

DOI:
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ НА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Степановская И.А., Цвиркун А.Д.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

irstepan@ipu.ru

Аннотация: Цель данной статьи состоит в исследовании процессов стратегического развития цифровой экономики, функционирующей по принципам социо-киберфизической самоорганизации, основанной на технологиях беспроводных сетей новых поколений 5G и выше. В работе предложена концепция проектирования крупномасштабных цифровых экономических объектов, конфигурируемых между собой в систему коммерческих услуг по комфортному жизнеобеспечению населения. Концепция направлена на формирование саморазвивающейся цифровой макроэкономики с рефлексивной структурой цепочек добавленной стоимости с обратными связями.

Ключевые слова: социо-киберфизические системы, гибридный интеллект, многоагентные гетерогенные сети, рабочее пространство цифровой экономики.

Введение

На современном этапе глобализации и цифровизации актуальным направлением теории управления развитием крупномасштабных систем отраслевого и регионального и транснационального уровня становится их интеллектуализация, обеспечивающая переход на перспективные принципы самоорганизации в штатных и нештатных ситуациях. Разработка проектов интеллектуальных крупномасштабных систем (ИКМС) опирается на нормативные стандарты киберфизических систем [1]. Согласно этим стандартам кибер-физическая система - это интеллектуальная технология самоорганизации инженерных взаимодействующих сетей физических и вычислительных компонентов и связанных с ними систем взаимодействия с человеком. При этом остается большой проблемой анализ экономических эффектов ИКМС. На фоне активной разработки проектов крупномасштабных кибер-физических систем (Умный город, Цифровая железная дорога и др.) все больший интерес исследователей привлекает их бизнес-анализ.

Значительный вклад в развитие идеологической, методологической и инструментальной основы для решения проблем экономической оценки подобных проектов вносят работы [2-6]. На основе обзора европейских проектов умного города и киберфизических систем сделан вывод о том, что они составляют капитал цифровой экономики [2,3]. Отмечают высокую сложность проектирования, производства и эксплуатации целостной междисциплинарной и межотраслевой модели масштаба экономики, авторы работы [4] предлагают использование онтологий *Ontology Space Agent (OSA)* для формализованного описания цифровой экономики. В работах [5,6] делается акцент на глобальное цифровое взаимодействие цифровой экономики с государством и обществом.

Данная работа посвящена исследованию этой перспективной идеи – онтологического описания макроэкономических эффектов проектов крупномасштабных кибер-физических систем. Цель работы состоит в переходе от понятия кибер-физической системы, в большей степени ориентированного на техническую самоорганизацию, к понятию социо-киберфизической системы, которое позволяет высветить проблемы макроэкономических цепочек добавленной стоимости (ЦДС).

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №19-29-06044 «Разработка моделей и алгоритмов для обеспечения безопасного функционирования БТС в транспортной среде “умного города”».

1 Понятие социо-киберфизической самоорганизации

Базовый технологический принцип кибер-физической самоорганизации (КФС, CPS) составляет подключение всех компонент (оборудования, устройств и систем) к Интернету вещей (IoT), формирующее систему глобального неотключаемого мониторинга, сетевых информационных связей между вещами и людьми, следовательно, отношений и согласованных действий. С ростом масштаба КФС и ее функциональной ориентации на поддержку экономически значимых процессов растет требуемый масштаб взаимодействия человек-КФС и формирование команд специалистов разного профиля. На уровне отдельных проектов КФС эта проблема решается за счет привлечения экспертов на

основе социального интернета вещей (SIoT) [7]. Показательным примером может служить социальный интернет транспортных средств (SIoV) [8].

Потребностям более широкого сочетания КФС с SIoT отвечает развитие технологий беспроводного обмена данными. Проекты ИКМС можно расклассифицировать по типам в зависимости от поколения беспроводной связи и соответствующих возможностей взаимодействия между вещами и человеком (рис.1).



Рис. 1. Тренд изменения роста масштаба взаимодействия человек-КФС

Проекты, основанные на технологиях беспроводной сетевой связи первых трех поколений, предполагают участие человека, ограниченное удаленным и внешним наблюдением. На основе сетей поколения 4G [9] разворачиваются проекты трансформации и перевода высокоавтоматизированных комплексов отраслевого и регионального уровня на т.н. человеко-центрированный (human-centered) принцип КФС, нацеленный на изоляцию и защиту безопасности операторов, на их максимально возможное освобождение от рутинной, трудоемкой деятельности, особенно в условиях повышенной опасности. Стремительные технологические прорывы в области беспроводных сетей последних поколений 5G [10-14] и выше знаменуют новый эволюционный этап в цифровизации оперативного и стратегического управления социально-экономическим развитием.

Показательными примерами служат получившие широкое распространение в мировой практике проекты крупномасштабных цифровых экономических объектов (ЦЭО) Индустрия 4.0, Умный город, Беспилотный транспорт, Цифровая железная дорога, Умный морской порт, Умный аэропорт, Цифровое здравоохранение и другие. Указанные ЦЭО функционируют по одной метаонтологической модели социо-киберфизической самоорганизации (СКФС) [15,16]. Отличие СКФС от КФС составляет расширенная кооперация человеческих и кибер-физических технических ресурсов, упор на совместную деятельность операторов кибер-физической техносферы, сотрудников, обслуживающих население, а также клиентов, получающих коммерческие услуги.

Несмотря на то, что указанные проекты ЦЭО разрабатываются и развиваются независимо друг от друга, общность метаонтологии СКФС создает предпосылки и инициирует разработки по методологической и инструментальной поддержке управления проектами развития цифровой экономики.

2 Особенности многоконтурных цепочек добавленной стоимости цифровой макроэкономики роста и развития на онтологической модели СКФС

С позиций бизнес-анализа перечисленные выше проекты ЦЭО практически составляют рыночные сегменты услуг креативной цифровой экономики, нацеленной на предоставление качественно новых услуг для комфортного жизнеобеспечения населения, коммерческую деятельность и создания новых сетевых рабочих мест в цифровой экономике. Их важную особенность представляет также большой потенциал непрерывного инновационного развития по многоконтурным ЦДС. Как минимум можно выделить три типа контуров инноваций: киберфизическая техносфера; сеть предоставления услуг населению; сеть клиентов, получающих услуги.

Дальнейшие разработки проектов креативной инновационной цифровой экономики имеют два направления развития. Во-первых, это расширение и стандартизация типовых проектов ЦЭО. Во-

вторых, это их включение в систему приема и выполнения заказов на взаимные услуги с учетом оперативных и стратегических потребностей роста и развития. Примерами могут служить следующие:

- услуги беспилотного транспорта для умной инфраструктуры (города, аэропорта, морского порта, производственных структур индустрии 4.0);
- услуги цифровой железной дороги, умного аэропорта, умного морского порта, умной логистики для Индустрии 4.0;
- услуги Индустрии 4.0 для создания научно-технического задела согласованного развития умного транспорта, умного города, умного аэропорта, умного морского порта и др.

Тем самым эпоха проектирования сетей 5G и технологий СКФС открыла новую стратегию распределенного геопространственного экономического развития ЦЭО, основанную на разработке и композировании образцов ЦЭО в единую цифровую экономическую систему (ЦЭС). Принципиальное преимущество такого подхода составляет формирование рефлексивных цепочек прироста добавленной стоимости в ЦЭС за счет обратных связей в процессах роста и развития на уровне отдельных ЦЭО.

Новая стратегия роста и развития отвечает современным требованиям бизнес-стратегий макроэкономического лидерства. Это подтверждается ее ориентацией на следующие приоритетные цели развития:

- цифровизация сферы массового спроса с максимальными объемами рынка услуг;
- системный переход от индустриальной экономики к информационной с качественно новыми стандартами жизнеобеспечения;
- переход стратегического планирования развития ЦЭС на уровень разработки политики форсажа креативного макроэкономического роста.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы.

- Концепция СКФС позволяет сформулировать понятие ЦЭС, представляющей собой инновационный мегапроект стратегического макроэкономического роста и развития национальной продуктовой политики цифровых услуг.
- Развитие ЦЭС переводит Индустрию 4.0 на обслуживание заказов ЦЭО в соответствии с потребностями их роста и развития.
- Практическая реализация проектирования ЦЭС ставит проблему архитектурной разработки соответствующего инструментального комплекса макетирования СКФС.

3 Принципы инструментальной поддержки макетирования СКФС

3.1 Концепция мультиагентного сетевого рабочего пространства

Перспективный современный подход к инструментальной поддержке интеллектуальной сетевой многоагентной деятельности представляет концепция цифрового рабочего пространства, ориентированного на проведение мультидисциплинарных исследований в контексте предметных исследований [17, 18]. Цифровое рабочее пространство предоставляет клиентам многоагентной сети доступ не только к данным и приложениям, но и к цифровым рабочим столам и цифровым интеллектуальным офисам. Применительно к процессом СКФС задача сетевого рабочего пространства заключается в инструментальной поддержке разработки, отладки и реализации канонических форматов взаимодействия человеческих и кибер-физических ресурсов, формально представляемых пятеркой многоагентных взаимодействующих сетей $\Omega = \{R, M, S_R, S_N, S_G\}$, где R – сеть стационарной КФС, M – сеть мобильной техники, S_R – социальная сеть сопровождения R и M по этапам ее жизненного цикла, S_N – социальная сеть населения-получателя услуг цифровой экономической системы, S_G – сеть управления развитием цифровой макроэкономики. Цель сетевого рабочего пространства СКФС состоит в поддержке протоколов связи между произвольными подмножествами множества Ω , использующих потенциал социальных сетей по надзору за безопасностью КФ-техносферы, по эффективному выполнению систематизированных функций ее сопровождения, повышению качества услуг населению и стабильному росту цифровой макроэкономики.

Сложность и высокие требования к интеграции ставят проблему стандартизации методов и средств формирования, отработки и тестирования протоколов сетевых и межсетевых информационных взаимодействий в цифровом рабочем пространстве СКФС. Один из подходов к решению этой проблемы – использование канонических онтологий сетевого дискурса, допускающих прикладные контекстно-ориентированные уточнения. Далее рассматриваются примеры практически значимых для СКФС цифровых рабочих пространств: поддержка протоколов взаимодействия «человек-КФС»;

отработка протоколов сетевого информационного взаимодействия в СКФС; поддержка протоколов управления ЦДС.

3.2 Поддержка протоколов взаимодействия «человек-КФС»

Достаточно эффективную онтологию протоколов взаимодействия как внутри, так и между многоагентными сетями составляет упреждающий риск-контроллинг реального времени (ED&RR, Early Data&Rapid Reaction), реализующий полный цикл принятия сетевых решений, включая следующие этапы:

- (1) событийный мониторинг,
- (2) интерпретация его сообщений мониторинга в контексте ситуационного моделирования и прогнозирования критических профилей развития рисков,
- (3) планирование многоцелевой многоагентной коллаборативной деятельности в каноническом стиле упреждающего управления рисками.

Универсальность формата риск-контроллинга в контуре СКФС обеспечивает возможность создания единой системы синтеза приложений для решения разноплановых, но взаимосвязанных задач согласованного регулирования сетей множества Ω , включая следующие:

- оперативное регулирование;
- стратегическое планирование;
- макетирование и цифровые эксперименты и испытания средств обеспечения безопасности и надежности самоорганизации в разных условиях дестабилизирующей обстановки;
- управление передачей и перераспределением прав и ответственности во взаимодействиях «человек-КФС»;
- предлицензионные разработки гибридного интеллекта, включающие макетирование цифровых дублеров человека с нормированной передачей и перераспределением функциональных полномочий, прав и юридической ответственности во взаимодействиях «человек-КФС» в штатных и нештатных ситуациях и др.

3.3 Отработка протоколов сетевого информационного взаимодействия в СКФС

Пользуясь гетерогенной агентной парадигмой представления СКФС, можно строить фонды нормативных протоколов информационного взаимодействия в СКФС. Они позволят стандартизировать и систематизировать протоколы контекстно-ориентированного взаимодействия нескольких агентов в интересах ситуационного моделирования прогнозирования и целеполагания (СМЩ).

Разработчиками фонда являются эксперты, в сферу компетенций которых входит создание директивно-нормативной документации, касающейся организации мультиагентного трансдисциплинарного риск-контроллинга реального времени. Практически модели протоколов межагентного взаимодействия, заносясь в фонд, задают программу гибридной роботизированной интеллектуальной деятельности на основе совмещения и перераспределения ролей между человеческим и искусственным интеллектом. В реальных ситуациях регламенты, заносясь в фонд, могут оказаться не полными, не точными, не доопределенными, возможно, противоречивыми или не комплексными между собой. Дополнительные проблемы создает разработка нормативов на темпо-ритмические характеристики межагентного взаимодействия. В связи с этим сопровождение фонда требует проведения имитационного моделирования для отработки и тестирования алгоритмов взаимодействия в гетерогенных мультиагентных системах, в том числе для оценки темпо-ритмических параметров их реализации.

3.4 Поддержка протоколов многоагентного взаимодействия для управления ЦДС

В интересах управления качеством потребительских услуг целесообразна организация рабочего пространства для сопровождения мегапроекта ЦЭС, ориентированного на управление проектами инновационного развития ЦЭО в долгосрочной перспективе (десятки лет). В условиях динамичной внешней среды инновационная технологическая модернизация ЦЭО требует разработки по принципу DevOps [19]. По определению DevOps — это сочетание разработки (Dev) и эксплуатации (Ops), которое предполагает объединение людей, процессов и технологий, позволяющее координировать свои действия, совместно создавать более качественные и надежные продукты и постоянно предоставлять преимущества клиентам.

В задачах по управлению ЦДС объектом цифровых экспериментов и испытаний в контуре DevOps служит цифровой макет промышленной системы, гибкой адаптирующийся на представление

потенциальных вариантов инновационного развития на научном, технологическом, производственном, транспортном, энергетическом и других видах обеспечения.

Основу такого макета составляет кластер предприятий, настраиваемый на состав, структуру взаимосвязей, параметры политики форсажа макроэкономического стратегического развития. Большой акцент делается на следующие механизмы макроэкономического регулирования:

- политика государственно-частного партнерства;
- налогово-бюджетная политика (доходы и расходы государства);
- денежно-кредитная политика;
- политика регулирования доходов;
- внутренняя и внешняя торгово-экономическая политика.

К числу перспективных инструментальных средств, предоставляемых цифровыми рабочими местами, относятся сервисы формирования производственных заказов, поступающих от ЦЭО, и поиска макета их размещения на кластерном секторе производственной системе Индустрии 4.0.

Заключение

В работе показано, что адекватным понятием, способным представить механизмы современного экономического роста и развития служит концепция СКФС. Она позволяет формализовать отношения между человеческими и кибер-физическими ресурсами на уровне социальных сетей, сопровождающих функционирование, непрерывное инновационное развитие и прикладную ориентацию кибер-физической техносферы на оказание коммерческих услуг по комфортному жизнеобеспечению населения. На этом пути получают обоснование уже используемые на практике новые форматы цифровых рабочих мест и офисов, поддерживающие единое цифровое рабочее пространство для гетерогенных мультиагентных сетей СКФС. С методологической точки зрения наибольший интерес представляет онтологическая инженерия инструментальных средств поддержки управления развитием цифровой макроэкономики, основанной на взаимодействии правительства, промышленности, логистики, инноваций и инновационной мобильности.

Литература

- 1 Framework for Cyber-Physical Systems: Volume 1, Overview, Version 1.0, National Institute of Standards and Technology, NIST SP 1500-201, Project: Cyber-Physical Systems Framework, June 2017.
- 2 Vasily Kupriyanovsky, Sergey Bulancha, Vitaly Kononov, Konstantin Chernykh, Dmitry Namiot, Andrey Dobrynin *Smart Cities as the "capitals" of the Digital Economy* // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4. no.2. 2016. – P.41-52.
- 3 Vasily Kupriyanovsky, Dmitry Namiot, Sergey Sinyagov *Cyber-physical systems as a base for digital economy* //
- 4 International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 2, 2016. – P.18-25.
- 5 Yuri Volokitin, Vasily Kupriyanovsky, Oleg Grinko, Oleg Pokusaev, Sergey Sinyagov *On problems of the digital economy and formalized ontologies* // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.6, 2018. – P.87- 96.
- 6 Kupriyanovsky V.P., Evtushenko S.N., Dunaev O.N., Bubnova G.V., Drozhzhinov V.I., Namiot D.E., Sinyagov S.A. *The government, industry, logistics, innovations, and intellectual mobility in the digital economy* // Modern Information Technology and IT Education. – 2017. – Т.13. №1. - P. 74-96
- 7 Raikov A.N., Ermakov A.N., Merkulov A.A. *Assessments of the Economic Sectors Needs in Digital Technologies* // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2019. Vol. 40, Iss. 11. P. 1837–1847.
- 8 Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito, and Michele Nitti *The Social Internet of Things (SIoT) – When social networks meet the Internet of Things: Concept, architecture and network characterization* // Computer Networks. November 2012. – P.35.
- 9 Zualkernan, F. Aloul, S. A. Qasimi, A. AlShamsi, M. A. Marashda and A. Ahli *DigiMesh-based Social Internet of Vehicles (SIoV) for Driver Safety* // International Symposium in Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI), Shanghai, 2018. – P. 1-5.
- 10 R. S. Rakesh Kumar Singh *4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards* // International Journal of Emerging Research in Management & Technology, 2016.
- 11 Как будут строиться сети 5G в России. Планы государства https://www.cnews.ru/news/top/2019-09-23_kak_budut_stroitsya_seti
- 12 5G Пятое поколение мобильной связи <https://www.tadviser.ru>

- 13 *Rony Kumer Saha, Poompat Saengudomlert, Chaodit Aswakul* Evolution Toward 5G Mobile Networks –
- 14 A Survey on Enabling Technologies. // ENGINEERING JOURNAL Volume 20, Issue 1. January 2016.
- 15 *Gupta and R. K. Jha* A survey of 5G network: architecture and emerging technologies // IEEE. Том. 3. Jul. 2015. – P.1206-1232.
- 16 *Maeder et al.* A Scalable and Flexible Radio Access Network Architecture for Fifth Generation Mobile Networks // IEEE Communications Magazine. vol. 54, no. 11. 2016 – P.16-23.
- 17 *Makuschewitz Thomas, Scholz-Reiter Bernd* Towards Socio-Cyber-Physical Systems in Production Networks // Procedia CIRP. 2013.12/31.– P. 49–54.
- 18 *Volkov Serge* City Services Management Methodology Based on Socio-Cyber-Physical Approach // ICIT 2019. Proceedings of the 2019 7th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City December 2019. – P.373–376.
- 19 *Technological Innovation for Smart Systems: 8th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Advanced Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2017. Costa de Caparica. Portugal. May 3-5. 2017. Proceedings.*
- 20 *Mohsen Attaran, Sharmin Attaran, Diane Kirkland* the Need for Digital Workplace: Increasing Workforce Productivity in the Information Age // IJEIS 15.1. 2019. – P.1-23.
- 21 Что такое DevOps ? Описание DevOps. <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/what-is-devops/>