

# Сетевые характеристики узлов системы терминального оборудования

УДК 004.72

**В.С. ЕЛАГИН**, доцент кафедры инфокоммуникационных систем ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича” кандидат технических наук, **А.К. НАЙМУШИН**, аспирант ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича”, ИТ-архитектор ПАО “Россети Ленэнерго”

Сетевые характеристики узлов системы терминального оборудования.  
*Network Characteristics of the Terminal Equipment System Nodes*

В статье представлен обзор и анализ основных концепций и исследований, которые имеют потенциальное значение для возможности трансформации основных отраслей производства Российской Федерации в контексте построения киберфизических систем сложной многоуровневой инфраструктуры.

Рассмотрены решения для интеллектуального производства, позволяющие предприятиям быстро настраивать производственные мощности киберфизических систем и масштабировать сбор данных с объектов в режиме реального времени и/или в режиме, близком к реальному, со встроенными датчиками и элементами управления, которые взаимодействуют с физическим миром, например с объектами электросетевого комплекса Российской Федерации, диспетчерами, операторами, погодой.

Предложенная концепция заполняет пробел в применимых способах моделирования при проектировании киберфизических систем. В целях сохранения топологической структуры, рабочего состояния и не допуская каскадного отключения системы, позволяющей виртуализировать свои производственные активы, разработано интеллектуальное производственное решение для прогнозирования нагрузок на сложную инфраструктуру.

*The article provides an overview and analysis of the main concepts and research that have potential significance for the possibility of transformation of the main industries of the Russian Federation in the context of building cyber-physical systems of complex multi-level infrastructure.*

*Solutions for intelligent manufacturing are considered that allow enterprises to quickly configure the production capacities of cyberphysical systems and scale data collection from objects in real time and/or in a mode close to real time, with built-in sensors and controls that interact with the physical world, with objects of the electric grid complex of the Russian Federation, human dispatchers, operators, by the weather.*

*The proposed concept fills a gap in the applicable modeling methods for designing cyber-physical systems. In order to preserve the topological structure, working condition and preventing cascading shutdown of the system, which allows you to virtualize your production assets, an intelligent production solution has been developed to predict the loads on complex infrastructure.*

**Ключевые слова:** виртуализация, киберфизические системы, многоуровневые иерархические структуры, архитектура.

**Keywords:** virtualization, cyber-physical systems, multilevel hierarchical structures, architecture.

## Введение

Постоянно меняющаяся и децентрализованная бизнес-среда предполагает у предприятий способность быстрого реагирования на требования рынка для сохранения конкурентности в мире. Возможность быстрой настройки производственных мощностей и процессов для обеспечения производства продукта для рынка в изменяющихся масштабах стала важным направлением деятельности многих отраслей в мире. Эта тенденция получила при-

знание в глобальном масштабе, когда было запущено несколько правительственных инициатив, направленных на создание эталонных моделей интеллектуального производства с применением киберфизических систем, которые компании могли бы использовать для расширения возможностей. Большинство моделей направлено на создание интеллектуальных производств, где киберфизические системы взаимодействуют друг с другом по средствам сетей связи новых поколений и быстро настраиваются для про-

изводства по требованию [1], [2]. Интеллектуальное производство должно:

принимать инженерные решения в режиме реального времени. Интеллектуальные индустрии и отрасли позволяют радикально оптимизировать внутренние производственные процессы для удовлетворения индивидуальных производственных потребностей практически в онлайн-режиме.

**Статью целиком читайте  
в бумажной версии журнала**

УДК 004.72

ГАНИН Дмитрий Владимирович (кандидат технических наук); НАЙМУШИН Александр Константинович (аспирант)  
(ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича";  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича",  
ПАО "Россети Ленэнерго")

В статье представлен обзор и анализ основных концепций и исследований, которые имеют потенциальное значение для возможности трансформации основных отраслей производства Российской Федерации в контексте построения киберфизических систем сложной многоуровневой инфраструктуры.

Рассмотрены решения для интеллектуального производства, позволяющие предприятиям быстро настраивать производственные мощности киберфизических систем и масштабировать сбор данных с объектов в режиме реального времени и/или в режиме, близком к реальному, со встроенными датчиками и элементами управления, которые взаимодействуют с физическим миром, например с объектами электросетевого комплекса Российской Федерации, людьми-диспетчерами, операторами, погодой.

Предложенная концепция заполняет пробел в применимых способах моделирования при проектировании киберфизических систем. В целях сохранения топологической структуры, рабочего состояния и не допуская каскадного отключения системы, позволяющей виртуализировать свои производственные активы, разработано интеллектуальное производственное решение для прогнозирования нагрузок на сложную инфраструктуру.

*The article provides an overview and analysis of the main concepts and research that have potential significance for the possibility of transformation of the main industries of the Russian Federation in the context of building cyber-physical systems of complex multi-level infrastructure.*

*Solutions for intelligent manufacturing are considered that allow enterprises to quickly configure the production capacities of cyberphysical systems and scale data collection from objects in real time and/or in a mode close to real time, with built-in sensors and controls that interact with the physical world, for example, with objects of the electric grid complex of the Russian Federation, human dispatchers, operators, by the weather.*

*The proposed concept fills a gap in the applicable modeling methods for designing cyber-physical systems. In order to preserve the topological structure, working condition and preventing cascading shutdown of the system, which allows you to virtualize your production assets, an intelligent production solution has been developed to predict the loads on complex infrastructure.*

**Ключевые слова:** виртуализация, киберфизические системы, многоуровневые иерархические структуры, архитектура.

**Keywords:** virtualization, cyber-physical systems, multilevel hierarchical structures, architecture.

#### Литература

1. Rajkumar R., Lee I., Sha L., and Stankovic J. Cyber-physical systems: the next computing revolution./ Proceedings of the Design Automation Conference. IEEE. Carnegie Mellon University. 2010. Pp. 731 — 736.
2. Zhaoyang Qu, Yunchang Dong, Nan Qu, Lei Wang, Yang Li, Yu Zhang, Sylvere Mugemanyi// Mathematical Problems in Engineering. Vol. 2019. № 4. 15 p.
3. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетецентрическое управление и киберфизические системы. — М.: Московский технологический университет. 2017.
4. Елагин В.С., Васин А.С. Анализ моделей управления сетевыми ресурсами в сетях 5G// Т-comm: телекоммуникации и транспорт. 2023.
5. Kim K.-D., and Kumar P.-R. Cyber-physical systems: a perspective at the centennial./ Proceedings of the IEEE. 2012. № 1. Pp. 1287 — 1308.
6. Xue Y.-S., Li M.-L., Luo J.-B., et al. Modeling method for coupling relations in cyber physical power systems based on correlation characteristic matrix./ Automation of Electric Power Systems. 2018. № 2. Pp. 11 — 19.
7. Li Y., Yang Z., Li G., Mu Y., Zhao D., Chen C., and Shen B. Optimal scheduling of isolated microgrid with an electric vehicle battery swapping station in multi-stakeholder scenarios: a bi-level programming approach via real-time pricing// Applied Energy. 2018. Pp. 54 — 68.
8. Li Y., Li Y., Li G., Zhao D., and Chen C. Two-stage multi-objective OPF for AC/DC grids with VSC-HVDC: incorporating decisions analysis into optimization process// Energy. 2018. Pp. 286 — 296.
9. Karnouskos S. Cyber-physical systems in the Smart Grid./ Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Informatics. July 2013.
10. Davis K.-R., Davis C.-M., Zonouz S.-A., Bobba R.-B., Berthier R., Garcia L., and Sauer P.-W. A cyber-physical modeling and assessment framework for power grid infrastructures./ Proceedings of the IEEE Conference on Transactions on Smart Grid. 2015. № 5. Pp. 2464 — 2475.
11. Havlin S. Catastrophic cascade of failures in interdependent networks// Nature. 2010. № 7291. Pp. 1025 — 1028.
12. Song Y., Liu X., Li Z., Shahidehpour M., and Li Z. Intelligent data attacks against power systems using incomplete network information: a review// Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. 2018. № 4. Pp. 630 — 641.
13. Lyu L., Chen C., Yan J., Lin F., Hua C., and Guan X. State estimation oriented wireless transmission for ubiquitous monitoring in industrial cyber-physical systems./ IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. 2019. № 1. Pp. 187 — 201.
14. Zhao J.-B., Mili L., and Wang M. A generalized false data injection attacks against power system nonlinear state estimator and counter measures./ IEEE Transactions on Power Systems. 2018.

15. Huang Z., Wang C., Stojmenovic M., and Nayak A. Balancing system survivability and cost of smart grid via modeling cascading failures./ *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*. 2013. № 1. Pp. 45 — 56.
16. Avritzer A., Suresh S., Silva, et al. Survivability models for the assessment of smart grid distribution automation network designs./ *Proceedings of the Joint Wosp/sipew International Conference on Performance Engineering*. 2013. Pp. 241 — 252.
17. Ji X., Wang B., Liu D., and Zhao T. Review on interdependent networks theory and its applications in the structural vulnerability analysis of electrical cyber-physical system./ *Proceedings of the CSEE*. 2016. № 17. Pp. 4521 — 4533.
18. Lo C., and Ansari N. Decentralized controls and communications for autonomous distribution networks in smart grid./ *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2013. № 1. Pp. 66 — 77.
19. Zhou D., Stanley H.-E., D'Agostino G., and Scala A. Assortativity decreases the robustness of interdependent networks// *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*. 2012. № 2.
20. Huang Z., Wang C., Stojmenovic M., and Nayak A. Characterization of cascading failures in interdependent cyber-physical systems./ *IEEE Transactions on Computers*. 2015. № 8. Pp. 2158 — 2168.
21. Kong Z., and Yeh E.-M. Correlated and cascading node failures in random geometric networks: A percolation view./ *Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous and Future Networks*. July 2012. Pp. 520 — 525.
22. Ding T., Lin Y., Li G., et al. A new model for resilient distribution systems by microgrids formation./ *IEEE Transactions on Power Systems*. 2017. № 5.
23. Wang J.-S., Wu X.-P., and Cheng Y.-Q. Invulnerability of weighted scale-free network against cascading failure// *Complex Systems and Complexity Science*. 2013. № 2. Pp. 13 — 19.
24. Ding C., Yao H., Du J., et al. Load-induced cascading failures in interconnected network systems// *International Journal of Modern Physics C*. 2018. № 8.
25. Dong Z., Fang Y., and Tian M. Influences of various coupled patterns and coupling strength on power-communication coupled networks// *High Voltage Engineering*. 2015.
26. О'Доннел С., Кунц Г. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих решений. — М.: Прогресс. 1981. 495 с.
27. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления// *Актуальные проблемы современной науки*. 2015. № 3 С. 297 — 301.