

**Ключевые слова:**

Интернет вещей, Индустрия 4.0, нейронные сети, техносфера, нейроинтеллектуализация, нейродиагностика

**Keywords:**

Internet of Things, Industry 4.0, neural networks, Technosphaera, neuro intellectualization, neurodiagnostics

# «ИНДУСТРИЯ 4.0»: НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ

**Михаил КИСЕЛЕВ, Сергей НОВИКОВ**

Рассмотрены системные проблемы реализации концепции «Индустрия 4.0», управления информационно-телекоммуникационными сетями, объединяющими производственные объекты. Высказано предположение о том, что техническая реализация концепции «Индустрия 4.0» наиболее эффективна в случае применения нейронных сетей.

The article considers systemic problems of implementing the concept of «Industry 4.0», management of information and telecommunications networks, uniting production facilities. It is suggested that the technical implementation of the «Industry 4.0» concept is the most effective in the case of application of neural networks.

Внутренняя логика процесса прогрессирующего развития индустриально-промышленного производства и самого человеческого сообщества приводят к закономерному возникновению, а затем и попыткам реализации новой концепции выпуска продукции без непосредственного участия человека. Основой этой концепции стало появление Интернета вещей. В настоящее время мир находится на пороге новой промышленной революции — четвертой по счету, которая должна серьезно увеличить производительность труда в развитых странах и привести к более высокому темпу роста ВВП в Европе и США. Развиваемый подход предполагает включение всех единиц технологического оборудования в общую информационно-телекоммуникационную сеть, связывающую их функционально, регламентирующую одновременно и 3D-проектирование, и энергообеспечение технологических операций, и последовательное пооперационное перемещение обрабатываемых деталей и сборочных единиц по необходимым маршрутам, а также последующий маркетинг и послепродажное обслуживание и т.д.

Представленный выше вариант «безлюдного» промышленного производства по существу соответствует основам построения «Индустрии 4.0» (подробнее об «Индустрии 4.0» см.: СТАНКОИНСТРУМЕНТ, 2016, № 1. С. 10–17).

Данный подход характеризуется экспоненциальным ростом числа измерительных операций и соответственно различных несущих информацию данных [1]. При этом данные, наравне с людьми, технологиями, капиталом становятся одним из основных активов корпораций, а зачастую самым главным. Умение извлекать информацию из данных становится залогом конкурентного преимущества, а сбор, анализ и обеспечение безопасности информации — новой задачей бизнеса. Показательно, что крупнейший ученый в области информационно-коммуникационных технологий профессор Марк Иосифович Кривошеев на последнем заседании Международной академии связи,



состоявшемся 3 марта 2016 года, отметил, что «нам предстоит серьезная задача разобраться, что делать с этими терабайтами информации, генерируемыми Интернетом вещей».

В Европе и США «Индустрии 4.0» уделяют самое серьезное внимание. Например в Германии с 2011 года действует правительственная программа «Industrie 4.0», на которую планируется потратить 200 млн. евро. На эти деньги, в частности, в центре Германии вокруг городов Билефельд и Падерборн создан кластер под названием «it`s OWL» (Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe) – промышленный аналог “Кремниевой долины”. Он сейчас объединяет 173 компании, которые должны отрабатывать на практике концепцию «умных фабрик». На заводе компании Siemens в Амберге нет почти ни одного человека [2].

Заслуживает внимания опыт компании Harley-Davidson: на ее новом заводе в Йорке каждый станок подключен к общей системе, а данные с установленных на нем датчиков анализируются в реальном времени. Контролируются и внешние параметры: температура воздуха в помещениях, влажность, частота вращения вентиляторов и т.д. Таким образом, все производство находится под контролем, время проведения каждой операции известно с точностью до секунды (без этого просто невозможно было бы выпускать по мотоциклу каждые полторы минуты), возможные проблемы с оборудованием или компонентами решаются до того, как станут реальными и затормозят рабочий процесс. Внедрение решений в области Интернета вещей позволило сделать завод в Йорке весьма компактным: вместо 41 здания площадью 139 тыс. кв. м сейчас эксплуатируются всего два общей площадью 60 тыс. кв. м. Число сотрудников сократилось на 30% и упростилось штатное расписание – вместо 62 типов рабочих позиций осталось пять, затраты на производство уменьшились на 7%, чистая прибыль возросла на 19%. В результате акции компании выросли с 10 долл. в 2009 году до 70 долл. в 2015 году. Впечатляет и сам факт изготовления всего за шесть часов мотоцикла премиальной марки, созданного под конкретного покупателя. Такой подход к клиенту, когда он, заказав мотоцикл у дилера, может через несколько часов на заводе забрать его с конвейера, позволил компании не только улучшить свои финансовые показатели, но и увеличить и без того высокую лояльность покупателей к марке Harley-Davidson [3].

Если «Индустрия 4.0» реально заработает, то она, согласно оценкам Всемирного банка и General Electric, может добавить мировому ВВП 30 трлн. евро. Все это будет сопровождаться потрясениями на рынке труда: не только многие рабочие, но и менеджеры останутся без работы [2].



Реализация концепции «Индустрия 4.0», по нашему мнению, означает фактически вызов «живому» (биосфере) со стороны «неживого» (техносферы), надеющегося приобрести средствами науки и техники столь привлекательные «эксплуатационные» преимущества «живого». Последнее же получило эти свои преимущества (способность к адаптации при изменении внешних условий и деградации собственных параметров, высокий уровень надежности и выживаемости в критических ситуациях) и обладает способностью к дальнейшему совершенствованию благодаря длительному (миллионы лет) естественному отбору. Эффективности этого процесса способствуют биофизические факторы. Защитные механизмы здесь включаются на молекулярном и клеточном уровнях, а точность химических реакций, ответственных за обмен веществ в клетках, на порядки превышает точность поддержания параметров режимов в технических устройствах.

Единство филогенеза и онтогенеза, воплощенное в сочетании восприимчивости и устойчивости генетических кодов, обеспечивает надежность и выживаемость биосферы, функционирующей таким образом на основе принципов и механизмов самоорганизации.

Иначе складывается судьба объектов техносферы. Они не обладают врожденными эффективными «генетически» заложенными способностями к собственному самосовершенствованию, жизнеобеспечению, то есть к своего рода «сознательному» самосовершенствованию и поддержанию своего технического состояния. Применяемые в технике средства измерительного контроля и диагностики, основанные, как правило, на процедурах низкого и среднего метрологического уровня, не обеспечивают достоверной оценки ни их технического состояния, ни остаточного ресурса.

Поэтому, например, появление при переходе к «Индустрии 4.0» потоков локальных отказов

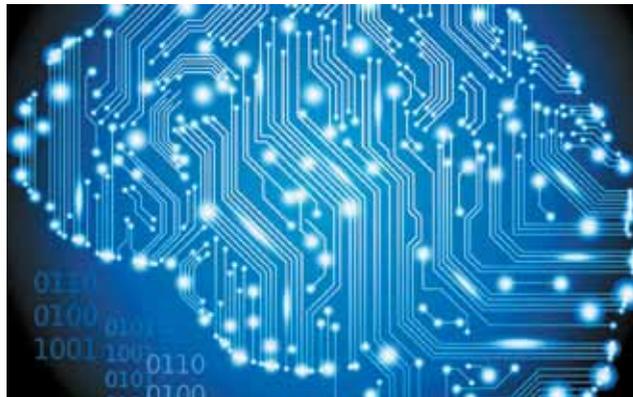
подключенного к сети технологического оборудования, а также аппаратуры в информационных каналах связи и т.п. вполне закономерно осложняет развитие данной концепции. Попытки усилить прогнозирующий контроль системы путем наращивания количества датчиков только усугубляют возникающие трудности, усиливают информационный коллапс.

Возникает вопрос: адекватно ли в сложившейся ситуации информационное обеспечение функционирования подобной системы на основе программируемых вычислительных средств дискретного действия?

Отметим, что в ряде практически важных ситуаций случайный разброс наблюдаемых величин оказывается сопоставимым с дискретой (ценой деления) средства измерения. Это связано с тем, что в настоящее время с развитием требований к качеству технологических процессов в машиностроении, приборостроении и других областях возникает противоречие: с одной стороны, повышение точности требует увеличения частоты дискретизации отсчетов, с другой — происходит повышение случайной составляющей относительно полезного сигнала. Для таких наблюдений в работе [4] введено понятие «сильно дискретизованных». При этом дальнейшее уменьшение размера дискреты либо невозможно из-за достижения технологических пределов, либо слишком затратно с экономической точки зрения. С другой стороны, исключить или существенно снизить случайную составляющую при проведении измерений в реальных условиях также либо невозможно, либо экономически затратно. Возникает противоречие, которое приводит к ограничениям точности измерений. Отметим, что выбор разрядности аналого-цифровых преобразователей — стандартная задача при проектировании изделий цифровой электронной техники. Однако на практике приходится искать компромисс между такими характеристиками АЦП, как разрядность, быстродействие, надежность и стоимость, поэтому уменьшение дискретности АЦП имеет свои пределы [4].

На наш взгляд, техническая реализация концепции «Индустрия 4.0» потребует применения нейронных сетей. По сравнению с обычными сетями, нейронные обнаруживают следующие замечательные свойства:

→ применение вместо обязательного при пользовании компьютерами предварительного составления детальных, предусматривающих все возможные ситуации программ, обучающей выборки, содержащей набор характерных примеров, обеспечивает достижение интеллектуальной инициативы, своего рода «смекалки» само-



организующихся нейронных сетей, что демонстрирует их явное преимущество над пунктуальными, исполнительными, но не предпримчивыми компьютерами;

- обеспечение параллельности работы нейронных сетей, резко повышающей эффективность их применения, органично их природе и реализуется непринужденно, в то время как создание суперкомпьютеров, объединяющих десятки и даже сотни тысяч процессоров, встречает колоссальные затруднения;
- нейронные сети, как и мозг человека, устойчивы и живучи по отношению к выходу из строя даже значительного количества элементов, в то время как отказ всего нескольких из сотен миллионов логических элементов в компьютере вызывает его выход из строя [5].

Принципы нейроинтеллектуализации уже нашли применение в отечественной практической космонавтике. Здесь примером нового подхода к совершенствованию управления сложным техническим объектом может служить нейросетевое обеспечение бортовых комплексов управления малых космических аппаратов, предназначенных для обеспечения экологического мониторинга Земли, гидрометеорологического обеспечения обнаружения и контроля чрезвычайных ситуаций. Установлено, что повышение автономности функционирования бортовых комплексов нейросетевое обеспечение дает выигрыш в динамической и интегральной производительности до 50–70% [6, 7].

Более того, совершенствование бортовой системы ориентации такого спутника на основе нейросетевой обработки изображения звездного неба позволило сократить время опознавания группы навигационных звезд с 6 с до 14,95 мкс [8]. Упомянутая здесь система распознавания звезд реализована на нейроплате Neuro Matrix NM 6403, выпущенной отечественной промышленностью (АО НТЦ «Модуль») [8].

Перспективы совершенствования элементной базы нейронных сетей открываются в связи с раз-

работкой мемристоров — резисторов с памятью, способных обеспечить создание резистивной памяти открытого доступа, в ячейках которой данные сохраняются не за счет электрического заряда, а благодаря изменению сопротивления материала [9].

Практическая реализация концепции «Индустрия 4.0» означает создание самоорганизующейся системы. Реализуя свой подход, биосфера «выбрала» путь использования не дискретных, а аналоговых принципов. Элементной базой, реализующей интеллект человека, явились нейроны, способные обеспечить анализ, импровизацию, ассоциации и другие функции мышления. В работе [10] рассмотрены вопросы нейродиагностики и прогнозирования работоспособности оборудования электроприводов. Износ оборудования электроприводов ухудшает статические и динамические характеристики, а иногда приводит и к аварийным ситуациям. При помощи нейронных сетей удастся своевременно предсказать отклонения рабочих параметров, сравнить их с аварийными отклонениями и сделать вывод о работоспособности оборудования электроприводов.

Также активно исследуются вопросы создания нейросетей с использованием биологических компонентов — биологических нейросетей. В работах [11, 12] представлены некоторые аспекты передачи информации с помощью бактерий, а в [13] рассмотрена возможность использования кальциевого обмена между клетками для передачи информации.

Исследования в области применения биологических компонентов для создания телекоммуникационной сети не ограничиваются рассмотренными выше. В целом, основываясь на анализе литературных данных в работе [14] сделан вывод, что построение телекоммуникационной сети на основе живых организмов вполне реально.

Практическое решение проблемы внедрения «Индустрии 4.0» невозможно без проведения фундаментальных научных исследований. Опыт организации подобных работ в СССР показывает, что во главе основных направлений развития станкостроения стояли академики АН СССР. Так, например, Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС) возглавлял академик АН СССР В.И. Дикушин. Под его руководством была разработана система агрегатирования станков для обработки тел вращения в автоматических линиях. Академик Дикушин был одним из инициаторов создания Института машиноведения РАН, почти два десятилетия руководил Комиссией по технологии машиностроения. Роторно-конвейерные линии были разработаны под руководством Л.Н. Кошкина, акаде-

мик АН СССР. Академик АН СССР Н.Н. Рыкалин занимался лазерными, электронно-лучевыми и плазменными технологиями. Можно привести и другие примеры.

Остается заметить, что при этом заслуживает внимания и проблема взаимодействия человека с машиной. Качественно новые стороны далеко не новой проблемы взаимодействия в системе «человек — машина» особенно отчетливо проявляются в современной авиации — на переднем крае, в полном смысле этого слова, научно-технического прогресса. Оказалось, как пишет в своей статье [15] видный специалист в области медико-биологических проблем авиации, генерал-майор медицинской службы, доктор медицинских наук, профессор психологии летного труда Владимир Александрович Пономаренко, что при создании боевых самолетов пятого поколения главное — инженерно-психологические вопросы готовности авиации к новому прорыву. Основным направлением признано снижение уровня аварийности, связанной с ошибками человека, за счет повышения эргономичности кабин и рабочих мест, обеспечения возможности принимать интеллектуальные решения, особенно в нестандартных условиях. Преимуществом самолетов пятого поколения является их неуязвимость, обеспечиваемая сверхвысокой маневренностью. Однако реализация этого требования оборачивается воздействием сверхвысоких перегрузок на пилота, приводящих к потере ориентации, возникновению ложных ощущений и помех зрительному восприятию. Цитируемый выше В.А. Пономаренко делится своими впечатлениями: «Посетив авиационные базы ВВС и авиации ВМС США, я воочию убедился, с какой глубиной и пониманием отрабатываются вопросы по защите человека от опасных факторов в полете на самолетах пятого поколения. Уже сегодня в спецснаряжение вмонтированы датчики основных параметров состояния работоспособности, которые через спутниковую систему связи передают информацию на землю. Разработаны средства, защищающие голову и шею от ударных нагрузок. Внедрено принципиально новое высотное спецснаряжение. Командованием ВВС и ВМС США введена новая концепция: управление оружием через состояние человека. Только в авиации американских военно-морских сил идут разработки по 14 тыс. научных программ в шести научных центрах с общегодовым бюджетом 12 млрд. долл».

Очевидно, впереди очень много работы по развитию и совершенствованию производительных сил страны, перевода их на принципиально новый технологический уровень.

Все только начинается!!!

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Новиков С.В.* На пороге метрологической революции. — М.: МГТУ «МИРЭА»: Сб. трудов IV Международной конференции «ИТ-стандарт 2013», 2013 г. С. 322-326.
2. <http://kommersant.ru/doc/2912212>
3. <http://sap-planet.ru>
4. *Мастеренко Д.А.* Повышение точности информационно-измерительных систем автоматизированного производства на основе методов статистической обработки сильно дискретизированных наблюдений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук // М.: МГТУ «Станкин», 2015.
5. *Малинецкий Г.Г.* Чтоб сказку сделать былью... Высокие технологии — путь России в будущее. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 224 с.
6. *Ефремов В.В.* Нейросетевое обеспечение бортовых комплексов управления космических аппаратов наблюдения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. № 5. С. 26–32.
7. Нейрокомпьютеры в космической технике / *Под ред. В.В. Ефремова.* Кн. 17. — М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
8. *Аванесов С.А.* и др. Звездные координаторы системы ориентации космических аппаратов // Известия вузов. Приборостроение. 2003. Т. 46, № 4. С. 66–69.
9. *Петров А.* и др. На пути к нейроморфной мемристорной компьютерной платформе // Наноиндустрия. 2016. № 1(65). С. 94–107.
10. [http://www.rusnauka.com/13\\_NBG\\_2015/Matematics/4\\_192043.doc.htm](http://www.rusnauka.com/13_NBG_2015/Matematics/4_192043.doc.htm)
11. *Balasubramaniam S., Lio P.* Multi-Hop Configuration Based Bacteria Nanonetworks // IEEE Transactions on nanobioscience. March 2013. Vol. 12. № 1. P. 47–59.
12. *Gregori M., Akyildiz Ian F.* A New NanoNetwork Architecture Using Flagellated Bacteria and Catalytic Nanomotors // IEEE Journal on selected areas in communications. May 2010. Vol. 28, № 4. P. 612–619.
13. *Kuran M.S., Tagcu T., Edis O.* Calcium signaling overview and research directions of a molecular communication paradigm // IEEE Wireless Communications. October 2012. P. 20–27.
14. *Пирмагомедов Р.Я., Кучерявый Е.А.* и др. Живые организмы в киберпространстве — проект «Биодрайвер» // Электросвязь. 2016. № 1. С. 47.
15. *Пономаренко В.А.* Чем озадачит нас авиация нового тысячелетия. Проблема самолетов пятого поколения в государственном измерении // Независимое военное обозрение. 2016, № 10 (893) (18–20 марта 2016 года). Еженедельное приложение к «Независимой газете». С. 1, 8–9.

В статье использованы фото с сайтов:

<https://ru.pinterest.com>

<http://www.mediapapa.org>

<http://legocomp.ru/2015/01/iskusstvennyj-intellekt-i-obuchenie/>

**Михаил Иванович КИСЕЛЕВ —**

*доктор физико-математических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Сергей Васильевич НОВИКОВ —**

*кандидат технических наук, заместитель главного редактора журнала «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»*

## КОММЕНТАРИЙ ВЕДУЩЕГО УЧЕНОГО



**Георгий Геннадьевич Малинецкий —**

*доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук*

Статья посвящена крайне важной, актуальной и интересной проблеме — перспективе следующей технологической революции и возникновению «Индустрии 4.0», то есть производства, в котором человек избавлен не только от

тяжелой физической работы, но и от рутинной интеллектуальной деятельности.

Авторами представлен обзор крупных инновационных проектов, направленных на развитие Интернета вещей в странах — лидерах технологического развития. Особенно следует отметить большое внимание авторов к проблемам самоорганизации и к использованию нейронных сетей для построения таких промышленных комплексов. На мой взгляд, это — первая статья на русском языке, в которой настолько масштабно, содержательно и конкретно рассмотрен этот круг проблем. По сути, эта статья задает новую парадигму инженерной деятельности и ставит множество новых сложных проблем перед отечественной метрологией, а также перед разработчиками систем интеллектуального анализа данных. Считаю, что настоящая работа, безусловно, должна стать предметом обсуждения в нашем инженерном, образовательном и научном сообществах.