

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2019.02.003>
УДК 007:330.341

В.И. ГРИЦЕНКО, член-корреспондент НАН Украины, директор,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украин,
vig@irtc.org.ua

Л.И. БАЖАН, к.э.н., старш. научн. сотр., зав. отделом экономико-социальных систем и ИТ,
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН
и МОН Украины, просп. Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,
bazmil@ukr.net

О.Л. ЕРШОВА, к.э.н., доцент, проф., зав. кафедрой экономико-математических дисциплин и
ИТ, Нац. академия статистики, учета и аудита Госкомстата Украины и МОН Украины,
ул. Подгорная, 1, Киев, 04107, Украина,
bogi2003@ukr.net

КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Указаны отличительные особенности киберфизических систем от существующих АСУ ТП. Обоснована необходимость параллельной и асинхронной обработки информации в киберфизической системе на субсидиарном уровне. Субсидиарное управление в киберфизической системе при наличии интеллектуальных узлов в виде сенсоров на основе интеллектуальной обработки данных представляет интеллектуальное управление.

Ключевые слова: киберфизическая система, распределенная система, технология Интернет-вещей, сетевое управление, интеллектуальное управление.

Введение

Особенность современного этапа — развитие глобализационных процессов и распространение Интернета, что обуславливает необходимость формирования единого информационного пространства. Под влиянием большого прироста трансграничных данных наступает новый этап глобализации, который характеризуется цифровой трансформацией общества, усиливающий виртуализацию экономики и порождая ее новую форму — цифровую экономику.

Бурный рост информационных технологий и всеобщая цифровизация дали толчок производственным системам, как основы национальной экономики. Использование программируемых датчиков и цифровых систем управления, интегрированных с корпоративными сетями предприятий, привело к изменению подходов к управлению производством и бурному развитию новых технологий управления, основой которых становятся киберфизические системы.

Цель данной статьи — анализ влияния глобализационных процессов на развитие

современных информационных технологий, что обуславливается увеличением потока данных. Развитие информационно-коммуникационных технологий и особенно Интернета создают условия для обеспечения передачи данных от точки их зарождения к потребителям, независимо от места их нахождения, что обусловило появление киберфизических систем как основы умной экономики.

Информационное общество и информационно-сетевая экономика

Информационное общество — это такое общество, в котором производство и потребление информации есть важнейшим видом деятельности, а информация — наиболее значимый ресурс. В таком обществе новые информационные и информационно-коммуникационные технологии, вычислительная техника и знания становятся базовыми технологиями и техникой, а информационная среда, наряду с социальной и экономической, новой средой обитания человека.

Сегодня существует множество определенных информационных технологий. Среди них определение *ISO/IEC 38500:2008* рассматривает информационную технологию как ресурсы, необходимые для сбора, обработки, хранения и распространения информации. Поэтому предлагается рассматривать информационные технологии как совокупность программно-аппаратных средств, воздействующих на данные с целью получения конечного информационного продукта в широком смысле этого слова (решение, проект, экспертиза, диагноз, заключение и т.д.). Следует подчеркнуть, что при этом крайне важно, чтобы информационная технология обладала свойствами порождения новых знаний, которые обуславливают качественно новые возможности изучения сложных явлений и процессов [1].

Информационному обществу присущи общие базовые свойства:

- оно основано на обработке информации и генерировании знаний с использованием

информационных технологий, которые опираются на развитие микроэлектроники;

- информационное общество имеет сетевую организацию, его основные компоненты интегрированы в сети, которые опираются на совершенствование телекоммуникационной и транспортной инфраструктуры и функционируют как совокупность взаимосвязанных систем.

Информационное общество рассматривается как сетевое. Сети приобретают в глобальном пространстве огромное значение для осуществления сетевого взаимодействия. Основанные на современных информационно-коммуникационных технологиях сети позволяют любым экономическим субъектам, в любой точке геоэкономического пространства, свободно и с минимальными затратами взаимодействовать между собой по поводу совместного бизнеса, работы, торговли, обмена идеями, данными [2].

Сетевая экономика позволяет предприятиям обеспечить преимущества путем выявления новых каналов снабжения и сбыта, привлечения новых потребителей, улучшения качества обслуживания клиентов, расширения сферы деятельности, сокращения затрат, улучшения качества управленческих решений, увеличения инвестиций и т.д. С ее возникновением на место традиционного бизнеса приходит электронный бизнес, развивающийся на базе высоких технологий.

Создание экономики, основанной на технологиях и знаниях информационного общества и интегрированной в мировое экономическое сообщество, связано с решением целого ряда проблем, имеющих национальный и международный характер.

Переход экономической системы к сетевому строению сопровождается принципиальными изменениями в их развитии [3]:

- благодаря цифровым технологиям экономические контакты становятся еще более интерактивными, так как они опираются не на ценовые сигналы рынка, а на прямую связь продавцов и покупателей через веб-сайты;

- постиндустриальная экономика отличается от индустриальной тем, что первая рассчитана на диверсификацию производства, в то время

как вторая связана с массовым производством однотипной продукции;

- главным механизмом развития и гармонизации в индустриальной экономике была конкуренция, в постиндустриальной экономике главным механизмом становится кооперация в сетевой форме.

Глобальный переход к сетевым экономическим отношениям привел к формированию четвертой промышленной революции.

Четвертая промышленная революция

Как известно, мировая производственная система была сформирована тремя основными технологическими революциями:

- первая промышленная революция характеризуется введением механического производства с помощью воды и паровой энергии;

- вторая промышленная революция характеризуется введением разделения труда и массового производства с помощью электрической энергии;

- третья промышленная революция характеризуется использованием электронных и информационных систем, расширением автоматизации производства.

Прогресс мирового сообщества человечества определяется теми изменениями, которые совершаются во всех сферах нашей жизни, и в первую очередь, в промышленном производстве. Резкие скачкообразные изменения происходят в результате появления принципиально новых технологий, которые, в свою очередь, дают импульс для развития технологий в смежных областях, приводят к формированию новых способов производства и обновлению экономики в целом.

Начало четвертой промышленной революции, именуемой как индустриальная революция 4.0, происходит с начала XXI века. Четвертая промышленная революция выдвигает на первый план такие важные проблемы, как развитие образования, свободный доступ к информации, а также надежные высокоскоростные системы связи. Она характе-

ризуется сочетанием технологий, которые нивелируют границы между различными сферами жизни (физической, биологической, виртуальной). Отличием данной революции от своих предшественниц являются скорость, масштабы, интеллектуализация управления и системный характер социально-экономических последствий.

Базой интеллектуализации управления является концепция нового класса информационных технологий, представляющих собой особые высокие наукоемкие информационные технологии. Они отличаются от известных технологий тем, что используют в процессе обработки информации не только программируемые вычисления, а и качественно новые технологии оперирования образами информационных объектов. При этом средствами интеллектуальных информационных технологий достигается понимание человеческой речи, распознавание реальных и искусственно созданных объектов, активное взаимодействие с внешней средой, выявление информационной сути, возможность оперировать знаниями и выбирать их с учетом поставленных целей [4].

Большое значение приобретают методы, модели и технологии интеллектуального управления сложными динамическими процессами и системами в условиях неполной информации, высокой динамики изменения ситуации. Дальнейшие исследования сосредоточены на последовательном переходе к моделям управления с частичной или полным отсутствием информации. В такой ситуации проблема интеллектуального управления чрезвычайно сложна, но ее решение крайне важно для принятия управленческих решений в области систем управления пилотируемыми и беспилотными транспортными средствами, энергетическими средствами, роботами и т.д. [4].

Четвертой промышленной революции соответствует шестой технологический уклад, который ориентирован на гибкое и диверсифицированное производство, способность быстро реагировать на постоянно меняющиеся потребности общества и экономики.

Отличительный признак новой технологической среды четвертой промышленной революции состоит в переходе к мехатронным системам. Электроника становится основным компонентом продукции будущего, тогда как аппаратная часть все более стандартизируется.

Основные характеристики, определяющие функциональные особенности, зависят от программного обеспечения.

Таким образом, обычные элементы оборудования превращаются в мехатронные системы, функционирование которых определяется тремя составляющими: механической, электронной и программной.

Системные социально-экономические последствия характеризуется массовым распространением информационно-коммуникационных технологий, цифровых платформ и других цифровых технологий.

Переход от аналоговых средств связи к цифровым сопровождается организационным усложнением экономических систем, что влечет за собой их трансформацию в динамичные сетевые системы.

Переход к сетевому устройству с подвижной структурой внутренних связей позволяет социально-экономическим системам гибко реагировать на постоянную изменчивость среды, адаптируясь к непрерывной смене технологий и продуктовых запросов рынков, что характерно для ситуации повышенной неопределенности.

Цифровые технологии существенно расширяют мировые рынки, обеспечивая доступ к ним как разного количества участников, так и разного по составу подлежащих обмену продуктов, что создает сетевой мультипликативный эффект трансферта знаний и технологий в виде их горизонтального распространения по всем секторам и территориям.

Четвертая промышленная революция развивает сетевые коммуникации поверх административных границ стран и территорий, что ускоряет переход мировой общественности к децентрализованной, распределенной модели производства [3].

Технология Интернет-вещей

Интернетом-вещей является глобальная инфраструктура для информационного общества, которая обеспечивает возможность предоставления более сложных услуг путем соединения друг с другом (физических и виртуальных) вещей на основе существующих и развивающихся функционально совместимых информационно-коммуникационных технологий.

Также можно сказать, что Интернет-вещей — это динамичная распределенная среда, которая связывает множество интеллектуальных устройств, способных воспринимать окружающую среду и выполнять соответствующие действия. Такие устройства позволяют отслеживать состояние внешней среды, собирать информацию о реальном мире и создавать системы повсеместных вычислений, в которых каждое устройство может взаимодействовать с любым другим устройством в мире, где бы оно не находилось. Технологии Интернета-вещей повышают степень проникновения Интернета, обеспечивая совместную работу устройств — как отдельных датчиков или как совокупности различных датчиков, образующих конечную макросистему и действующих как единое целое.

Основой четвертой промышленной революции станет Интернет-вещей, базой которого является сеть, состоящая из уникально идентифицируемых объектов, способных взаимодействовать друг с другом без вмешательства человека. Таким образом, Интернет-вещей представляет глобальную инфраструктуру для информационного общества.

Концепция Интернета-вещей подразумевает новый способ эффективного производства, который заключается в глубокой информатизации и более интенсивном объединении в сеть систем внутри предприятия или нескольких предприятий.

Интернет-вещей (*IoT*) может быть представлен формулой [5]:

$$\text{Интернет-вещей} = \text{физические объекты} + \\ + \text{контроллеры, сенсоры, исполнительные} \\ \text{механизмы} + \text{Интернет}$$

Данная формула показывает, что Интернет-вещей состоит из набора физических объектов, каждый из которых содержит: микроконтроллер, обеспечивающий интеллектуальность; датчик, измеряющий какой-либо физический параметр, и/или исполнительный механизм; имеет возможность осуществлять коммуникации по Интернету.

Технологическими средами и технологиями Интернета-вещей являются:

- коммуникации: беспроводная коммуникация в режиме реального времени и самоорганизующиеся коммуникационные сети;
- сенсорная техника;
- встроенные системы;
- исполнительные механизмы;
- программное обеспечение: моделирование и оценка ситуации по многим критериям.

«Вещами» в Интернете-вещей являются встроенные устройства с такими отличительными особенностями, как узкая полоса пропускания, сбор данных с низкой повторяемостью и малый объем используемых данных. Эти устройства обмениваются данными друг с другом и предоставляют данные через пользовательские интерфейсы.

Таким образом, Интернет-вещей представляет связанные между собой в сеть и взаимодействующие киберфизические системы.

Технология Интернет-вещей это технология, в которой любой физический объект может быть соединен с любым другим физическим объектом, т.е. в аспекте коммуникации и сетевой организации Интернета данная технология послужила каркасом для киберфизических систем. Но сетевое соединение в киберфизической системе отличается от соединения в обычной телекоммуникационной технологии.

Главными функциями технологий телекоммуникационных сетей являются передача информации и обмен информацией. В киберфизических системах эти функции являются вспомогательными.

Главные функции киберфизических систем — обработка информации, интеллектуальный анализ и управление. Управление в киберфизических системах, как правило, сетевое

трическое [6] или субсидиарное [7]. Распределенное интеллектуальное управление основано на сетевой коммуникации, параллельных вычислениях и интеллектуальном анализе.

Большое разнообразие продукции требует наличия подвижной и гибкой производственной структуры, которая способна быстро адаптироваться к требованиям, предъявляемым к новой продукции.

Обычные средства автоматизации не обеспечивают такую степень гибкости. В отличие от них модульные заводские структуры, включающие интеллектуальные устройства, так называемые киберфизические системы, входящие в сеть Интернета-вещей, являются ключевыми компонентами для создания адаптивных производственных сценариев, способных решать поставленные задачи.

Киберфизические системы

Киберфизические системы (*Cyber-Physical System — CPS*) — это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В *CPS* обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами. Компьютеры осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием такой петли обратной связи, где происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления и наоборот.

Основными техническими предпосылками появления киберфизических систем являются:

- рост числа устройств со встроенными процессорами и средствами хранения данных;
- интеграция, позволяющая достигнуть наибольшего эффекта путем объединения отдельных компонентов в большие системы;
- ограничение когнитивных способностей человека, которые эволюционируют медленнее, чем машины, и непременно наступает момент, когда они уже не в состоянии справиться с объемом информации, требуемой для принятия решений.

Новизна и принципиальное отличие киберфизических систем от существующих встроенных систем или АСУ ТП состоят в следующем.

Встроенная система — это система специального назначения, в которой вычислительный элемент полностью встраивается в устройство, которым она управляет.

В отличие от универсального компьютера, встроенная система выполняет одну или несколько predetermined задач, обычно с очень конкретными требованиями.

В техническом смысле встроенная система взаимодействует с окружающей средой контролируемым образом, удовлетворяя ряд требований по обеспечению качества и своевременности информации, необходимой для управления.

Киберфизические системы интегрируют в себя кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться.

Ключевым в *CPS* является модель, используемая в системе управления. От того, как она соотносится с реальностью, зависит работоспособность киберфизической системы:

- киберфизические системы являются интеллектуальными системами. Суть интеллектуальных программ заключается в том, что используя данные сенсоров, которые быстрее и точнее сигнализируют об изменении параметров среды, специальные алгоритмы приводят в действие автоматику высшего уровня для выполнения адекватных действий;

- киберфизические системы являются высокоэффективными технологиями, которые объединяют виртуальный и реальный мир для создания сетевого пространства, в котором умные объекты могут общаться и взаимодействовать друг с другом. Киберфизические системы представляют собой следующий эволюционный шаг от существующих встраиваемых систем. Они могут объединиться с Интернетом-вещей, данных и услуг для

формирования полноценных киберфизических систем;

- киберфизические системы — основа для создания Интернета-вещей, тем самым делая возможной реализацию Индустрии 4.0. Они представляют собой высокоэффективные технологии, которые благодаря инновационным приложениям и процессам стирают границу между реальным и виртуальным миром.

Область применения киберфизических систем распространяется практически на все виды человеческой деятельности, включая все многообразие промышленных, транспортных, энергетических, медицинских и военных систем, все виды систем жизнеобеспечения от медицины до умных домов и городов, а также на многие экономические системы.

Синергия вычислительных и физических компонентов вообще и создание киберфизических систем в частности поддерживают развитие Интернета-вещей.

Структура киберфизических систем

Общая архитектура *CPS* разбивается на пять фундаментальных уровней:

- физический уровень (физический уровень закладывает основу *CPS*-архитектуры);
- сетевой уровень (маршрутизация пакетов на основе преобразования уникального идентификатора, присваиваемого каждому активному оборудованию в сетевые);
- транспортный уровень (пакеты разбиваются на малые фрагменты);
- промежуточный уровень (управление терминалом, преобразование протоколов);
- уровень приложений (хранит, анализирует и обновляет информацию).

Обобщенная структура киберфизической системы содержит сеть интеллектуальных измерительно-вычислительных узлов, объединенных коммутирующей средой и поддерживаемых высокопроизводительными вычислительными средствами и средствами защиты информации, подключенными к центрам сбора и обработки информации.

Киберфизические системы как технологии информационного субсидиарного управления

На современном уровне развития в управлении экономическими системами широко используются информационные технологии. Стратегия информационного менеджмента использует принцип субсидиарности, согласно которому задачи управления должны решаться на самом низком, малом или удаленном от центра уровне, на котором их решение может приносить положительный эффект [8].

Современное субсидиарное управление основывается на использовании информационных технологий управления, для реализации которых применяют информационные конструкции, информационные модели и конкретную единицу информации.

Информационные конструкции отражают суть информационного подхода в моделировании, являются концептуальным описанием технологий управления.

Информационные модели применяют для описания процессов ситуаций и объектов, для качественного разделения компонент управления в виде сцен ситуаций и управленческих процессов. Информационная конструкция выполняет функции модели, но на более высоком уровне абстракции. Информационное конструирование применяют при выявлении неявного знания и его перехода в явное знание [9].

С управленческих позиций киберфизическая система представляет собой распределенную субсидиарную систему [10]. Как было указано выше, эта система имеет много уровней, но на каждом уровне масштаба и сложности появляются новые свойства, несводимые к свойствам простых уровней.

В отличие от традиционных встроенных систем киберфизические системы разрабатываются не как автономные устройства, а как сеть взаимодействующих элементов с физическим вводом и выводом.

Понятие киберфизической системы тесно связано с концепциями робототехники и сен-

сорных сетей с интеллектуальными механизмами вычислительного интеллекта.

Несмотря на высокую актуальность научных исследований в области цифровой экономики и теоретических исследований по развитию киберфизических систем, многие проблемы создания последних остаются нерешенными. Так недостаточным является теоретическое обоснование принципов построения киберфизических систем. Незавершенными остаются вопросы функциональной полноты и синергетического эффекта от объединения различных компонентов в систему и другие проблемы. Подходы к построению киберфизических систем основываются на анализе особенностей взаимодействия физических процессов окружающего мира с кибернетическими средствами (измерительно-вычислительными, коммуникационными, управляющими и исполнительными). К таким особенностям можно отнести: скорость течения физических процессов (в сравнении с вычислительными и коммуникационными возможностями кибернетических средств); тип физических процессов (линейные, нелинейные, синергетические); возможность определять состояние физического процесса (полнота информации, точность); возможность влиять на изменение состояний физического процесса.

Универсальное теоретическое описание и соответствующие теоретические решения, которые бы позволяли переходить от анализа этих особенностей к синтезу киберфизических систем, пока отсутствуют [11].

В научной литературе отсутствуют исследования киберфизических систем в области исследований и разработки:

- новых способов объединения и организации взаимодействия компонентов киберфизических систем для обеспечения высокой эффективности планирования и выполнения комплексных задач по исследованию и управлению целевыми объектами;
- исследование принципов построения интеллектуальных сенсорных систем и сенсорных сетей;

■ новых математических моделей и алгоритмов преобразований информативных, многомерных, непериодических сигналов.

Это лишь небольшая часть проблем, стоящих перед созданием, разработкой и внедрением киберфизических систем. Новые принципы планирования и распределения задач, которые будут решаться киберфизической системой, делают ее уникальной ввиду физической среды.

Киберфизическая система и технологии Big data

Развитие киберфизических систем обеспечивает возможность адекватного моделирования функционирования систем в различных отраслях на основании достоверных данных, получаемых в режиме реального времени.

Производство сложных изделий на промышленных предприятиях при мониторинге движения материальных и транспортных потоков, при мониторинге хронических больных в медицинских учреждениях генерируют большое количество информации, которая создает проблемы для организации и управления потоком данных. Внедрение описательной и диагностической систем аналитики совместно с системой правил синтеза информации недостаточны для эффективного управления объектами.

В конце 20-го столетия в качестве альтернативы традиционным системам управления базами данных, которые не могут полностью решать информационные проблемы, вызываемые большим потоком информации, появилась концепция совокупности принципиально новых методов работы с информацией — Big data.

Big data — это наборы данных, объем которых выходит за рамки возможностей стандартных программных инструментов в отношении сбора, хранения, управления и анализа данных [12].

Большие данные предназначены:

■ для обработки более значительных объемов информации, чем бизнес-аналитика;

■ для обработки более быстро получаемых и меняющихся сведений, что требует глубокого исследования;

■ для обработки неструктурированных данных, способы использования которых, еще изучаются. Для этого необходимы алгоритмы, обеспечивающие возможность диалога для облегчения поиска тенденций, содержащихся внутри этих массивов.

Концепция Big data на современном этапе обеспечивает следующие направления [13]:

■ новые приемы и усовершенствованные методы анализа и извлечения больших данных;

■ облачное решение для хранения и передачи больших данных;

■ решение проблем контроля и мониторинга через большие данные;

■ прогнозирование и оптимизация деятельности в масштабе целого предприятия на основе больших данных;

■ решение для систем управления рисками и цепочек поставок на основе больших данных;

■ теория больших данных для современного промышленного применения;

■ решения для интеллектуальных промышленных, транспортных, энергетических, медицинских и других систем на основе больших данных.

Определяющими характеристиками для больших данных есть «три V»:

— объем (volume) — величина физического объема;

— скорость (velocity) — скорость прироста, а также необходимость высокоскоростной обработки и получения результатов,

— многообразие (variety) — возможность одновременной обработки различных типов структурированных и неструктурированных данных. Источниками возникновения больших данных являются непрерывно поступающие данные с измерительных устройств, события от радиочастотных идентификаторов, потоки сообщений из социальных сетей, метеорологические данные, дистанционного зондирования Земли, потоки данных о местонахождении абонентов сетей сотовой связи, устройств аудио- и видеорегистрации и др.

Методы и техника анализа, применяемые к большим данным — это методы класса или глубинный анализ (Data Mining); краудсорсинг — получение данных одновременно из нескольких источников, количество которых не ограничено; смешение и интеграция данных — набор техник, позволяющих интегрировать разнородные данные из разнообразных источников для возможности глубинного анализа; машинное обучение — использование моделей, построенных на базе статистического анализа или машинного обучения для получения комплексных прогнозов на основе базовых моделей; искусственные нейронные сети, сетевой анализ, оптимизация, генетические алгоритмы; распознавание образов; прогнозная аналитика; визуализация аналитических данных — представление информации в виде рисунков, диаграмм, с использованием интерактивных возможностей и анимации как для получения результатов.

Структура киберфизической системы с сигналами мониторинга и управления включает компоненты [13]:

- Big data — good data, которые должны стремиться к процентному соотношению 90:10;
- облачные сервисы-фильтры, предназначенные для формирования 10 процентов структурированной, легко доступной, полезной и многократно востребованной информации;
- материальные и временные ресурсы для трансформирования киберпространства в семантико-метрическую инфраструктуру правильных данных;
- метрики классификации и оценивания информационных объектов, необходимые для создания фильтров, анализа big data и синтеза структур правильных данных;
- вектор состояния киберпространства, определяющий фактическое соотношение между Big data и good data в реальном времени.

Целью функционирования Big data в структуре киберфизической системы является достижение высокого уровня правильных данных по отношению к «информационному мусору» и последующее использование метрико-

семантически-структурированных данных для оптимального управления киберфизическими процессами города, региона, страны, планеты.

Синергия киберфизической системы и интеллектуального управления

Киберфизическая система — это организационно-техническая концепция управления информационными потоками, интеграция вычислительных ресурсов в физические процессы производства для непрерывного управления в режиме реального времени. В такой системе датчики, контроллеры и информационные системы объединены в единую сеть на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Управление и синхронизацию огромного числа разнообразных электронных устройств необходимо выполнять с целью достижения оптимальности функционирования. К системе связи (беспроводные сенсорные сети, проводные сети и смешанные системы передачи данных) предъявляются требования необходимости двухсторонней связи для передачи сигналов воздействия на физические объекты. В узлах этой сети находятся универсальные интеллектуальные модули управления с возможностью самообучения и самоорганизации. Таким образом, киберфизическая система представляет неравновесную динамическую систему на дискретных интеллектуальных модулях.

Киберфизическая система представляет собой сложную распределенную систему, управляемую и контролируемую компьютерными алгоритмами и тесно интегрированную с Интернетом и его пользователями.

Для киберфизической системы характерна возможность параллельных информационных потоков, принятия асинхронных решений, интеллектуальная обработка информации. Важным обстоятельством для киберфизической системы является то, что сетевые интеллектуальные узлы по обработке информации перестраивают систему из коммуникационной в интеллектуальную.

Методы управления, которые применяются в кибернетических системах иерархическое, матричное, ситуационное и сетевое управление не обеспечивают эффективности управления в условиях сложности задач управления при использовании распределенных систем. Эту проблему усиливает проблема больших данных вследствие их больших объемов и большого количества связей. Существует проблема внутрисетевого управления для сложных распределенных систем.

Для сложных распределенных систем эффективно только интеллектуальное управление, которое основывается на нейротехнологиях, эволюционных технологиях [13].

Синергия вычислительных и физических компонентов киберфизических систем обеспечивает совместную работу элементов кибернетического и физического пространств, интегрируя вычислительные ресурсы через Интернет и облачные технологии.

Киберфизические системы объединяют информацию от интеллектуальных датчиков, распределенных в физической среде, для принятия управленческих решений.

Киберфизические системы осуществляют вычислительные процедуры в своей распределенной структуре, на основании информации от интеллектуальных датчиков делают возможным реконфигурировать в зависимости от условий потоки информации в сети. Таким образом, киберфизические системы представляют собой распределенные системы с возможностью интеллектуальной обработки и реконфигурации потоков за счет интеллектуального управления [14].

Заключение

Нелинейность и неравномерность развития мирового сообщества под влиянием глобализационных процессов на современном этапе развития связана с четвертой промышленной революцией, созданием новых технологий Интернета-вещей, основой которой являют-

ся киберфизические системы. Рассмотренные проблемы развития и создания киберфизических систем в соответствии с достижениями и современными концепциями применения компьютерных, информационных и телекоммуникационных технологий свидетельствуют о том, что данные системы будут в дальнейшем основой *smart*-экономики.

Описанные составляющие киберфизической системы и наработки в их создании имеют свое дальнейшее развитие.

Сформированные проблемы построения киберфизических систем и предложенные принципы построения аппаратно-программной платформы для создания прикладных киберфизических систем требуют необходимости их дальнейшего развития.

Сейчас крайне важно ускоренно развивать фундаментальные исследования в области общей теории интеллектуальных информационных технологий, что позволит создавать классы новых перспективных технологий, активно взаимодействующих с внешней средой и ее объектами.

Основу таких технологий должны составлять: речевые технологии для условий естественных сред; технологии массового применения для обработки текстовой информации, распознавание и использование знаний; высокодинамичные технологии содержательного анализа информации в компьютерных сетях и их фильтрация; технологии постановки и решения задач по ранее заданным алгоритмам, интеллектуальные технологии в решении проблем «умное предприятие», «умный дом», «умный город», «умный транспорт», «умное здравоохранение», «умная школа» и пр.

Развитие работ по проблемам интеллектуализации требует, чтобы перспективные средства переработки информации наряду с вычислительной платформой располагали платформой мышления.

В создании такой платформы решающую роль сыграют теория образного мышления и теория активного распознавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко В.И. Информационные технологии: прогресс, новации. Вісн. НАН України, 2014. № 5. С. 78–80.
2. Дятлов С., Селищева Т., Марьяненко В. Информационно сетевая экономика: структура, динамика, регулирование. Санкт-Петербург, Астерион, 2008. 416 с.
3. Смородинская Н.В. Глобализированная экономика: от иерархий к сетевому укладу. М.: Институт экономики РАН, 2015. 344 с.
4. Гриценко В.И., Тимашова Л.А. Интеллектуальные сенсорные системы — техническая основа «Умного предприятия» цифровой экономики. УСиМ, 2017, № 1, С 19–25.
5. William Stallings The Internet of Things: Network and Security Architecture. The Internet Protocol Journal. Volume 18. N 4, Dec. 2015, P. 2–24.
6. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и киберфизические системы. Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 2 (19). С. 86–92.
7. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления. Государственный советник. 2017. № 1. С. 10–15.
8. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике. Финансовый бизнес. 2012. №6. С. 40–43.
9. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. М.: МАКСПресс, 2016. 64 с.
10. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. 2014. № 806. С. 154–161.
11. Цветков В.Я. Киберфизические системы. Int. J. of Applied and Fundamental Research, 2017, № 6, p. 64–65.
12. Гриценко В.И., Урсатыев А.А. Большие Данные и инструментарий для аналитики. УСиМ. 2017. № 4. С. 3–14.
13. Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Зайченко С.А., Гуреев Б.Н., Шляхтун М.М. Киберфизические структуры для анализа больших данных. Радиоэлектроника и информатика. 2015. № 2. С. 25–29.
14. Shen Yin, Okyay Kaynak. Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]. Proceedings of the IEEE, Vol. 103, N. 2, Feb. 2015. P. 143–146.

Поступила 30.04.2019

REFERENCES

1. Gritsenko, V.I., 2014. "Informatsionnyye tekhnologii: progress, novatsii". Visn. NAN Ukrainy, N5, pp. 78–80. (In Ukrainian).
2. Dyatlov, S., Selishcheva, T., Mar'yanenko, V., 2008. Informatsionno setevaya ekonomika: struktura, dinamika, regulirovaniye. Sankt-Peterburg, Asterion, 416 p. (In Russian).
3. Smorodinskaya, N.V., 2015. Globalizirovannaya ekonomika: ot iyerarkhiy k setevomu ukladu. M.: Institut ekonomiki RAN, 344 p. (In Russian).
4. Gritsenko, V.I., Timashova, L.A., 2017. "Intelligent Sensor Systems is a Technical Basis for the Smart Enterprise of the Digital Economy". Upravlausie sistemy i masiny, 1, pp. 19–25. (In Ukrainian).
5. Stallings, W., 2015. "The Internet of Things: Network and Security Architecture". The Internet Protocol Journal. V.18, N4, pp. 2–24.
6. Kudzh, S.A., Tsvetkov V.YA., 2017. "Setetsentricheskoye upravleniye i kiberfizicheskiye sistemy". Obrazovatel'nyye resursy i tekhnologii, 2 (19), pp. 86–92. (In Russian).
7. Rozenberg, I.N., Tsvetkov, V.Ya., 2017. "Kriterii vybora subsidiarnogo upravleniya". Gosudarstvennyy sovetnik, 1, pp. 10–15. (In Russian).
8. Tsvetkov, V.Ya., 2012. "Primeneniye printsipa subsidiarnosti v informatsionnoy ekonomike". Finansovyy biznes, 6, pp. 40–43. (In Russian).
9. Deshko, I.P., 2016. Informatsionnoye konstruirovaniye: Monografiya. M.: MAKSPress, 64 p. (In Russian).
10. Mel'nik, A.O., 2014. "Kiberfizichni sistemi: problemi stvorenniya ta napryami rozvitku". Visn. Nats. un-tu "Lviv'ska politekhnika". Komp'yuterni sistemi ta merezhi, 806, pp. 154–161. (In Ukrainian).
11. Tsvetkov, V.Ya., "Kiberfizicheskiye sistemy". Int. J. of Applied and Fundamental Research, 6, pp. 64–65. (In Russian).
12. Gritsenko, V.I., Oursatyev, A.A., 2017. "Big Data and Tools for Analytics". Upravlausie sistemy i masiny, 4, pp. 3–14. (In Ukrainian).

13. *Khakhanov, V.I., Litvinova, Ye.I., Zaychenko, S.A., Gureyev, B.N., Shlyakhtun, M.M.*, 2015. “Kiberfizicheskiye struktury dlya analiza bol'shikh dannykh”. *Radioelektronika i informatika*, 2, pp. 25–29. (In Ukrainian).
14. *Shen, Yin, Okyay, Kaynak*, 2015. “Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends”, *Proceedings of the IEEE*, 103 (2), pp. 143–146.

Received 30.04.2019

V.I. Gritsenko, Corresponding Member of the Ukrainian Academy of Sciences, Director,
International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS
of Ukraine and of the MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine,
vig@irtc.org.ua

L.I. Bazan, PhD (Econ.), Associate Professor,
International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS
of Ukraine and of the MES of Ukraine, 40, Acad. Glushkov ave., Kyiv, 03187, Ukraine,
bazmil@ukr.net

O.L. Yershova, Ph D (Econ.), Docent, Senior Research Associate,
National Academy of Statistics, Accounting and Audit of Ukraine,
1, Podgornaya str., Kyiv, 04107, Ukraine,
bogi2003@ukr.net

CYBER PHYSICAL SYSTEM – DISTRIBUTED SYSTEM OF INTELLIGENT CONTROL

Introduction. Rapidly developing globalization processes necessitated the creation of such systems that will ensure the selection of information from the point of its origin, its processing, analysis and transfer on demand to different levels of management in order to develop the necessary control decisions. The fourth industrial revolution highlights the demand for free access to information that can be provided by reliable high-speed communication systems. Internet of Things is the technological basis of the cyber-physical system, which combines the physical processes of production, transport, medicine with embedded systems (sensors, controllers, sensors) for continuous real-time control.

The purpose of this article is to analyze the impact of globalization processes on the development of modern information technologies, which is caused by an increase in the flow of data. The development of information and communication technologies and especially the Internet create conditions for ensuring the transfer of data from the point of their origin to their consumers, regardless of its location, which led to the emergence of cyber-physical systems as the basis of a smart economy.

Methods. The applied methods of hierarchical, matrix, situational and network-centric management do not provide effective control in distributed systems with the need to transfer large amounts of data. The necessity of parallel and asynchronous processing of information in the cyber-physical system at the subsidiary level is justified.

Results. The distinctive features of cyber-physical systems from the existing process control systems are indicated.

Conclusion. Subsidiary control in the cyber system in the presence of intelligent nodes in the form of sensors based on intelligent data processing is an intelligent control.

Keywords: *cyber-physical system, distributed system, Internet of Things technology, network-centric and subsidiary management, intellectual management.*

В.І. Гриценко, член-кореспондент НАН України, директор,
Міжнародний науко-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03287, Україна,
vig@irtc.org.ua

Л.І. Бажан, к.е.н., старш. наук. співроб., зав. відділом економіко-соціальних систем та ІТ,
Міжнародний науко-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03287, Україна,
bazmil@ukr.net

О.Л. Єршова, к.е.н., доцент, проф., старш. наук. співробітник, зав. кафедрою
економіко-математичних дисциплін та ІТ, Нац. академія статистики, обліку та аудита
Держстату України, вул. Підгірна, 1, Київ, 04107, Україна,
bogi2003@ukr.net

КИБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА — РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Вступ. Глобалізаційні процеси, які стрімко розвиваються, зумовили необхідність створення таких систем, які повинні забезпечити зняття інформації з точки її виникнення, обробку, аналіз і передачу за вимогою на різні рівні управління з метою вироблення необхідних управлінських рішень. Четверта промислова революція висуває на перший план вимогу вільного доступу до інформації, що може бути забезпечено надійними високошвидкісними системами зв'язку. Технологія Інтернету-речей є технологічною основою кіберфизичної системи, яка об'єднує фізичні процеси виробництва, транспорту, медицини з вбудованими системами (датчиками, контролерами, сенсорами) для безперервного управління в режимі реального часу. Визначено відмінні риси кіберфизичних систем від існуючих АСУ ТП.

Мета статті — аналіз впливу глобалізаційних процесів на розвиток сучасних інформаційних технологій, що обумовлюється збільшенням потоку даних. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій і особливо Інтернету створюють умови для забезпечення передачі даних від точки їх зародження до споживача, незалежно від місця його знаходження, що зумовило появу кіберфизичних систем як основи розумної економіки.

Методи. Методи ієрархічного, матричного, ситуаційного та мережевоцентричного управління, які застосовуються, не забезпечують ефективного управління в умовах розподілених систем з необхідністю передачі великих обсягів даних. Обґрунтована необхідність паралельної і асинхронної обробки інформації в кіберфизичній системі на субсидіарному рівні.

Результати. Вказано відмінні риси кіберфизичних систем від існуючих АСУ ТП. Обґрунтована необхідність паралельної і асинхронної обробки інформації в кіберфизичній системі на субсидіарному рівні.

Висновки. Субсидіарне управління в кіберфизичній системі при наявності інтелектуальних вузлів у вигляді сенсорів на основі інтелектуальної обробки даних є інтелектуальним управлінням.

Ключові слова: кіберфизична система, розподілена система, технологія Інтернет-речей, мережевоцентричне та субсидіарне управління, інтелектуальне управління.