

УДК 65.012.2

ОСНОВЫ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ПЛАНОВО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ЦИКЛОМ ОТРАСЛИ В РЕЖИМЕ «ОНЛАЙН»

Шпак В.В.*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, e-mail: mishinevaiv@minprom.gov.ru*

Переход нашей экономики в парадигму «Индустрии 5.0» и в шестой технологический уклад будет намного эффективнее, если управленческие модели реального сектора экономики будут опережать технологические, технические, организационные и прочие процессы. Мультиагентная платформа координации и планово-логистического сопряжения смежных цепочек производителей и потребителей электроники может быть востребована в самом ближайшем будущем, что обуславливает актуальность настоящей статьи. В настоящее время все фундаментальные и поисковые научные исследования в области разработки принципиально новой мультиагентной платформы, которая обеспечит принцип фрактальной «матрёшки» при создании интеллектуальных систем управления ресурсами отрасли в реальном времени, находятся в завершающей стадии. Важнейшие элементы новой системы управления отработаны на частных проектах. Мультиагентная платформа разрабатывается таким образом, чтобы существующие информационные системы предприятий (PDM/PLM, ERP, HRM, CRM и т.д.), используемые для принятия решений в ходе управления ресурсами по проектам, стали органической частью системы в целом, что существенно ускорит адаптацию персонала к новым цифровым технологиям. Имеющиеся практические решения в области применения мультиагентных цифровых технологий наглядно показывают, что они имеют универсальное значение для широкого спектра задач управления многоотраслевыми кластерами разработки и производства сложных изделий в народном хозяйстве России. В ближайшем будущем предстоит построить систему управления отраслью электроники с учётом данных самых передовых в мире отечественных разработок.

Ключевые слова: электроника, радиоэлектроника, управление, мультиагентные технологии

FUNDAMENTALS OF A MULTI-AGENT PLANNING AND LOGISTICS MODEL FOR MANAGING THE REPRODUCTION CYCLE OF THE INDUSTRY IN THE “ONLINE” MODE

Shpak V.V.*National Research University of Electronic Technology, Moscow, e-mail: mishinevaiv@minprom.gov.ru*

The transition of our economy into the “Industry 5.0” paradigm and into the sixth technological order will be much more effective if the management models of the real sector of the economy will outpace technological, technical, organizational and other processes. A multi-agent platform for coordination and planning and logistics coupling of adjacent chains of manufacturers and consumers of electronics may be in demand in the very near future, which determines the relevance of this article. Currently, all fundamental and exploratory scientific research in the field of developing a fundamentally new multi-agent platform that will provide the principle of a fractal “matryoshka” when creating intelligent systems for managing industry resources in real time is in the final stage. The most important elements of the new management system have been worked out on private projects. The multi-agent platform is being developed in such a way that existing enterprise information systems (PDM/PLM, ERP, HRM, CRM, etc.) used for decision-making during project resource management become an organic part of the system as a whole, which will significantly accelerate the adaptation of personnel to new digital technologies. The available practical solutions in the field of application of multi-agent digital technologies clearly show that they are of universal importance for a wide range of tasks of managing multi-industry clusters of development and production of complex products in the national economy of Russia. In the near future, it is necessary to build a management system for the electronics industry, taking into account the data of the most advanced domestic developments in the world.

Keywords: electronics, radio electronics, management, multi-agent technologies

Производительные силы современной экономики стремительно развиваются под мощным воздействием цифровых технологий и на основе качественного совершенствования аппаратных комплексов, способных всё быстрее и быстрее выполнять всё большее количество процедур, расчётов и операций. Эти изменения влияют на человека, общество, государство, трансформируя привычные для нас экономические, социальные, политические модели. В описании происходящих про-

цессов вместо расхожего, но не вполне корректного с научной точки зрения термина «искусственный интеллект» необходимо применять понятие «распределённые интеллектуальные системы для координации и планово-логистической поддержки принятия согласованных, оптимальных решений по управлению ресурсами отрасли (экономики в целом) на основе принципов самоорганизации и эволюции» (далее – мультиагентный подход, технология, платформа).

Имеющиеся практические решения в области применения мультиагентных цифровых технологий наглядно показывают, что они имеют универсальное значение для широкого спектра задач управления многоотраслевыми кластерами разработки и производства сложных изделий в народном хозяйстве России [1]. Прежде всего в электронике, которая априори является технологическим базисом новой «цифровой» экономики. Это принципиально важно для решения задач, поставленных Правительством Российской Федерации в Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Стратегия) [2].

В числе ведущих отечественных разработчиков мультиагентной платформы можно выделить Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», НПК «Разумные решения», Группу компаний «Генезис знаний», разработки которых не уступают мировым достижениям.

В ходе проведенного автором анализа рассмотрены результаты внедрения таких платформ в секторах российской экономики. В Госкорпорации «Роскосмос» мультиагентные технологии обеспечивают надёжный механизм динамического планирования стартов ракет с Байконура и оптимальную комплектацию грузов для нужд международной космической станции в объёмно-номенклатурном разрезе. В транспортных компаниях, включая ОАО «РЖД», подобные решения позволили повысить эффективность грузоперевозок и значительно оптимизировали логистику. Отдельные элементы мультиагентной технологии успешно применяются в ПАО «Корпорация «ИРКУТ» (входит в ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация») для изготовления МС-21 и в ПАО «МАК «Вымпел» (входит в АО «Концерн «ВКО «Алмаз-Антей») для управления ресурсами при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (далее – НИОКТР) по разработке сложных изделий [3], в Госкорпорации «Росатом» – при создании объектов инфраструктуры [4]. В работе [5] рассмотрены вопросы внедрения мультиагентного подхода при управлении процессами и ресурсами в системе полного жизненного цикла вооружения и военной техники, а в работе [6] – в виде модели цифровой платформы для киберфизического управления современным предприятием.

Мультиагентные технологии качественно отличаются от традиционных методов

дискретного согласования интересов и взаимодействия участников различных хозяйственных, экономических и финансовых систем. Мультиагентная платформа управления принимает на себя всю рутинную работу, оставляя специалистам возможность оценки динамически поддерживаемого оптимального варианта исполнения каждого проекта и принятия окончательного решения. Проведенный автором анализ показал, что к числу отличительных свойств мультиагентной технологии, по крайней мере, можно отнести следующие преимущества:

- применение разработанного отечественными учёными математического аппарата и программных средств для управления сложными адаптивными системами, включая такие разделы прикладной математики, как фрактальная математика и математика странных аттракторов, модели и методы коллективного принятия решений в сетевых структурах (здесь и далее рассматривая отрасль электроники в качестве сложной системы, мы исходим из понимания, что сложная система кроме значительного количества разнокачественных структур обладает свойствами синергии, рекурсивности, самосозидания и саморазвития);

- осуществление динамической и непрерывно корректируемой оптимизации имеющихся ограниченных ресурсов (в первую очередь натуральных) для поддержания сложной системы в состоянии «устойчивого равновесия в неравновесной надсистеме» (самосозидание), что принципиально невозможно в парадигме классического ручного управления;

- перевод дискретного подхода к планированию (по этапам, от одного согласованного решения до следующего и т.п.) в форматы динамической оптимизации в режиме реального времени на основе принципов самоорганизации и эволюции как самой системы, так и системы управления, накапливающей опыт (рекурсивность);

- разработка, внедрение и отладка в практике управления новой архитектуры и модели сетцентрической системы (систем систем), начиная с макроуровня, включая мезоуровень и переходя на микроуровень (фрактальная математика);

- соединение фундаментальных исследований открытых отечественными учёными феноменов теории сложности и систем, которые позволяют сформировать подходы к управлению качеством и эффективностью координационно-логистического сопряжения целей, задач и ресурсов, с прикладным порядком формирования адекватного аппаратно-программного комплекса управления, не имеющего аналогов в мире [7].

В настоящее время все фундаментальные и поисковые научные исследования в области разработки принципиально новой мультиагентной платформы, которая обеспечит принцип фрактальной «матрёшки» при создании интеллектуальных систем управления ресурсами отрасли в реальном времени, находятся в завершающей стадии. Важнейшие элементы новой системы управления отработаны на частных проектах [3]. В ближайшем будущем предстоит построить систему управления отраслью электроники с учётом данных самых передовых в мире отечественных разработок [8].

Самостоятельные интеллектуальные системы управления ресурсами в НИОКТР смогут согласовывать с производителями и оптимизировать решения задач эффективного применения отечественных разработок в производстве товаров, предоставлении услуг и выполнении работ для конечных потребителей. Огромный объём промежуточных рутинных операций по оптимизации будет выполняться автоматизированными «интеллектуальными» агентами на базе мультиагентной платформы без непосредственного участия людей. Это громадный шаг вперёд по сравнению с предыдущей грандиозной отечественной разработкой [9], который позволяет на новом уровне эффективно решать задачи государственного планирования и управления.

Целью данной работы является исследование возможностей мультиагентных технологий для планирования и управления отраслевым воспроизводственным циклом электронной промышленности.

Материалы и методы исследования

Целостное семейство «агентов», действующих в рамках единой мультиагентной платформы, будет реализовывать принцип «матрёшки» в управлении. Внедрение такой платформы в режиме онлайн и запуск программы её самообучения позволит обеспечить адаптивное оптимизированное распределение народнохозяйственных и отраслевых ресурсов в натуральном виде и в реальном масштабе времени. Особая актуальность мультиагентной технологии наблюдается в электронной промышленности, которая носит межотраслевой характер (продукция применяется в том числе в авиа-, судостроении и автостроении) и характеризуется широкой номенклатурой продукции (сотни тысяч изделий), разрабатываемой и выпускаемой тысячами организаций. Важным аспектом является сокращение сроков разработки и вывода продукции на рынок. Критерии эффективности и оптимизации, заложенные в Стратегию, будут достигать-

ся благодаря соединению принципа «планирования снизу» и динамической обратной связи с конечными заказчиками. Мультиагентные технологии позволяют не только сопрячь в натуральном виде цепочки взаимодействия (отраслевого цикла) предприятий от НИОКТР до выпуска конечной продукции, но и согласовывать справедливые интересы всех участников производственных цепочек на принципах солидарной экономики. Компенсация затрат и доходов в обмен на взаимные уступки в целях оптимизации конечного результата будет распределяться из формирующейся общей прибыли по каждому проекту в целом. Это позволит от конкуренции за прибыль вертикально сопряжённых соисполнителей перейти к взаимовыгодной и прозрачной в финансовом отношении кооперации всех предприятий и организаций производственных цепочек, ориентированных на удовлетворение платёжеспособного спроса потребителей на высококонкурентном рынке.

Автором исследован предыдущий негативный опыт дезинтеграции предприятий отрасли электроники, который подтверждает необходимость прохождения инновационных импульсов по всей цепочке от НИОКТР до конечных потребительских изделий, а запросов платёжеспособного спроса в обратном направлении, что связано с быстрым технологическим прогрессом в сфере электроники. Поэтому мультиагентная платформа и цифровая экосистема должны быть интегрированы с этапами НИОКТР [10], с системами автоматизированного проектирования (САПР) и с технологией BigData для мониторинга и анализа рыночных приоритетов, а также открыта для подключения любых других сервисов и участников.

Данный подход будет отвечать принципам формирующейся «Индустрии 5.0» – в фокусе которой, в отличие от «Индустрии 4.0», решающей задачу автоматизации производств и интеграции АСУ ТП с информационно-аналитическими и учётными системами, лежит цифровизация знаний и создание «колоний» мультиагентных систем, способных в рамках цифровых экосистем моделировать процессы выработки и принятия решений по управлению ресурсами в реальном времени, а также взаимодействовать как между собой, так и с пользователями, для согласования решений.

За ускоряющимися темпами изменения в электронной отрасли может успеть лишь современная система управления, методологически основанная на адхократии, предпринимательстве во всех его аспектах и самоорганизации акторов. (Термин «адхо-

кратия» в 1968 г. введён в научный оборот американским психологом Уорреном Бэннисом и стал широко известен благодаря Элвину Тоффлеру). Адхократия формализует стиль взаимодействия руководителей и подчинённых, общества и экономики с одновременным динамическим ростом степени свободы в полномочиях и действиях «заказчиков» и «исполнителей».

Мезоуровень управления [11], к которому можно отнести отрасль, должен быть нацелен на выявление и поддержку технологических, организационных, коммерческих и прочих лидеров. Практика ведущих мировых корпораций в сфере электроники демонстрирует активный переход от установленных иерархий к внутренним сетевым отношениям, сочетающим здоровую конкуренцию идей и взаимовыгодную кооперацию производства. Польза от централизации ряда общих функций в современных крупных структурах многократно усиливается благодаря развитию распределённых структур и сетевых взаимодействий на всех этапах от стартапа до участия в рыночной конкуренции.

Сетецентрическая платформа, интеллектуальная мультиагентная платформа и экосистема «Умная отрасль» (Smart Industry) могут быть созданы и продолжают непрерывно совершенствоваться благодаря модульному построению. Это создаст как долговременную возможность замены старых модулей на более совершенные, так и перспективу подключения новых модулей, которые будут востребованы в будущем. Для такой модификации системы не потребуется остановка её работы. Так, в составе органической структуры мультиагентной платформы «Умная отрасль» будут функционировать все соисполнители Стратегии. Автор считает, что особое внимание должно быть уделено основным «совокупным производителям» электроники. По отношению к отрасли в целом внутренние «матрёшки», фрактально сопряжённые с другими управленческими уровнями, будут развиваться по скоординированной программе создания вложенной цифровой системы.

«Интеллектуальное предприятие» (Smart Enterprise). Сюда следует отнести все задействованные в исполнении Стратегии научно-исследовательские и образовательные организации, центры коллективного проектирования, дизайн-центры, консорциумы, центры технологических компетенций, предприятия отрасли. Это позволит уйти в управлении отраслью от увязки соисполнителей и заказчиков через дискретные согласования, планирование и трудные пересогласования, в случае появления ка-

ких-либо возмущающих факторов. Все технологические направления, определённые в Стратегии, через мультиагентную технологию превратятся в единый и целостный организм, работающий на общие конечные цели, как исправный часовой механизм.

На рисунке иллюстративно представлена матрица, показывающая применение продукции технологических направлений в продуктовых сегментах электронной промышленности.

Любые вынужденные корректировки взаимных усилий и распределения ресурсов благодаря данной системе управления будут вноситься в научно-технологические и производственно-технические планы исполнителей в режиме реального времени возникновения возмущающих изменений. Это позволит существенно повысить финальную эффективность использования выделяемых бюджетных средств и соответственно повысить доходность привлекаемых частных инвестиций. Рост совокупной эффективности воспроизводства в целом и прозрачности всех этапов производства и реализации конечной продукции станет надёжным фундаментом для развития и расширения сферы государственно-частного партнёрства в отрасли не только на финишных этапах производства, но и на стартовых затратах на НИОКР, что является на сегодняшний день наиболее узким местом.

Для мультиагентной платформы в такой конфигурации, объединённой с базой данных (BigData), на сегодняшний день не существует ограничений по многопараметрическим характеристикам обрабатываемой информации, включая высокую сложность состава компонент и изделий, взаимобусловленность работ по всей технологической цепочке от исходных материалов и профессиональных навыков физических лиц до конечных изделий. Особенности технологических процессов, а также наличие требуемых материалов и ресурсов (материальных, финансовых, кадровых и других) не просто в абстрактном представлении, а в строго скоординированном объёме, месте и времени без отклонений, также не является ограничением применения мультиагентной платформы. Постоянный аппаратно-программный мониторинг и контроль хода выполнения всех без исключения работ и логистических схем в реальном масштабе времени позволит на порядок сократить время специалистов-исполнителей на оптимизацию рутинных проблем и обстоятельств, которые мультиагентная платформа постепенно «научится» решать оптимально и самостоятельно.

		продуктовые сегменты											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Вычислительная техника	ТКО и средства связи	Медицинская техника	Авто-электроника	Системы безопасности	Лазерная техника	Телематика	Цифровая энергетика и АСУ ТП	Обор. для ЖКХ и строи-тельства	Свето-техническая продукция	Цифровая маркировка	Оборона и безопасность
технологические направления	1 СВЧ-электроника	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2 Микро-электроника	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3 Электро-техника	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4 Оптика и фотоника	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5 Радио-фотоника	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	6 Пассивная ЗКБ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7 Радиационно-стойкая ЗКБ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	8 САПР	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	9 Оборудование (ТО, КЮ, ИО)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	10 Материалы для электроники	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	11 Кадровое обеспечение	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Сервисы / услуги		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Конечное оборудование		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MO		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Пример матрицы применения технологии в продуктовых сегментах (Источник: разработано автором)

Человеческий фактор в системе при этом останется решающим при возникновении принципиально новых вызовов, непредвиденных событий и проблем, что потребует, с одной стороны, существенного сокращения круга проблем, решаемых в ручном режиме, до 20–30% от современной загруженности персонала, но, с другой стороны, потребует существенного повышения квалификации лиц, принимающих решения в сложных ситуациях.

Целью разработки мультиагентной платформы и цифровой экосистемы «Умная отрасль» является выполнение цели и целевых значений показателей реализации Стратегии в полном объёме, при соблюдении установленных сроков, а также создание организационно-управленческого задела как для выведения отечественной электроники на ведущие позиции в мире, так и для формирования наглядного и эффективного образца отраслевой логистической координации участников жизненного цикла «НИОКТР – производство – потребление – утилизация». Экологический блок в мультиагентной платформе будет представлять собой общественно значимый механизм государственного подхода к проблемам сохранения и улучшения среды обитания людей.

Мультиагентная платформа и цифровая экосистема управления отраслью в условиях взаимодействия предприятий различных форм собственности и совершенствования рыночно-ориентированных отношений в стране должны превратиться в динамическую систему проведения конкурсов проектов как для бюджетных потребителей электроники в самом общем понимании, так и для коммерческих структур, а также для подбора и аттестации кадров, их обучения на основе индивидуальных траекторий-карьерограмм, наставничества, передачи опыта.

Задачи, сформулированные в Стратегии, могут быть выполнены исключительно людьми, обладающими требуемой квалификацией, знаниями и практическими навыками. Поэтому подготовка высококвалифицированных кадров разработчиков, производителей и эксплуатационников электроники в самом широком понимании этого слова, а также программно-аппаратных комплексов, в том числе и на основе баз знаний и мультиагентных технологий, является исходной задачей для страны. Стоит отметить, что указанная тематика положена в основу созданного в Самаре крупного Научно-образовательного центра (НОЦ) мирового уровня «Инженерия будущего», в котором в рамках Межотраслевого комитета по ис-

кусственному интеллекту эта тематика представлена в «дорожной карте» проектов на 2021–2023 гг. Отметим, что НОЦы создаются Правительством Российской Федерации [12] с целью масштабного реформирования науки в регионах и горизонтальной концентрации индустриальных партнёров, университетов и институтов РАН, а также технологических компаний на наиболее прорывных направлениях.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенное исследование выявило, что в ходе практической реализации конкретных задач перевода управления отраслью на эту новейшую технологическую платформу должны быть продолжены работы в сфере, пока не имеющей мировых аналогов, включая:

- создание онтологии и базы знаний предметной области, позволяющей формализовать знания для мультиагентных систем и стандартизовать протоколы их взаимодействия на отраслевом уровне с прицелом на электронику, радиоэлектронику и производство средств связи;

- создание принципиально новой распределённой интеллектуальной системы управления ресурсами отрасли (людские, материальные, интеллектуальные, финансовые) в режиме онлайн на основе технологии блокчейн;

- «интеллектуальную» поддержку в рамках мультиагентной платформы процессов согласованного принятия решений по всей цепочке разработки и производства изделий электронных компонент и конечной продукции электроники с учётом всей специфики отрасли и её подотраслей в интересах реализации целей Стратегии;

- снижение трудоёмкости стратегического и оперативного планирования распределения ресурсов за счёт переложения рутинных оптимизационных, логистических и координационных операций на мультиагентную платформу, которая будет выполнять свою роль круглосуточно, без перерывов и остановок, и готовить проекты окончательных решений для руководителей отрасли и её важнейших акторов;

- создание беспрецедентного эффективного механизма мониторинга, контроля и координации проектов на всех стадиях их исполнения в рекурсивном варианте корректировок, что обеспечит прозрачность всей системы;

- повышение эффективности использования ресурсов, в первую очередь в разрезе расшивки наиболее дефицитных позиций и узких мест;

– сокращение сроков и себестоимости разработки как электронных компонент, так и конечных изделий по нормативам, задаваемым мировыми конкурентами;

– минимизация рисков проектов создания принципиально новых изделий за счёт непрерывной рекурсивной оптимизации и координации деятельности всех агентов, работающих на единую конечную цель;

– создание новых технологий управления предприятиями, ориентированных на раскрытие творческого потенциала сотрудников, полноценное использование знаний и умений людей, их воли и энергии для повышения продуктивности предприятий и роста производительности труда.

В этих целях разрабатываемые системы для всех структур «матрёшки» будут взаимодействовать и вырабатывать варианты планов и других решений, разрешать конфликты, согласовывать решения с людьми и добиваться их исполнения, несмотря на различного рода возмущающие события.

Мультиагентная технология, активно разрабатываемая в нашей стране, обеспечит оптимальное решение сложных задач распределения, планирования и эффективного использования имеющихся ограниченных (в том числе и из-за санкций) ресурсов в реальном масштабе времени на основе фундаментальных принципов самоорганизации и эволюции, присущих живым системам, которые достаточно хорошо формализованы благодаря математическому аппарату и кибернетическому подходу к процессам воспроизводства на основе эффективных обратных связей.

Автономные программные агенты, включаемые в сферу функционирования мультиагентной платформы, будут действовать от «лица» отраслевых, функциональных и территориальных проектов, задач, работ, организаций, исполнителей, изделий, комплекствующих и материалов. Двадцать четыре часа в сутки семь дней в неделю они будут динамически согласовывать взаимовыгодные решения и формировать адаптивные сети операций, многоуровневых планов по интегральному критерию максимизации конечной народнохозяйственной эффективности [13]. Это позволит без ущерба для качества и сроков выполнения работ и производства продукции перестраивать текущие производственно-технологические планы, в том числе и при возникновении непредвиденных событий.

В отличие от известных пакетных систем управления производством и технологиями, таких как Microsoft Project, Alt Invest, Project Expert, Prima Vera и ряда других, мультиагентная платформа должна создать

условия для сквозного гибкого и адаптивного планирования работ и производства в едином пространстве отраслевых ресурсов и практически моментально давать стоимостную оценку любых решений вышестоящих органов, в том числе задержку сроков и уменьшение объёмов финансирования проектов (например, в формате секвестра), «недопоставку» образовательным модулем кадров требуемой квалификации.

Мультиагентная технология опирается на принципы формализованного представления знаний (онтологий) об объекте и субъектах управления. С этой целью агенты, включаемые в мультиагентную платформу, будут наделяться несколькими параметрами, которые в самом общем виде можно свести к четырём группам: актёрам, коллекциям актёров, иерархии актёров и формализованным атрибутам актёров. Такая формализация на основе онтологий позволит в унифицированном виде специфицировать требования к поставленным в Стратегию задачам и выделенным для их достижения ресурсам. Применение данной технологии позволяет отделить знания предметной области от программного кода системы и дать возможность пользователям пополнять эти знания или более точно настраивать систему на конкретный проект.

В отличие от существующих сейчас классических систем, состоящих из внутренних модулей, разрабатываемая цифровая интеллектуальная система «Умная отрасль» будет функционировать как сетцентрическая система (network-centric). Автономные участники мультиагентной системы посредством сервис-ориентированной архитектуры SOA (Service-Oriented Architecture) будут взаимодействовать через общую для предприятий отрасли шину BSB (Brunch Service Bus). «Переговоры» актёров благодаря такой «системе систем» будут представлять не перетягивание на себя одеяла локальной выгоды, а форму итерационной оптимизации затрат и результатов как каждого актёра, так и всей отрасли в целом.

Имеющиеся в настоящее время опубликованные наработки и практика применения аналогичных систем управления демонстрируют их преимущество над применяемыми сейчас хозяйствующими субъектами гиперсложных дискретно-монолитных систем управления [10, 13]. Будущая сетцентрическая адаптивная платформа p2p (от англ. peer-to-peer network) позволит актёрам взаимодействовать «каждый с каждым» как по горизонтали – «равный с равным», так и по вертикали – с учётом адаптивных отношений иерархической подчинённости.

С будущей мультиагентной платформой будет сопрягаться кластер уже существующих и апробированных программных решений.

«Умные проекты» («Smart Projects») представляет собой автономную интеллектуальную систему управления сложными проектами. «Умные предприятия» («Smart Factories») обеспечивает технологию производства, а также логистическую оптимизацию поставки комплектующих и реализации продукции. «Умный транспорт» («Smart Trucks») – развивающаяся система управления логистическим сопряжением поставщиков и потребителей как продукции производственно-технического, так и потребительского назначения. «Умные поставки» («Smart Supply Chains») – система, которая обеспечивает координацию в пространстве и во времени цепочек поставок как материальных компонент, так и научно-технических разработок. «Умное управление» («Smart Maintenance») закрывает любые вопросы контроля как за плановыми ремонтами и переналадками оборудования, так и решение проблем восстановления дееспособности структур в случае возникновения аварийных ситуаций. «Умные финансы» («Smart Finance») является наиболее прозрачной и эффективной системой финансового планирования и сопровождения любых видов работ, поставок. Данные и некоторые другие специализированные системы сейчас объединены в взаимосопряжённую линейку программных решений, имеющую обобщающее наименование «Умные решения» («Smart Solutions»). Этот научно-практический задел вселяет уверенность, что реализация целей Стратегии, в случае перевода управления на мультиагентную платформу, будет надёжно гарантирована.

Сетецентрическая адаптивная платформа при достижении высокого уровня информационной безопасности обеспечивает открытость, гибкость, высокую производительность, масштабируемость, надёжность и живучесть создаваемой системы [8].

Переход к реальному масштабу времени в управлении отраслевыми ресурсами позволит вести непрерывную оптимизацию и корректировку хода исполнения Стратегии. Это обеспечит максимизацию не расчётной, а фактической эффективности, что представляется одним из важнейших результатов работы органов государственного управления в целом и отрасли электроника в частности.

Формализация до 80% рутинных операций, которые быстрее и эффективнее смо-

жет выполнять разрабатываемая система, включая оценку:

- эффективности использования ресурсов в каждом из осуществляемых проектов;
- временных параметров выполнения как отдельных этапов работ, так и всех проектов в целом;
- возможных простоев, возникновения узких мест и дефицита ресурсов в упреждающем, а не в авральном порядке;
- степени прозрачности и своевременности реакции лиц, принимающих решения, что повысит согласованность и слаженность работ по всей цепочке от НИОКР до выпуска готовых изделий;
- опасностей и последствий непредвиденных событий в реальном масштабе времени;
- позитивного или негативного влияния человеческого фактора, включая ошибки, сговор.

Мультиагентная платформа разрабатывается таким образом, чтобы существующие информационные системы предприятий (PDM/PLM, ERP, HRM, CRM и т.д.), используемые для принятия решений в ходе управления ресурсами по проектам, стали органической частью системы в целом, что существенно ускорит адаптацию персонала к новым цифровым технологиям.

Как достижения современной науки, так и результаты, получаемые на практике, свидетельствуют, что, начиная с некоторого уже достижимого уровня сложности системы производственно-хозяйственных связей и связанной с этим ускоряющейся динамикой процессов принятия решений, возможности традиционных централизованных иерархических моделей управления не позволяют отвечать возникающим вызовам [10]. Даже если руководители высшего и среднего звена в полной мере своими компетенциями отвечают сложности управляемых процессов, то фактические результаты оказываются существенно ниже ожиданий и планов. В первую очередь это отражается на гибкости и эффективности структур. Они не поспевают за новыми инновационными идеями, продуктами и технологиями. Персонал, занятый исполнением проектов, аккумулирует не только совокупность исполнительных функций, но объективно начинает «перетаскивать» на себя всё новые функции управления и даже принятия решений. Этот процесс подтверждает закон Эшби об относительной сложности управляемой и руководящей подсистем. Возникают внутренние напряжения, которые не только вносят дезорганизацию в работу структуры, но и радикально снижают её конкурентоспособность во внешней среде.

В такой деликатной сфере, как электроника, конечный результат зависит не только от материально-вещественного и финансового обеспечения каждого проекта, но и от социальной самоорганизации специалистов в группы интеллектуального прорыва, и от организационной меритократии, которая должна обеспечивать лучшими условиями для работы лучших по знаниям специалистов, невзирая на их положение в иерархии традиционной системы управления. Не руководители по должности, а креативные специалисты становятся центрами кристаллизации – фокусами фрактально организованных адхократических структур. Если система управления признаёт их лидерами, готовыми к принятию решений, которые определяют «башню успеха», куда следует взбираться по лестнице всей организации, то конечный результат становится интегральным следствием их взаимодействия с управленцами, которые отвечают за эффективность и скорость движения по «лестнице успеха». Мультиагентная платформа под этим углом зрения превращается в «эскалатор», который позволяет достигать общего успеха намного быстрее [1].

Имеющиеся у практиков госуправления, учёных и специалистов в российских научных центрах и в ИТ-компаниях знания и практические наработки позволяют в кратчайшие сроки выполнить важнейшие задачи:

1. Формализовать Генеральную схему развития электронной промышленности до 2030 г. на основе разрабатываемой методологии управления [14].

2. Сформировать и постоянно развивать базу знаний на основе онтологии предметной области продукции электронной промышленности для формализованной онтологической спецификации проектируемых комплекствующих и изделий, применяемых процессов проектирования и изготовления, механизмов и процессов расширения и углубления компетенций персонала, а также рационального использования ресурсов, включая результаты интеллектуальной деятельности.

3. Создать, отладить и ввести в эксплуатацию цифровую платформу управления ресурсами отрасли «Умная электроника» в целях достижения оптимального воспроизводства на длительном отрезке времени без ущерба для природы и интересов будущих поколений.

4. Создать и динамически совершенствовать отраслевые и государственные стандарты, онтологически формализованные бизнес-процессы, а также процедуры

и протоколы взаимодействия акторов в рамках глобальной отраслевой мультиагентной платформы «Умная электроника».

5. На основе созданной цифровой платформы, базы знаний и стандартов разработать систему умных сервисов по всей цепочке от исследований и разработок до инжиниринга и производства готовых изделий. Развитие платформы «Умная электроника» должно предусматривать подключение на рассмотренных принципах предприятий, не входящих в отрасль «Электроника», субконтракторов и всех цепочек кооперации для получения нового качества в специализации и разделении производства в экономике в целом.

6. Развитие программно-аппаратного комплекса для дополнения краткосрочного и среднесрочного планирования развития отрасли прогностическими моделями стратегического планирования.

7. Создать теоретическую возможность и практические порталы для безопасного и взаимовыгодного подключения к разрабатываемой системе иностранных участников, в первую очередь из стран СНГ, ШОС и БРИКС.

8. Актуализация Стратегии на основе данных обратной связи.

Заключение

Работа учёных и специалистов отрасли «Электроника» в условиях широкого внедрения в экономику цифровых технологий должна соответствовать закону Эшби. Это значит, что общегосударственная руководящая подсистема отрасли должна обладать запасом сложности по сравнению со сложностью управляемых акторов и процессов. Создание мультиагентной платформы для целей успешной реализации целей и задач, поставленных руководством страны в Стратегии, гарантированно обеспечит реализацию этого непреложного закона управления в отрасли, а следовательно, и выполнение как стратегических, так и тактических планов. Безусловным преимуществом такого подхода к управлению на мезоуровне является использование исключительно отечественных научных разработок, практически отлаженных в смежных наукоёмких отраслях экономики.

Список литературы

1. Виттих В.А. Введение в теорию intersубъективного управления. Самара: СНЦ РАН, 2013. 64 с.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 г. № 20-р [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/73440483/> (дата обращения: 12.12.2021).
3. Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самар-

ской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 12. С. 33–46.

4. Власова И.М. Презентация доклада «Управление жизненным циклом сложных капитальных объектов на основе технологии Multi-D». Группа компаний AsE. Инжиниринговый дивизион государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ», Москва [Электронный ресурс]. URL: http://www.imodel-russia.com/upload/MR2018_dokladi/MR2018_VIM_AsE_Vlasova.pdf. (дата обращения: 05.03.2022).

5. Ларюхин В.Б., Овчинников С.А., Скобелев П.О., Шпилевой В.Ф. Управление процессами и ресурсами в системе полного жизненного цикла вооружения и военной техники на основе цифровой экосистемы адаптивного менеджмента // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10. № 3. С. 1259–1274.

6. Городецкий В.И., Ларюхин В.Б., Скобелев П.О. Концептуальная модель цифровой платформы для кибер-физического управления современным предприятием. Часть 1. Цифровая платформа и цифровая экосистема // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. № 6. С. 323–332.

7. Рогова Е.М., Ткаченко Е.А., Тихонова М.В., Балашов А.И. Управление проектами. Учебник и практикум. М.: Юрайт, 2020. 383 с.

8. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными структурами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. М.: Либроком, 2009. 264 с.

9. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. М.: Статистика, 1975, 160 с.

10. Клейменова Е.М., Скобелев П.О., Ларюхин В.Б., Майоров И.В., Симонова Е.В., Феоктистов А.Л., Полончук Е.В. Метод оценки рисков в мультиагентной системе управления проектами НИР и ОКР в реальном времени // Информационно-управляющие системы. 2013. № 2 (63). С. 29–37.

11. Мезоэкономика: состояние и перспективы. Коллективная монография / Под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера. М.: Институт экономики Российской академии наук, 2018. 314 с.

12. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 июля 2019 года № 945 «О Совете научно-образовательных центров мирового уровня» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/72323444/> (дата обращения: 22.12.2021).

13. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». 2013. № 1. С. 1–32.

14. Шпак В.В., Брыкин А.В. К вопросу о формировании организационно-управленческой модели развития радиоэлектронной промышленности России // Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. (РИСК). 2020. № 3. С. 108–115.