.В., Джао В.Ю-Д., Миронова Е.Г., Стыскин М.М.** Применение технологии радиочастотной идентификации для построения системы контроля оборота бортового кухонного оборудования // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2020. Вып. 1. С. 3–10.
4. Протокол заседания Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве РФ от 18 марта 2014 г. № ВПК(НТС)-7(259). 21 с.
5. **Бирбаер Р.** Что отразит цифровое зеркало // Умное производство. 2019. №1(45). С. 8–13.
6. **Охтилев М.Ю.** Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. СПб.: ВКУ им. А.Ф. Можайского. 1999.160 с.

7. **Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория и системы управления. 2004. №6. С. 5–16.
8. **Ронжин А.Л., Юсупов Р.М.** Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. № 1 (162). С. 195-206.
9. **Ронжин А.Л., Железны М.** Цифровизация управленческих процессов в научно-образовательных организациях. Управленческое консультирование. 2018. №10(118). С. 109–117.
10. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
11. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.
12. **Кульга К. С.** Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM системы / К.С. Кульга. М.: Машиностроение, 2008. 256 с.
13. **Кульга К. С.** Интегрированная информационно-вычислительная система управления производством в режиме реального времени // Автоматизация и современные технологии. 2006. №4. С. 42–46.
14. **Кульга К. С.** Особенности автоматизации подготовки производства предприятий, работающих в условиях единичного и мелкосерийного производства // Нефтяное хозяйство. 2007. №1. С. 75–78.