

М.: МЦНМО, 2002.

17. Карпов Ю. Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010.

18. Железняков В. А. Уровни сложности информационных систем // Славянский форум. 2015. № 3 (9). С. 97–104.

19. Монахов С. В., Савиных В. П., Цветков В. Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. – М.: Просвещение, 2005. 264 с.

20. Tsvetkov V. Ya. Dichotomous Systemic Analysis // Life Science Journal. 2014. Vol. 11. Iss. 6. P. 586–590.

21. Pastor O. et al. Model-driven development // Informatik-Spektrum. 2008. Vol. 31. Iss. 5. P. 394–407.

22. Akers S. B. Binary decision diagrams // IEEE Transactions on Computers. 1978. Vol. 100. Iss. 6. P. 509–516.

23. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.

### **Principles of verification of information models and algorithms**

*Pavel Yur'evich Elsukov, Federal State Institution of Science Institute of Energy Systems. LA Melentyeva Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), Irkutsk, Russia*

*The article discloses the content of the principles of verification of information models. The article introduces the concept of model verification. The concept of an implementation algorithm is introduced. The article proves that verification of software is the basis for verification of information models. The article shows that the algorithm for implementing the information verified model has greater reliability in comparison with the conventional algorithm. The article shows the a priori and a posteriori principles of verification of information models. The article describes the difference between the algorithm and the implementation algorithm.*

*Keywords: Information models, verification, algorithm, implementation algorithm, temporal logic.*

**УДК 528.2/.5 528.8 528.02**

## **СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

*Станислав Алексеевич Кудж, профессор, д-р техн. наук,  
e-mail:*

*ректор Московского технологического университета (МИРЭА),*

*Виктор Яковлевич Цветков, профессор, д-р техн. наук,  
e-mail: cvj2@mail.ru*

*Московский технологический университет (МИРЭА)  
<https://www.mirea.ru>*

*Статья описывает киберфизические системы и киберфизическое управление. Описана связь киберфизического управления с сетевым управлением. Описана эволюция технических систем, которая привела к появлению киберфизических систем. Описаны технологии иерархического и матричного управления как прототипы киберфизического управления. Раскрыто содержание принципов киберфизического управления. Вводится и раскрывается понятие гармонизирующего информационного потока. Раскрывается содержание интеллектуального узла. Раскрывается технология киберфизического управления.*

*Ключевые слова: управление; интеллектуальное управление; распределенные системы; интеллектуальный узел; гармонизирующий информационный поток; субсидиарное управление; сетевое управление; киберфизическое управление.*

**Введение**

DOI: 10.21777/2500-2112-2017-2-86-92

В настоящее время одной из научных проблем является проблема автоматического преобразования «эмпирических» данных в знания. Одним из аналитических подходов является латентный анализ [1]. Однако он дает результат на сравнительно простых статистических или эмпирических выборках. В условиях роста



**С.А. Кудж**

сложности систем, в условиях роста масштабов распределенных систем, требующих управления, возникает потребность применения принципиально новых подходов, поскольку известные методы: иерархическое управление, матричное управление [2], ситуационное управление [3–5] и простое сетевое управление – не дают нужного результата. Обостряет эту задачу проблема больших данных [6], ко-



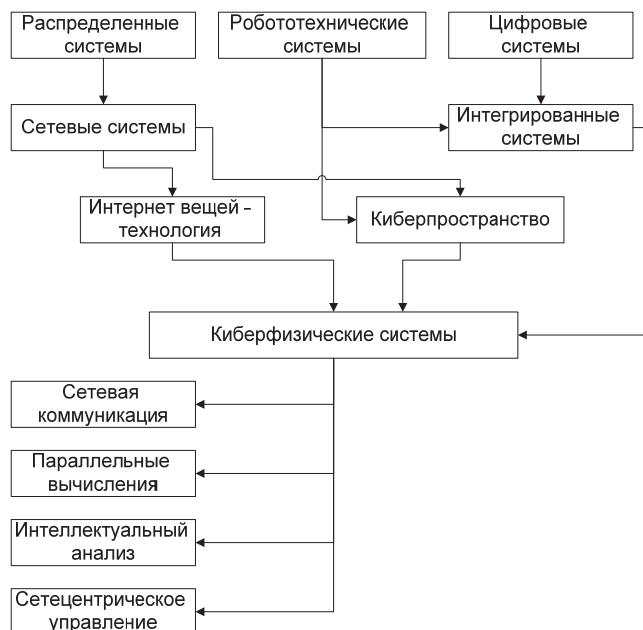
**В.Я. Цветков**

торая включает как большие объемы данных (гига- и терабайты), так и большое число связей, растущее в геометрической прогрессии. Вопросам внутрисетевого интеллектуального моделирования до сих пор уделялось мало внимания. Это связано, прежде всего, с традицией применения – сети рассматривались как средства телекоммуникации, а не вычислений и тем более интеллектуального анализа. Эта ситуация также связана с методологией применения сетей – циклы и асинхронные процессы рассматривались как нежелательные явления. Такая ситуация связана с методологией организации потоков в сетях – в основном строились модели последовательных информационных потоков, а параллелизм рассматривался как нежелательное – явление, которое приводит к неустойчивости, к снижению управляемости и потере надежности [7]. С другой стороны, реализация внутрисетевого интеллектуального моделирования может существенным образом повысить эффективность распределенных систем и обеспечить возможность их функционирования при решении «нерешаемых задач». Одним из новых подходов к решению отмеченных проблем и задач является применение киберфизических систем и методов киберфизического управления. О киберфизических системах написано достаточно много. Но о киберфизическом управлении написал мало. Это обусловлено тем,

обусловлено тем,

что киберфизическое управление является модификацией сетевоецентрического управления, которое многим неизвестно.

**Развитие киберфизической системы.** Киберфизические системы возникли как результат эволюции и результат развития технических и технологических средств. На рис. 1 приведена схема эволюции киберфизической системы и ее функциональные возможности. Верхняя часть схемы отражает особенности эволюции систем. Нижняя часть схемы показывает отличительные технологические особенности киберфизических систем.



**Рис. 1. Схема эволюции киберфизической системы и ее функциональные возможности**

Появлению киберфизической системы предшествовало создание ряда специфиче-

ских систем, из которых наиболее существенной является технология «Интернет вещей» [8, 9].

Интернет вещей (IoT) – технология [8, 9], в которой любой физический объект может быть соединен с любым другим физическим объектом. При этом сетевое соединение в такой технологии существенно отличается от обычной технологии телекоммуникационных сетей. Главными функциями технологий телекоммуникационных сетей являются передача информации и обмен информацией [10]. В киберфизических системах эти функции являются вспомогательными. Главными функциями киберфизических систем являются обработка информации (включая параллельную и тензорную), интеллектуальный анализ и управление. Управление в киберфизических системах, как правило, сетевое, сетевое [11, 12] или субсидиарное [13–16]. Управление (рис. 1) основано на сетевой коммуникации, параллельных вычислениях и интеллектуальном анализе.

Особенно большое значение киберфизические системы имеют для крупномасштабных распределенных систем автоматизации и управления, например развернутых в важных инфраструктурах тепло- и энергоснабжения, информационной безопасности и др. Киберфизические системы являются основой для интеллектуальной промышленности будущего. Одной из основных целей развития систем контроля и автоматизации в России, да и во всем мире, является достижение полностью автономных, интеллектуальных и безопасных CPS уже к 2030 году. Это возможно только с развитием сетецентрического (субсидиарного) управления на новом качественном уровне.

Пока не существует формального и строгого определения понятия киберфизической системы, хотя в ряде работ сформулированы характерные свойства таких систем. Можно определить киберфизическую систему как сложную техническую систему [17, 18] или прикладную систему [19], принцип функционирования которой включает ее декомпозицию на отдельные составляющие. Под структурой киберфизической системы будем понимать ее организацию из распределенных компонентов и элементов, для которых заданы способы информационного взаимодействия [20] между собой и с окружающей средой, распределение структурных функций, выполняемых системой и принципы субсидиарного принятия решений и управления.

Понятие «структурные функции» является одной из особенностей киберфизических систем. Другими особенностями подобных систем являются возможный параллелизм информационных потоков, возможная асинхронность принятия решений, наличие специальных гармонизирующих информационных процессов, сочетание синхронного и асинхронного управления и пр.

Важный вопрос, требующий скорейшего решения для киберфизических систем, состоит в формализации гармонизирующих потоков и формировании параллельных алгоритмов [21] в структуре киберфизической системы для оптимизации сетецентрического управления.



Рис. 2. Принципы, формирующие управление в киберфизических системах

**Принципы управления с использованием киберфизических систем.** Киберфизические системы с субсидиарным управлением должны быть обеспечены интеллектуальными узлами, что является новым понятием для коммуникационных систем и систем управления, включая организационно-технические системы. На рис. 2 показаны принципы, формирующие управление в киберфизических системах.

Эти принципы включают принципы иерархического управления, принципы мат-

ричного управления, принципы субсидиарного (сетецентрического) управления. Субсидиарное и сетецентрическое управление функционально синонимы. Но структурно субсидиарное может быть разным, а не только сетецентрическим.

**Прототипы киберфизического управления.** Для сравнения с киберфизическим управлением на рис. 3 показана структура иерархического управления.

Принципиальным в современном иерархическом управлении является наличие двух штабов у высшего руководства: А1 – штаб по отправке и регулированию исполнительной документации; А2 – штаб по приему и обработке отчетной документации. На схеме показаны потоки: *d* – нисходящие потоки; *u* – восходящие потоки. Особенностью иерархического управления является рост числа элементов иерархической системы с ростом числа уровней. Соответственно, это ведет к росту числа и росту интенсивности информационных потоков. Но главное в том, что при большом числе уровней существенно возрастает общее время на прохождение директивных (нисходящих) и отчетных (восходящих) потоков. Именно рост времени на циркулирование нисходящих и восходящих потоков исключает возможность применения иерархического управления в ситуациях с критическими требованиями ко времени принятия решений и в корпораци-

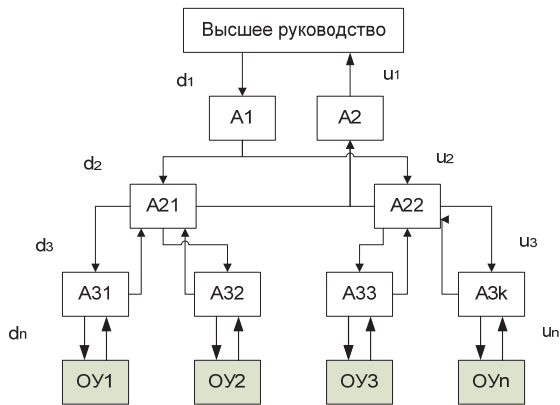


Рис. 3. Принципиальная схема иерархического управления

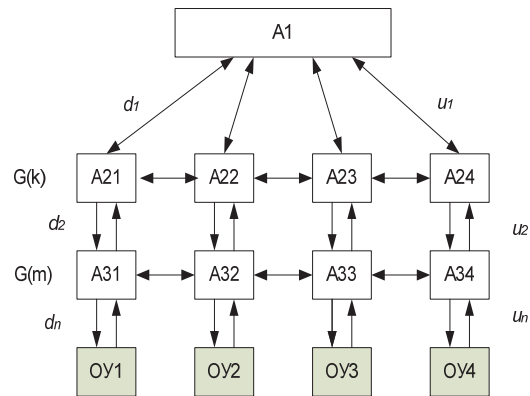


Рис. 4. Структура матричного управления

ях с большим числом филиалов. Этот недостаток отчасти устраняет матричная система управления [2], структура которой приведена на рис. 4.

Следует сразу оговорить, что матричное управление является условным, поскольку оно содержит уровни иерархии и, по существу, является модификацией иерархического управления. То есть оно описывается не чистой матрицей, а матрицей с иерархическими уровнями и большим числом элементов в сравнении с иерархической схемой на рис. 3.

Матрица имеет размерность  $m \times n$ , где  $n$  – число уровней,  $m$  – максимальное число элементов на нижнем уровне. Новым в матричном управлении является отличие от схемы на рис. 3, состоящее в том, что в матричной схеме появляются регулирующие горизонтальные потоки *G*, связывающие элементы уровня. При этом, несмотря на большее число уровней, время управления в такой схеме меньше, чем на схеме рис. 3. Регулирующие потоки снижают нагрузку на управление, разгружают в первую очередь восходящие потоки и сокращают общее время принятия решений.

**Киберфизическое управление.** Пропуская схему сетецентрического управления, сразу перейдем к киберфизическому управлению, которое показано на рис. 5. Следует отметить, что его основой является субсидиарное управление. Киберфизическое управление интегрировало в себя субсидиарное управление, которое технологически является совпадающим с киберфизическим управлением. Отличие – в новых узлах, которые в обычном субсидиарном управлении не применяют.

Киберфизическое управление строится сетецентрически. В центре (рис. 5) находится ядро управления. По концентрическим окружностям расходятся связи и уровни

управления. В сравнении с матричной системой в данной схеме уровни матрицы замкнуты. По эти замкнутым уровням функционируют гармонизирующие потоки: Гпкк – гармонизирующий поток корпоративного управления, Гпиуп – гармонизирующий поток интеллектуальных узлов. Ф – филиалы корпорации или крупные узлы сети. Под филиалами находятся интеллектуальные узлы реализации решений. В них осуществляется трансформация управленческих решений применительно к внешней информационной ситуации. Эти узлы связаны информационными потоками Гпиуп, которые осуществляют обмен опытом решения задач для разных внешних ситуаций. Обмен опытом делается как по запросу, так и в порядке информирования.

Ключевым в схеме является наличие интеллектуальных узлов (ИУуз) оперативно-го управления или интеллектуальных узлов циклического управления. В отличие от схем рис. 3 и рис. 4, в которых нижний узел является изолированным механизмом, в

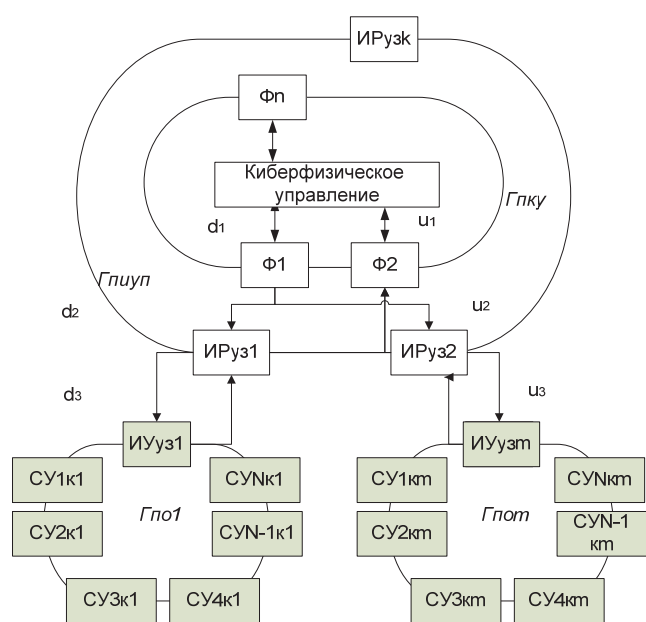


Рис. 5. Схема киберфизического управления

данной схеме на нижний уровень навешивается несколько исполнительных механизмов, что на порядок увеличивает масштаб управления на нижнем уровне в сравнении с матричной схемой. В этом контуре циркулирует гармонизирующий поток оперативного управления Гпо, который выполняет регулирующие функции применительно к процессу управления и объектам управления.

В случае, например, обеспечения информационной безопасности эта циклическая система (ИУуз) блокирует доступ к ядру системы извне и к последующим уровням. Такая возможность появляется только при наличии интеллектуальных узлов.

Одной из актуальных проблем, которая могла бы быть решена с помощью такого интеллектуального моделирования, является определение в реальном масштабе времени отклонений в работе некоей управляемой системы, вызванных кибератакой, и последующее устранение отрицательного эффекта. Современные кибератаки приводят не только к утечке конфиденциальных данных и финансовым потерям, но и к аварии на производстве вплоть до техногенной катастрофы.

**Заключение.** Сетецентрическое управление, развиваясь независимо, стало основой управления с применением киберфизических систем. Интеграция сетецентрического управления и киберфизических систем привела к созданию киберфизического управления. Применение сетецентрического подхода к классу киберфизических систем позволяет обеспечить дополнительные функции и дополнительный класс сервисов в рамках технологии робототехнических объектов [20]. Отличительными особенностями киберфизических систем являются допустимый параллелизм информационных потоков, возможная асинхронность принятия решений, наличие специальных гармонизирующих информационных процессов, сочетание синхронного и асинхронного управления и пр. Принципиальным отличием является включение в сеть интеллектуальных узлов обработки информации и выполнение интеллектуальной обработки информации. Этим сеть из коммуникационной системы переводится в интеллектуальную систему и становится подобием «открытой» нейронной сети. Применение киберфизических систем возможно с сетецентрическим управлением и без него. Сочетание этих объектов создает синергетический эффект и способствует повышению эффективности применения

киберфизических систем.

**Литература**

1. *Collins L. M., Lanza S. T.* Latent class and latent transition analysis for the social, behavioral, and health sciences. – New York: Wiley, 2010.
2. *Ожерельева Т. А.* Структурный анализ систем управления // Государственный советник. 2015. № 1. С. 40–44.
3. *Цветков В. Я.* Развитие технологий управления // Государственный советник. 2015. № 4. С. 5–10.
4. *О’Доннел С., Кунц Г.* Управление: системный и ситуационный анализ управленческих решений. – М.: Прогресс, 1981. 495 с.
5. *Коваленков Н. И.* Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. 2015. № 2. С. 42–46.
6. *Майер-Шенбергер В., Кукьер К.* Большие данные: Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. 240 с.
7. *Вегенер Р. Р., Дедобориц В. Г., Зарецкий К. А. и др.* Надежность и техническое обслуживание АМТС с программным управлением: справочное пособие – М.: Радио и связь, 1989.
8. *Черняк Л.* Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии // Открытые системы. 2013. № 4. С. 14–18.
9. *Алгулиев Р., Махмудов Р.* Интернет вещей // Информационное общество. 2013. № 3. С. 42–48.
10. *Дешко И. П., Ковалев С. Н., Кряженков К. Г., Мордвинов В. А., Трифонов Н. И., Тулинов С. В., Цыпкин В. Н.* Информационные и коммуникационные технологии: учебное пособие / Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) – М., 2005. 147 с.
11. *Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Соловьёв И. В., Цветков В. Я., Кудж С. А.* Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой. – М.: МАКС Пресс, 2010. 136 с.
12. *Кудж С. А.* Принципы сетцентрического управления в информационной экономике // Государственный советник. 2013. № 4. С. 30–33.
13. *Цветков В. Я.* Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. 2012. № 6. С. 40–43.
14. *Цветков В. Я.* Субсидиарное управление // Современные технологии управления. 2017. № 1 (73). С. 9–19.
15. *Andersson U., Forsgren M., Holm U.* The strategic impact of external networks: subsidiary performance and competence development in the multinational corporation // Strategic Management Journal. 2002. Vol. 23. No. 11. P. 979–996.
16. *Логинава А. С.* Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. 2015. № 3. С. 297–301.
17. *Цветков В. Я.* Сложные технические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-4. С. 670–670.
18. *Кудж С. А.* Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Перспективы науки и образования. 2014. № 1. С. 38–43.
19. *Цветков В. Я.* Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. № 3. С. 78–85.
20. *Мулюха В. А., Заборовский В. С., Ильяшенко А. С., Лукашин А. А.* Сетцентрический метод организации информационного взаимодействия киберфизических объектов в среде облачных вычислений // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 3 (4). С. 43–47.
21. *Кулагин В. П.* Проблемы параллельных вычислений // Перспективы науки и образования. 2016. № 1. С. 7–11.

**Network-centric control and cyber-physical systems**

*Stanislav Alexeevich Kudzh, Ph.D., Professor, Doctor of Technical Sciences, Rector*

*Viktor Yakovlevich Tsvetkov, Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow Technologies University (MIREA)*

*The article describes cyberphysical systems and cyber physics. The article describes the relationship*

*between cyber physics and network-centric management. The article describes the evolution of technical systems, which led to the emergence of cyberphysical systems. The article describes the technologies of hierarchical and matrix management, as prototypes of cyberphysical management. The article reveals the content of the principles of cyber physics. The article introduces the concept of a harmonizing information flow. The article reveals the content of the intellectual node. The article discloses the content of cyber physics management technology.*

*Keywords: management, intelligent management, distributed systems, intelligent node, harmonizing information flow, subsidiary management, network-centric management, cyber-physical management.*

УДК 004.8, 004.91

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИКЛАДНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКЕ**

*Андрей Александрович Майоров, профессор, д-р техн. наук,  
зав. кафедрой информационно-измерительных систем,  
академик российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского,  
e-mail: miigaiknir@yandex.ru,  
Московский государственный университет геодезии и картографии,  
<http://www.miigaik.ru>*

*Статья анализирует информационные взаимодействия в прикладной геоинформатике. Показано различие между информированием и информационным воздействием. Показано различие между информационным воздействием и информационным взаимодействием. Статья описывает три вида информационного взаимодействия. Раскрыто содержание требований к информационному взаимодействию. Эти требования следующие: целевая определенность, временное согласование, структурное соответствие, коммуникационное соответствие, цикличность.*

*Ключевые слова: прикладная геоинформатика; информационное взаимодействие; информирование; информационное воздействие; целевая определенность; структурное соответствие.*

### **Введение**

DOI: 10.21777/2500-2112-2017-2-92-97

В прикладной геоинформатике [1] мир предстает не только субстанционально в виде объектов, явлений, моделей, но и процессуально в виде процессов, информационных взаимодействий, формообразования, самоорганизации, саморазвития. Внешняя среда представляет собой объективный мир, в котором находятся реальные объекты.



**А.А. Майоров**

Эти реальные объекты взаимодействуют с внешней средой и друг с другом. Все это приводит к большому числу информационных взаимодействий в информационном поле [2]. В информационном поле между объектами существуют различные отношения и связи [3–5]. Связи могут быть сильными и слабыми, однозначными и неоднозначными, взаимными и односторонними. Эти связи оказывают существенное воздействие на информационные взаимодействия. В информационном поле и информационном пространстве [6, 7] имеют место отношения и связи, которые называют информационными. Они являются отражением реальных связей отношений. Но в искусственном

информационном пространстве ряд связей исключается или ослабляется сознательно или из-за отсутствия возможности из определения и построения. Таким образом, информационные отношения [8] – отношения, которые являются отражением и информационным описанием реально существующих отношений между объектами внешнего мира.