

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЦИОКИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Б. В. СОКОЛОВ<sup>1</sup>, А. П. КОВАЛЕВ<sup>2</sup>, Н. Г. МУСТАФИН<sup>3</sup>,  
В. В. ЗАХАРОВ<sup>1</sup>, Е. Е. ЩЕРБАКОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
199178, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: valeriov@yandex.ru

<sup>2</sup>КБ „Арсенал“ им. М. В. Фрунзе, 195009, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,  
197376, Санкт-Петербург, Россия

В качестве основного объекта исследований выбраны социок cyberфизические системы, которые представляют собой сложные взаимосвязанные сетевые структуры, включающие в себя наряду с реально существующими физическими объектами соответствующие информационно-управляющие (кибернетические) системы, решающие в автоматическом (автоматизированном) режиме задачи наблюдения и управления указанными объектами, а также социальные (организационные) структуры, которые определяют целевое предназначение указанных систем и являются основными потребителями результатов их деятельности. Предложены методологические основы проактивного управления данными объектами.

**Ключевые слова:** социок cyberфизические системы, комплексное моделирование, проактивное интеллектуальное управление, принципы необходимого разнообразия, неокончателные решения, опережающее разнообразие

**Введение.** Анализ современного состояния фундаментальных и прикладных научных работ в области управления сложными системами показал, что время реакции (и адаптации) теоретических исследований в указанной области на перемены, вызванные научно-техническим прогрессом, слишком велико. Все это требует упреждающих исследований, основанных на прогнозировании возможных проблем в рассматриваемой предметной области и разработке соответствующих методологических и методических основ их решения.

Исследования таких сложных самоорганизующихся систем, как социок cyberфизические (СКФС), целесообразно проводить на основе синтеза обновленных системно-кибернетических концепций и новых подходов к организации информационных процессов [1—3]. Теория сложности, наряду с классической кибернетикой, является первоосновой для исследования такого рода самоорганизующихся систем. Для теории сложности ключевым является понятие системы как холистического образования, обладающего возможностями, не сводящимися к возможностям его составляющих, т.е. обладающего свойством эмерджентности (от англ. *emergence* — возникновение, появление нового). Важным этапом в построении теории управления рассматриваемых СКФС является разработка методологических основ их описания и исследования, о котором речь идет в настоящей статье.

**Методологические основы проактивного управления СКФС.** В основу создаваемой методологии проактивного управления СКФС предлагается положить три фундаментальные системно-кибернетические концепции:

1) *концепция комплексного (системного) моделирования СКФС* предполагает разработку и реализацию новых принципов, подходов к полимодельному логико-динамическому описанию различных вариантов построения и использования СКФС, а также разработку и комбинированное использование методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных проактивных управленческих решений (в том числе и ориентированных на их реконфигурацию), связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов в различных условиях динамически изменяющейся внешней и внутренней обстановки;

2) *концепция проактивного управления структурной динамикой СКФС* в изменяющихся условиях, вызванных воздействием возмущающей среды, предполагает (в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления СКФС) упреждающе предотвращать причины возникновения инцидентов за счет создания (либо целенаправленного поиска) в соответствующей системе проактивного мониторинга и управления новых системно-функциональных резервов, обеспечивающих динамическое формирование принципиально новых возможностей по парированию возможных расчетных и нерасчетных нештатных и аварийных ситуаций, с использованием методологии и технологий системного (комплексного) моделирования, а также многовариантного ситуационно-адаптивного прогнозирования. В работах [4, 5] представлены конструктивные пути реализации данной концепции на основе построения и использования многомерных аппроксимированных областей достижимости логико-динамических моделей, описывающих рассматриваемую предметную область в пространстве системотехнических параметров;

3) *концепция интеллектуализации управления* предусматривает в качестве условий эффективного управления СКФС необходимость применения интеллектуальных инструментов (новых интеллектуальных информационных технологий), носящих ярко выраженный инновационный характер и направленных на комплексную интеграцию естественного и искусственного интеллекта.

Наряду с перечисленными концепциями целесообразно в состав разрабатываемой методологии включить структурно-математический и категорийно-функторный подходы, а также системный подход и его концепции и принципы, включающие в себя: принципы неокончательных решений, поглощения разнообразия, иерархической компенсации, дополнительности, полимодельности и многокритериальности, самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования, гомеостатического баланса взаимодействия; принципы опережающего отражения и разнообразия; преодоление принципа разделения.

Разработка методических основ проактивного управления СКФС потребовала от авторов статьи перехода на принципиально новый (по сравнению с классическими подходами) уровень и технологии организации процессов управления, а именно уровень управления сложностью. Для реализации этой концепции управления предлагаются два направления — снижение разнообразия воздействий внешней среды на СКФС и расширение разнообразия управляющих воздействий на СКФС.

В рамках *первого направления* наиболее перспективны методы, ориентированные на полимодельное описание конкретной предметной области; классификацию и упорядочение моделей, установление взаимосвязей между ними, базирующиеся на поиске рациональных многокритериальных решений (компромиссов) при наличии неустранимых пороговых информационных и временных ограничений, а также методы, основанные на преодолении проблем большой размерности и неопределенности при описании предметной области с использованием декомпозиции (композиции), агрегирования (деагрегирования), координации, аппроксимации, линеаризации, релаксации, редукции (погружения).

В свою очередь, в рамках *второго направления* наиболее перспективными являются методы, в основу которых положены идеи самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования (введение категорий макросостояния, структурного состояния, многоструктурного состояния), технологии дуального проактивного управления, а также управления структурной динамикой объектов (в т.ч. гибкого сочетания принципов иерархического и сетевого управления).

**Заключение.** Проведенный анализ показывает, что на всех этапах жизненного цикла СКФС наблюдается их структурная динамика, вызываемая комбинациями объективных, субъективных, внешних и внутренних причин. Необходимо сделать указанные процессы подконтрольными, т.е. обеспечить проактивное управление указанной структурной динамикой. В предлагаемой статье на основе анализа тенденций, свойственных системной отрасли научных знаний, сформулированы методологические основы решения задачи проактивного интеллектуального управления структурной динамикой СКФС, включающие в себя концепции комплексного моделирования, проактивного управления и интеллектуализации управления вместе с соответствующими системно-кибернетическими принципами, ориентированными на реализацию перспективных технологий управления сложностью.

Исследования по данной тематике проводились при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-08-00989, 20-08-01046 и в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mancilla R. Introduction to Socio-cybernetics (Part 1) // J. of Socio-cybernetics. 2011. Vol. 42, N 9. P. 35—36.
2. Lee E. A. Cyber Physical Systems: Design Challenges // Intern. Symp. on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). Orlando, FL, USA, 6 May 2008. P. 245—257.
3. Хиценко В. Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. М.: КомКнига, 2005. 224 с.
4. Юсупов Р. М., Соколов Б. В. Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе // Кибернетика и информатика. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2006. С. 6—21.
5. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные информационные технологии управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 408 с.

#### Сведения об авторах

- Борис Владимирович Соколов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании, гл. научный сотрудник; E-mail: sokolov\_boris@inbox.ru
- Александр Павлович Ковалев** — д-р техн. наук, профессор; КБ „Арсенал“ им. М. В. Фрунзе; советник генерального директора; E-mail: kbarsenal@peterlink.ru
- Николай Габдрахманович Мустафин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет; ст. научный сотрудник; E-mail: nikolay.mustafin@gmail.com
- Валерий Вячеславович Захаров** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; мл. научный сотрудник; E-mail: valeriov@yandex.ru
- Екатерина Евгеньевна Щербакова** — аспирант; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании, E-mail: komago2@mail.ru

**Ссылка для цитирования:** Соколов Б. В., Ковалев А. П., Мустафин Н. Г., Захаров В. В., Щербаклова Е. Е. Методологические основы проактивного управления социокберфизическими системами // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 12. С. 1018—1021.

## METHODOLOGICAL BASES FOR PROACTIVE MANAGEMENT OF SOCIOCYBERPHYSICAL SYSTEMS

B. V. Sokolov<sup>1</sup>, A. P. Kovalev<sup>2</sup>, N. G. Mustafin<sup>3</sup>,  
V. V. Zakharov<sup>1</sup>, E. E. Shcherbakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, 199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: valeriov@yandex.ru

<sup>2</sup>M. V. Frunze Arsenal Design Bureau, 195009, St Petersburg, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg Electrotechnical University, 197376, St. Petersburg, Russia

Socio-cyber-physical systems are selected as the main object of presented research. These systems are complex interconnected network structures that include, along with real-life physical objects, the corresponding information and control (cybernetic) systems that solve in an automatic (automated) mode of the task of monitoring and managing the specified objects, as well as social (organizational) structures that determine the purpose of these systems and are the main consumers of the results of their activities. A methodological basis for proactive management of these objects is proposed.

**Keywords:** socio-cyber-physical systems, complex modeling, proactive intellectual management, principles of required diversity, non-final decisions, outstripping diversity

### REFERENCES

1. Mancilla R. *Journal of Socio-cybernetics*, 2011, no. 9(42), pp. 35–36.
2. Lee E.A. *International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, May 6, 2008, Orlando, FL, USA, 2008, pp. 245–257.
3. Khitsenko V.E. *Samoorganizatsiya: elementy teorii i sotsial'nyye prilozheniya* (Self-Organization: Elements of Theory and Social Applications), Moscow, 2005, 224 p. (in Russ.)
4. Yusupov R.M., Sokolov B.V. *Kibernetika i informatika* (Cybernetics and Informatics), St. Petersburg, 2006, pp. 6–21. (in Russ.)
5. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye informatsionnyye tekhnologii upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob'yektov* (Intelligent Information Technologies for Managing the Structural Dynamics of Complex Technical Objects), Moscow, 2006, 408 p. (in Russ.)

### Data on authors

- Boris V. Sokolov** — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Chief Researcher; E-mail: sokolov\_boris@inbox.ru
- Alexander P. Kovalev** — Dr. Sci., Professor; M. V. Frunze Arsenal Design Bureau; Advisor to the General Director; E-mail: kbarsenal@peterlink.ru
- Nikolay G. Mustafin** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg Electrotechnical University; Senior Researcher; E-mail: nikolay.mustafin@gmail.com
- Valery V. Zakharov** — PhD; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Junior Researcher; E-mail: valeriov@yandex.ru
- Ekaterina E. Shcherbakova** — Post-Graduate Student; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling, E-mail: komaro2@mail.ru

**For citation:** Sokolov B. V., Kovalev A. P., Mustafin N. G., Zakharov V. V., Shcherbakova E. E. Methodological bases for proactive management of sociocyberphysical systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 12. P. 1018—1021 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-12-1018-1021