Сети, информация и знания – основные драйверы четвертой индустриальной революции (Industrie 4.0)

Networks, information and knowledge are basic drivers of the fourth industrial revolution (Industrie 4.0)

Малыгин / Malygin I.
Игорь Геннадьевич
(malygin_com@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГБУН Институт проблем транспорта РАН
(ИПТ РАН),
директор.
г. Санкт-Петербург

Комашинский / Komashinsky V.
Владимир Ильич
(kama54@rambler.ru)
доктор технически наук, доцент.
ИПТ РАН,
заместитель директора по научной работе.
г. Санкт-Петербург

Аванесов / Avanesov M.
Михаил Юрьевич
(avanesov@itain.spb.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
научный секретарь.
г. Санкт-Петербург

Комиссаров / Komissarov S.
Станислав Алексеевич
(vas-nic@yandex.com)
кандидат технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного),
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Сорокин /Sorokin K.
Константин Николаевич
(vas-nic@yandex.com)
ВАС им. С. М. Буденного,
адъюнкт.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: информационные технологии – information technologies; информационно-управляющие сети – information and control networks; транспорт – transport; индустриальная революция – industrial revolution; промышленное предприятие – industrial enterprise.

В статье рассмотрены основные черты новой индустриальной революции в сфере транспорта. Показано, что ключевой технологической платформой для новой индустриальной революции (независимо от сфер ее приложения) являются когнитивные информационно-сетевые технологии, интегрированные (точнее, конвергированные) с технологиями индустриального искусственного интеллекта. Отмечается также, что важным условием успешного проведения новой индустриальной революции является подготовка профессионалов, способных разрабатывать и создавать интеллектуальные промышленные инфраструктуры и поддерживать их эффективное функционирование и последующее развитие.

In the article, main features of new industrial revolution in the field of transport are discussed. There is shown that cognitive informational-networking technologies integrated (more precisely, converged) with technologies of industrial artificial intelligence constitute key technological platform for new industrial revolution (irrespective of sphere of its application). There is also noted that essential condition of successful realization of new industrial revolution consists in training of professionals being able to develop and create intelligent industrial infrastructures and maintain their effective functioning and subsequent progress.

В понятиях, связанных с экономическим и социальным развитием цивилизации, всегда подразумевается движение и перемещение людей, информации, знаний, сырья, товаров, услуг и других атрибутов развития [1]. Чем быстрее и в больших объемах могут перемещаться (посредством транспортных систем) в пространстве перечисленные атрибуты экономики, тем выше потенциальные темпы развития общества. В самом общем представлении, транспортные системы включают транспортные средства (автомобильные, авиационные, морские, железнодорожные и др.) и их транспортные магистрали (автодорожные, воздушные, водные, железнодорожные и др.). Значительная часть отмеченных атрибутов развития перемещается по различным транспортным магистралям посредством разнородных транспортных средств. Другими словами, ускорение развития транспортных инфраструктур естественным образом стимулирует ускорение развития экономики и общества в целом [2, 4].

Анализируя траекторию развития технологий построения транспортных средств и транспортных магистралей, трудно не заметить положительную ее корреляцию с траекторией развития информационных и телекоммуникационных технологий (в широком их смысле). Это объясняется, прежде всего, тем, что технологии построения транспортных систем являются информационно-емкими (для их реализации требуется некоторый, критичный объем информации и знаний). Например, для перехода от гужевого транспорта к паровозам и железным дорогам потребовалось несколько тысяч лет формирования технологий сбора, накопления и применения знаний в самых разных областях, прежде чем появилась возможность изобрести и внедрить технологии построения транспортных систем на паровой тяге.

Переход от паровых двигателей к двигателям внутреннего сгорания и современным транспортным системам произошел гораздо быстрее в связи с ускорением прогресса в области информационных, телекоммуникационных и индустриальных технологий и формированием новых, электронных методов получения, хранения, переноса и применения данных информации и знаний.

Особенностью наступающей постинформационной эпохи является усиление акцента на технологиях получения новых знаний и разработке способов их применения посредством специальных технических систем, получивших название искусственных когнитивных технических систем [1, 2]. Применительно к транспортной сфере эти технологии уже находят применение в рамках создания автономных (роботизированных) транспортных средств и интеллектуальных магистралей.

Совершенствование информационных и сетевых технологий (рис. 1) провоцирует, так называемые "Индустриальные революции" (рис. 2), которые всегда были и остаются ключевыми движущими силами развития национальных и глобальной экономик на протяжении последних двух столетий. Опыт прошедших лет свидетельствует о том, что смена индустриальной парадигмы не происходит в одночасье, она протекает последовательно шаг за шагом [5].

В этом контексте, очередная (рис. 2), четвертая индустриальная революция (Industrie 4.0) требует пристального внимания, эффективного управления и кропотливой совместной работы ученых, инженеров, экономистов и политиков. Анализ особенностей предшествующих индустриальных революций, их движущих сил и вызванных ими экономических и социальных последствий позволяет более осмысленно подойти к организации и проведению очередной – неоиндустриальной революции.

Первая индустриальная революция (см. рис. 2) началась с появления паровых двигателей, введения механического производственного оборудования и создания транспорта на паровой тяге (пароходов, паровозов и железных дорог).

Отличительной особенностью второй индустриальной революции стало широкое использование электричества и двигателей внутреннего сгорания с электрическим зажиганием, что привело к появлению электрического промышленного оборудования, конвейерной ленты, электротранспорта и широкого перечня электрифицированных бытовых изделий, а также нового поколения транспортных средств (автомобилей, мотоциклов, теплоходов, самолетов и т.д.).

Третья индустриальная революция характеризуется автоматизацией производственных процессов на основе широкого использования электроники, информационных и коммуникационных технологий, а также выпуском более совершенных компьютеризированных бытовых и промышленных изделий, автоматизированных транспортных систем – наземных, воздушных, морских, космическим (в том числе и автопилотных).

Основой наступающей четвертой индустриальной революции станет широкое использование элементов промышленного искусственного интеллекта и когнитивных информационно-управляющих системы. *Когнитивные индустриальные информационно-управляющие системы* призваны обеспечить сетевую интеграцию встроенных информационных структур и элементов искусственного интеллекта в объекты, материалы и машины, а также системы логистики, координации и управления процессами и их совместное сетевое взаимодействие [1-2].

Независимо от того, как будет происходить развертывание концепции Industrie 4.0 – революционно или эволюционно, ее реализация приведет существенному изменению парадигмы на промышленное производство, выпускаемую ею промышленную продукцию и экономику в целом [6, 7, 11, 13].

Основными движущими силами, приведшими к появлению концепции Industrie 4.0, явилось осознание научными, экономическими и политическими элитами

Рис. 1. Коэволюция информационных, индустриальных и транспортных технологий

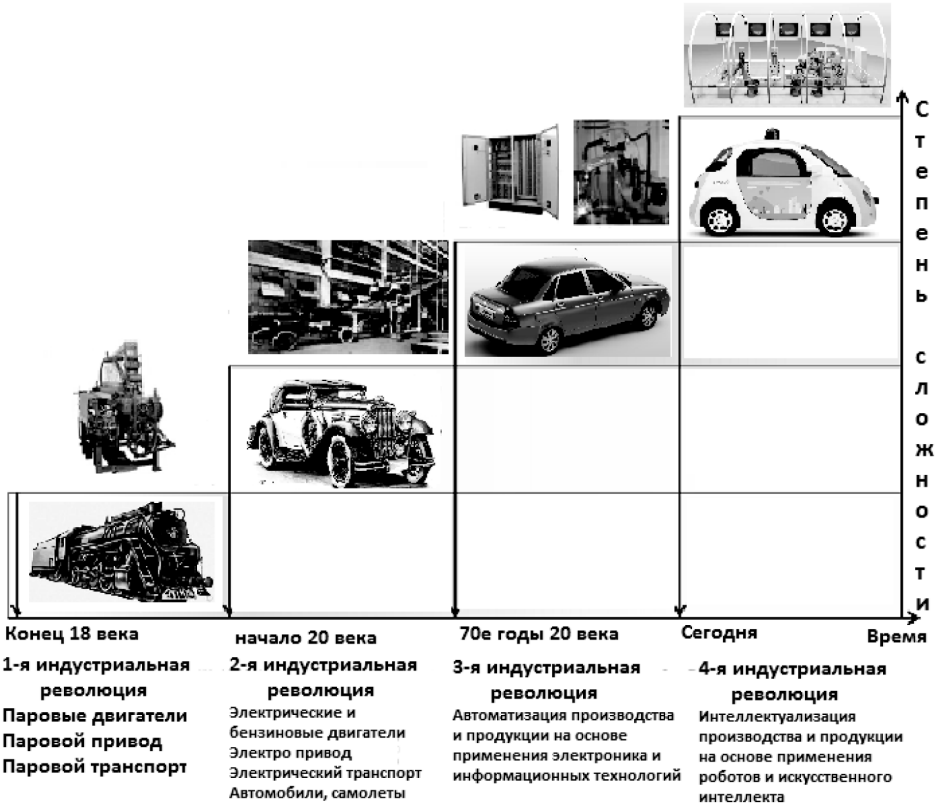

Рис. 2. Коэволюция индустриальных и автотранспортных технологий

ряда стран того, что важнейшими факторами и показателями научно-технического прогресса и уровня развития государства являются его достижения в области электроники, машиностроения и эффективного использования энергии.

Новые достижения в области электроники стали основой для совершенствования машиностроения, которое обеспечивает создание более технологичных и энерго-эффективных средств производства (станков, оборудования, приборов, машин, приспособлений), а также все более совершенной производимой с их помощью продукции.

То что доминирование в научно техническом развитии страны в условиях современной глобальной рыночной экономики является основой для достижения ею конкурентных экономических преимуществ, отчетливо проявилось в ходе трех предшествующих индустриальных революций, поэтому во многих странах осуществляется непрерывный поиск путей ускорения научного и индустриального развития.

В России (и ранее в СССР) этими проблемами традиционно занимается Академия наук, ведомственные НИИ, а также ВУЗы и НИИ министерства образования и науки. В прошлом, в СССР, координацией всех научных исследований занималась Академия наук, а произошедшая в последнее время потеря ею координирующих функции привела к снижению темпов проведения фундаментальных и прикладных научных исследований в стране и сползанию ее экономики на сырьевые рельсы. В последнее время в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) активно ведутся работы по созданию научно-технических основ построения интеллектуального индустриального производства и когнитивных транспортных систем и инфраструктур [1–4].

В США в 2011 году была организована промышленное партнерство (Advanced Manufacturing Partnership – AMP), которая объединяет представителей научно-исследовательских, деловых и политических кругов, с целью формирования курса на разработку новых технологий. В руководящий комитет AMP входят представители ведущих университетов (в том числе Массачусетского технологического института, Стэнфордского университета и института Беркли) и руководители ведущих американских предприятий (в том числе Caterpillar, Ford, Intel). Результатом работы AMP явились рекомендации по созданию национальной сети институтов инновационного производства (National Network of Manufacturing Innovation Institutes – NNMII), которая объединяет ведущие научно-исследовательские институты в целях повышения глобальной конкурентоспособности американских компаний с помощью инновационных технологий. В целом администрацией Б. Обамы на формирование передовых производственных технологий только в 2013 году было выделено более 2,2 млрд долларов [8].

Китай также прилагает большие усилия для достижения мирового технологического лидерства путем постоянного совершенствования своей промышленности. В частности, планы на 12-ю пятилетку (2011–2015) содержали семь «стратегических отраслей», включая высокотехнологичное промышленное оборудование и информационные технологии нового поколения. В секторе станкостроения, одним из ключевых приоритетов была разработка технологий «умного производства». Лидеры Китая на промышленное развитие выделили в рамках пятилетнего плана в общей сложности более 1,2 трлн евро [8].

В Европейском сообществе Германия является одной из первых стран, включившихся в гонку за мировое лидерство в инновациях [5–13]. Еще в 2006 году федеральное правительство Германии сформировало всеобъемлющую, амбициозную концепцию продвижения к мировому инновационному лидерству в интересах достижения конкурентных преимуществ в мировой экономике. С тех пор эта концепция периодически обновляется и непрерывно развивается. В своем нынешнем виде, высоко технологичные стратегии Германии включают десять перспективных инициатив [6], которые призваны решить социальные и технологические проблемы, там же сформулированы принципы достижения будущих успехов в различных областях жизни и определены необходимые для реализации инициатив области научно-исследовательской деятельности.

Одна из этих десяти инициатив получила название «Industrie 4.0» и посвящена построению перспективной автомобильной (и не только автомобильной) индустрии.

Важно отметить, что эта инициатива нашла поддержку в ЕС, в США и в Китае, в результате в настоящее время ими создан международный консорциум «Industrie 4.0» который призван консолидировать совместные усилия над его реализацией и стандартизацией будущих решений.

Для формирования единой терминологии, международный консорциум «Industrie 4.0» в 2013 году принял согласованное рабочее определение для «Industrie 4.0» в соответствии с которым под «Industrie 4.0» понимается [7, 8]: «Технологическая платформа для четвертой промышленной революции, обеспечивающая новый уровень организации и управление деятельностью всей цепочки создания стоимости на протяжении всего жизненного цикла произведенной промышленной продукции. Этот цикл направлен на удовлетворение индивидуализированных пожеланий клиентов и охватывает все этапы производства, включая формирование идеи, разработку, изготовление, доставку продукта потребителю, утилизацию после завершения жизненного цикла и оказание сопутствующих услуг (технического обслуживания). Продуктивность Industrie 4.0

опирается на полноте, достоверности и доступности требуемой для производства информации в режиме реального времени, которая предоставляется через индустриальные информационно-управляющие сети всем исполнительным устройствам, включенным в цепочку создания стоимости, и обеспечивает при этом оптимальное использование производственных ресурсов. Сетевое подключение людей, объектов и систем создает широкие возможности для самоорганизации и многокритериальной оптимизации производства в реальном масштабе времени по таким показателям, как наличие, расход и потребление производственных ресурсов».

*Для более отчетливого рассмотрения изменений, ожидаемых при переходе к «*Industrie 4.0*»,* целесообразно рассмотреть инфраструктурные особенности (см. рис. 3), характерные для текущей индустрии (в соответствии с используемой терминологией – «Industrie 3.0»).

Нужно отметить что «Industrie 3.0» отличается от «Industrie 2.0» широкой автоматизацией производственных процессов на основе применения программируемых логических контроллеров (PLS) и индустриальных информационно-управляющих сетей (рис. 4).

На информационном уровне (рис. 4.) осуществляется формирование, хранение и распределение информационных моделей изделий (например, судов и локомотивов, автомобилей, самолетов, и т.д.) и алгоритмов их преобразования в промышленные изделия, материализуемые на уровне устройств.

На уровне управления осуществляется распределение и контроль выполнения задач (детализированных информационных моделей) между логически взаимосвязанными группами производственных объектов (через сети подуровня систем), распределение задач и управление различными исполнительными устройствами (роботами, станками, инструментами и т.д.) посредством сетей подуровня объектов.

На уровне устройств обеспечивается выполнение физических действий (в соответствии с информационными моделями) на основе преобразования предоставленных ресурсов (информационных, материальных и энергетических) в конечную продукцию.

Как следует из рис. 3 и рис. 4, в *индустриальных информационно-управляющих сетях можно выделить две логические плоскости: плоскость персонала и плоскость машин.*

Плоскость персонала является доминирующей в процессах разработки (информационных моделей продукции и алгоритмов их преобразования в промышленные изделия), построения (формирования промышленной инфраструктуры) и управления (процессом производства изделий).

Иными словами, в ходе третьей индустриальной революции – «Industrie 3.0», были алгоритмизирована и автоматизирована (передана техническим устройствам) значительная часть физических тяжелых действий людей, задействованных в индустриальном производстве, при этом интеллект людей оставался незаменим на всех этапах жизненного цикла промышленных предприятий (и создаваемых ими изделий). Необходимо еще раз подчеркнуть, что базовой платформой, на которой была проведена третья индустриальная революция, явились новые (на то время) информационно-сетевые технологии.

Существующая в настоящее время (см. рис. 3. и рис. 4.) жесткая иерархическая архитектура системы автоматизированного управления промышленным предприятием (в рассматриваемом случае, занимающегося выпуском автомобилей) определяет жесткую после-

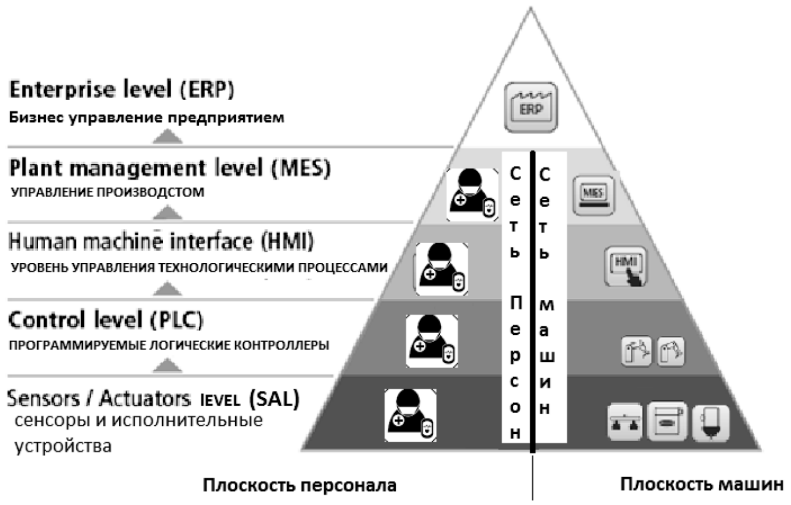

Рис. 3. Иерархическая архитектура существующей системы автоматизированного управления промышленным предприятием

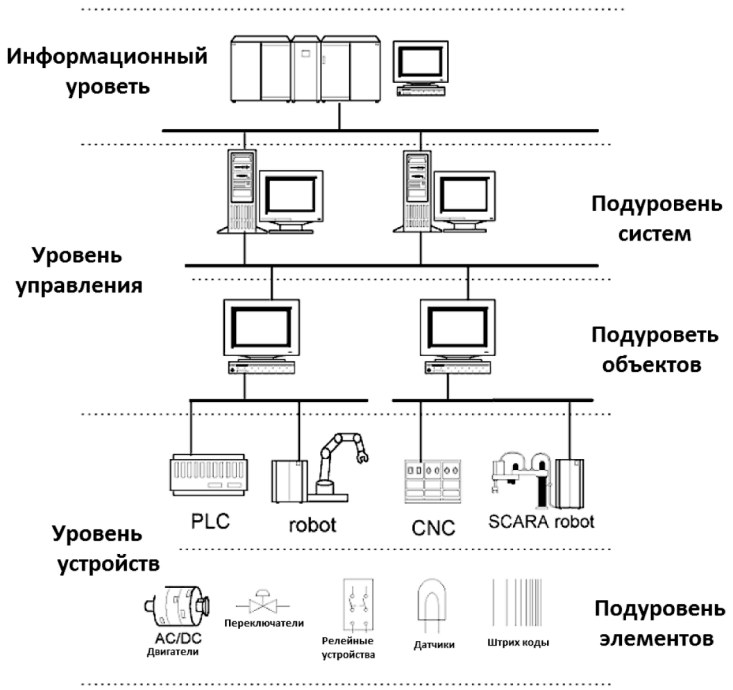

Рис. 4. Обобщенная архитектура современных индустриальных информационно-управляющих сетей

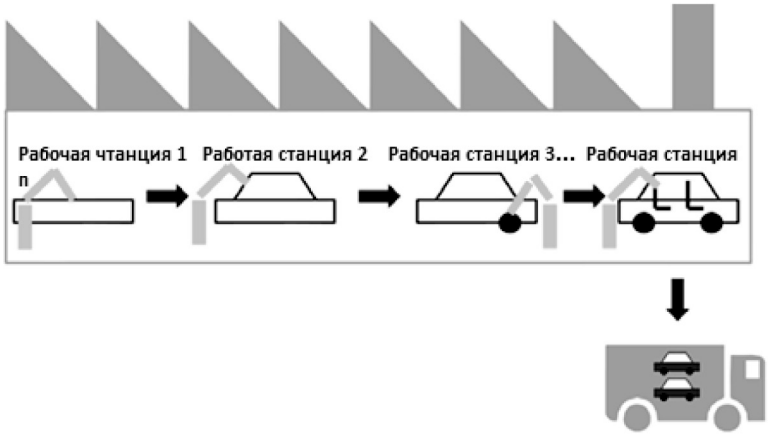

Рис. 5. Выполнение работ на существующей производственной линии

довательную процедуру выполнения работ (рис. 5). В таких условиях переход на выпуск новой или модифицированной продукции достаточно сложен, поскольку требует введения корректировок на всех уровнях архитектуры (см. рис. 3. и рис. 4.). При этом индивидуальные требования клиента не всегда могут быть удовлетворены, например практически нет возможностей по установке компонент из другой группы продукции, изготавливаемых в этой же компании.

Отличительной особенностью новой индустриальной эпохи – «Industrie 4.0» является постепенный перенос (передача) части интеллектуальных функций (ранее поддерживаемых только людьми), специальным техническим (когнитивным) индустриальным системам.

Поэтому в процессе реализации концепции «Industrie 4.0» потребуется, прежде всего, создание плоскости специализированной когнитивной инфокоммуникационной сети персонала (левая часть рис. 6), которая предназначена для предоставления ему точных контекстных декларативных и процедурных промышленных знаний в реальном масштабе времени. И только после этого у персонала появляются возможности формирования плоскости индустриальной когнитивной информационно-управляющей сети (правая часть рис. 6) и загрузки (передачи) индустриальных знаний (первичных) для промышленного оборудования.

Обобщенная архитектура перспективной когнитивной индустриальной информационно-управляющей сети представлена на рис. 7.

Таким образом, система управления интеллектуальным промышленным предприятием включает когнитивную плоскость людей (в составе интеллектуальных прикладных процессов и баз знаний для обслуживающего персонала) и когнитивную плоскость машин (в составе информационных приложений, промышленных операционных систем и промышленного интеллекта).

Логическая архитектура (рис. 6) открывает широкие возможности не только для существенного повышения эффективности производственного процесса, но и для функциональных и качественных характеристик выпускаемой продукции (на счет ее интеллектуализации).

В частности, автоматизированные производственные линии (рис. 5), используемые в настоящее время в рамках концепции Industrie 3.0, трансформируются в ходе реализации концепции Industrie 4.0 в интеллектуальные производственные сети (рис. 8) при этом каждое изготавливаемое изделие (в нашем случае – автомобиль) может перемещаться (коммутироваться) в пределах завода. Такая динамически реконфигурируемая производственная сеть позволяет смешивать и сочетать оборудование, которым оснащается каждый автомобиль (рис. 8), в соответствии с конкретной модификацией и комплектацией модели или на основе индивидуальной комплектации, выбранной по предзаказу в автосалоне конкретным покупателем (что характерно для немецких автоконцернов). Кроме того, индивидуальные вариации в изделии могут быть реализованы на любом этапе производства в ответ на обнаруженные технические проблемы или для внедрения очередных инновационных решений.

Как было отмечено ранее, отличительной особенностью каждой индустриальной революции, являлось не только повышение производительности и качества труда,

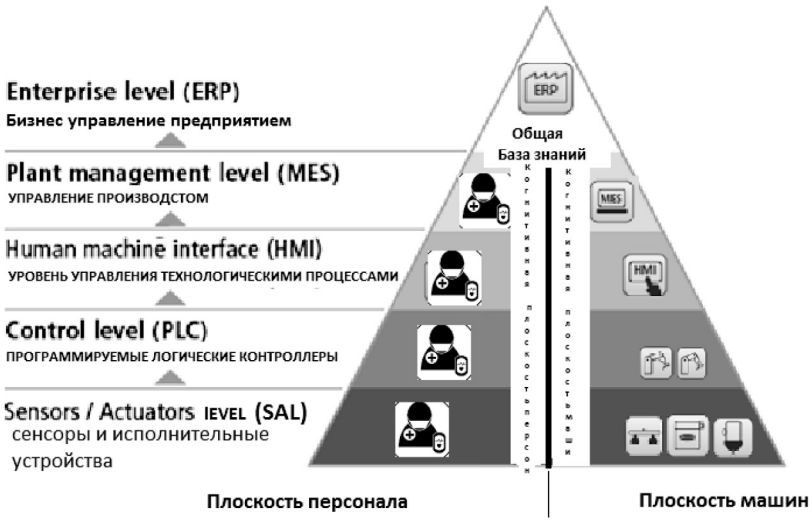

Рис. 6. Иерархическая архитектура перспективной системы интеллектуального управления промышленным предприятием

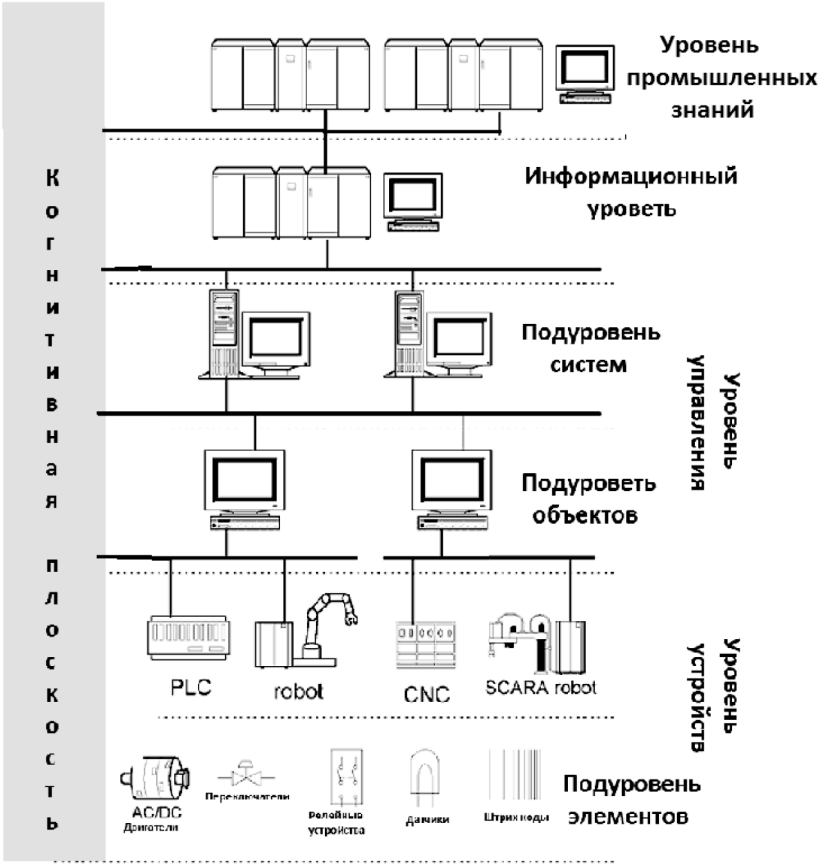

Рис. 7. Обобщенная архитектура перспективной когнитивной индустриальной информационно-управляющей сети

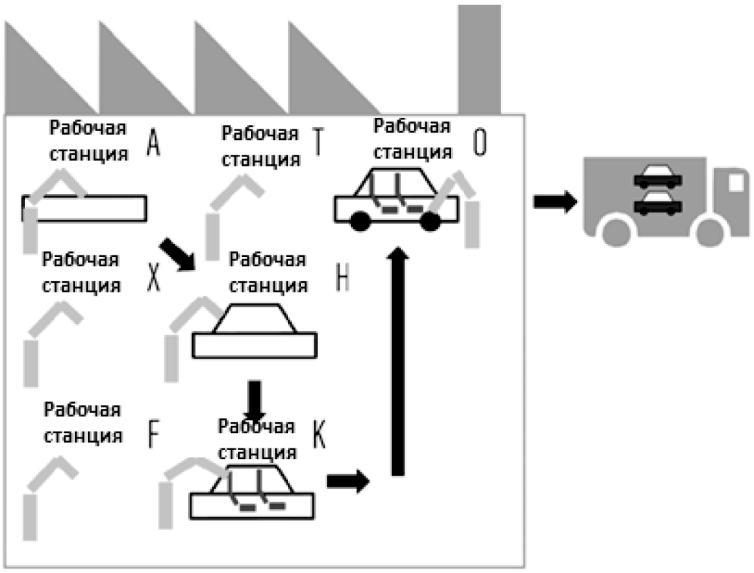

Рис. 8. Выполнение работ в перспективной интеллектуальной производственной сети

но и совершенствование производимой продукции и сопутствующей ей инфраструктуры. Например, изобретение паровых двигателей (в период первой индустриальной революции) привело не только к появлению индустриальных паровых молотов и станков, но и к появлению паровозов и железных дорог. Изобретение электрических двигателей и двигателей внутреннего сгорания (в период второй индустриальной революции) привело не только к радикальным изменениям в производственной сфере, но и к появлению автомобильного и электрического транспорта, а также сопутствующих им автомобильных и электрифицированных транспортных магистралей.

Очередная индустриальная революция также приведет к существенным изменениям в производимой ею продукции и сопутствующей ей инфраструктуре. Таким образом, интеллектуализация транспортной индустрии приведет к появлению интеллектуального транспорта и потребует интеллектуализации транспортных путей (автомобильных, железнодорожных, морских, авиационных и др.)

Отличительной особенностью умной промышленной продукции является то, что помимо аппаратных и программных компонент в ее состав входят датчики, исполнительные устройства, базы данных (информации и знаний), микропроцессоры, элементы искусственного интеллекта, а также сетевые инфраструктуры, обеспечивающие взаимодействие всех составных частей друг с другом. Новая промышленная продукция (по сравнению с традиционной) будет отличаться более высокой функциональностью и сложностью. Например, интеллектуальные автомобили (рис. 9) будут оснащены датчиками, позволяющими им автономно оценивать внешнее окружающее пространство и свое внутренне состояние.

Входящие в состав интеллектуального автомобиля (рис. 9) процессоры, программное обеспечение и элементы искусственного интеллекта делают автомобиль «умным» (обеспечивают обработку информации, получение знаний и планирование действий), придают ему возможность автономно принимать решения, самообучаться и разумно выполнять действия.

Сетевые инфраструктуры интеллектуального автомобиля призваны обеспечивать взаимодействие его внутренних элементов, а также взаимодействие с умной внешней окружающей средой (другими интеллектуальными автомобилями и «умной» автодорогой) в интересах общего эффективного и безаварийного функционирования. *Интеллектуальные автомобили используют различные исполнительные устройства (приводы) для изменения собственного состояния и различные системы сигналов (акустических, оптических электромагнитных), для того чтобы оказывать влияние на свое внешнее окружение. Интеллектуальные автомобили способны автономно и/или на основе внешних команд реагировать и адаптироваться к изменениям окружающей среды.*

Очевидно, что возможности интеллектуальных автомобилей будут эффективно применяться и могут быть существенно расширены за счет интеллектуализации автомобильных дорог (рис. 10), дополненных датчиками, интеллектуальным дорожным оборудованием (умными светофорами, адаптивными дорожными знаками и указателями), другими системами, поддерживающими функциональное и информационное взаимодействие с автомобилями, водителями и пешеходами.

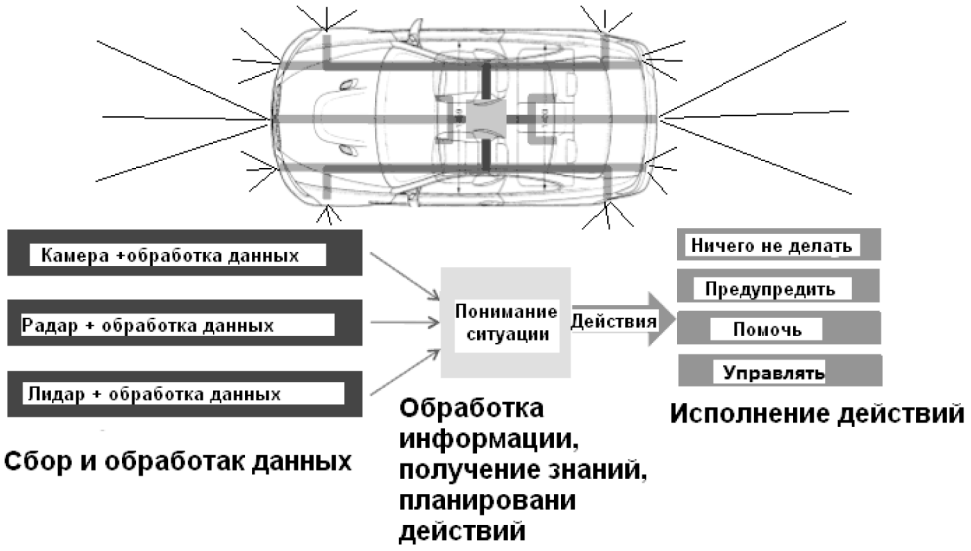

Рис. 9. Обобщенная архитектура интеллектуального автомобиля

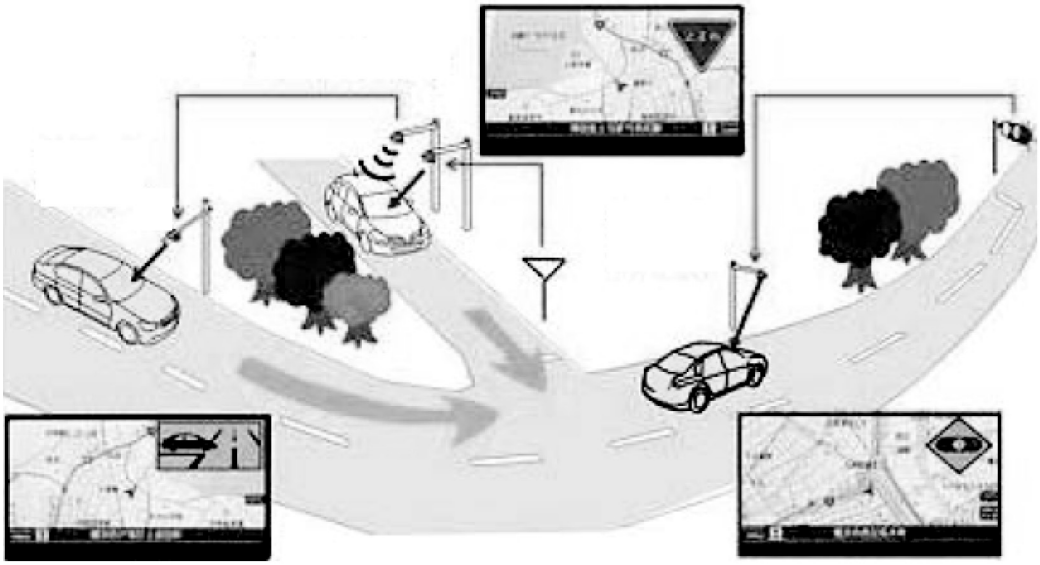

Рис. 10. Интеллектуальные автодороги

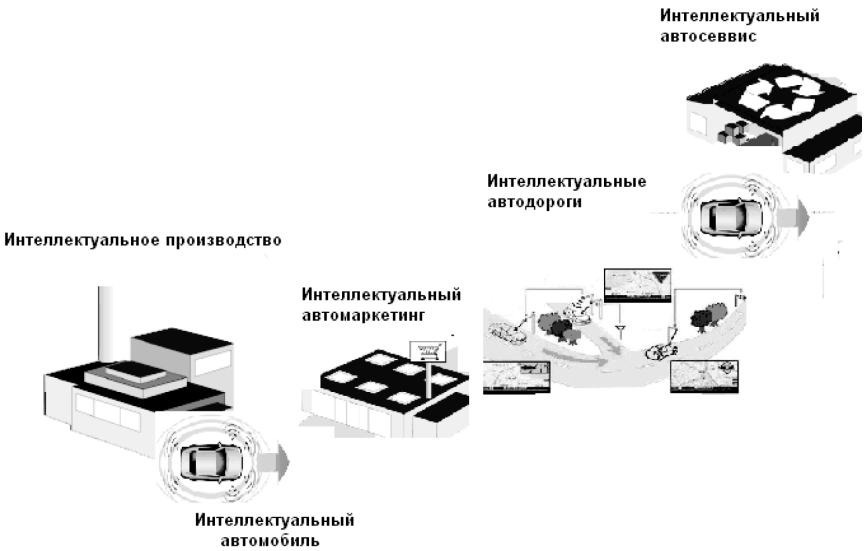

Рис.11. Сквозное (бесшовное) управление всеми звеньями жизненного цикла автотранспорта

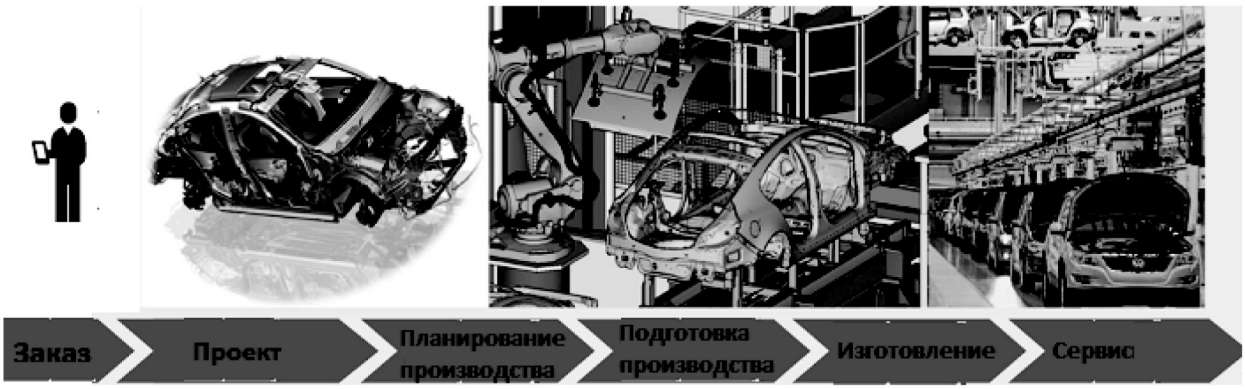

Рис. 12. Управление всеми этапами жизненного цикла автомобиля

Важно также отметить такую особенность новой индустриальной революции [13], как непрерывное сетевое взаимодействие всех перечисленных элементов, в результате которого становиться реализуемо эффективное управление всеми звеньями жизненного цикла автотранспорта (см. рис. 11).

Применительно к автотранспортной индустрии, логическая архитектура «Industrie 4.0» призвана управлять всеми этапами жизненного цикла автомобиля, начиная от получения персонифицированного заказа от покупателя и заканчивая утилизацией (рис. 12).

Длительное сетевое взаимодействие всех интеллектуальных сетевых элементов (интеллектуальных промышленных предприятий, интеллектуального транспорта, «умных» дорог и интеллектуального автосервиса) в конечном итоге приводит к увеличению производительности и стоимости каждого из них. Таким образом, формируется «самовоспроизводящийся цикл повышения стоимости».

Сетевые элементы (промышленные встраиваемые в продукцию и дорожную инфраструктуру) выполняют две основные функции:

– во-первых, они дают возможность обмена данными между продуктом и его операционной средой, производителем, системами технического обслуживания и пользователями;

– во-вторых, некоторые функции физического продукта (в нашем случае автомобиля) могут быть переданы на внешние системы (например, в случае выхода из строя системы управления интеллектуального автомобиля, функции управления им может взять на себя «интеллект» дороги).

Выводы

В данной статье рассмотрены особенности проявления новой индустриальной революции в сфере транспорта. В других сферах промышленного производства (авиастроения, ракетостроения, судостроения и т.д.) будут в целом сохраняться отмеченные проявления (естественно будут иметь место и характерные для каждой сферы особенности). Вместе с тем важно еще раз подчеркнуть, что ключевой технологической платформой для новой индустриальной революции (независимо от сфер ее приложения) продолжают оставаться промышленные информационно-сетевые технологии (как и на протяжении третьей индустриальной революции), интегрированные (точнее, конвергированные) с технологиями индустриального искусственного интеллекта. Еще более важным условием успешного проведения новой индустриальной революции является подготовка специалистов-профессионалов, способных разрабатывать и создавать интеллектуальные индустриальные инфраструктуры и поддерживать их эффективное функционирование и дальнейшее развитие.

Литература

1.Комашинский, В. И. Когнитивные системы и телекоммуникационные сети / В.И. Комашинский // Вестник связи. – 2011. – № 10. – С. 4–8.

2. Малыгин, И. Г. Системный подход к построению когнитивных транспортных систем и сетей / И.Г. Малыгин, В.И. Комашинский, П.Н. Афонин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 4. – С. 68–73.

3. Комашинский, В. И. Когнитивная метафора в развитии телекоммуникационных и индустриальных сетевых инфраструктур, или первые шаги к постинформационной эпохе / В.И. Комашинский, Д.В. Комашинский // Технологии и средства связи. – 2015. – № 1. – С. 62–67.

4. Малыгин, И. Г. Некоторые проблемы построения когнитивных транспортных систем и сетей / И.Г. Малыгин, В.И. Комашинский // Труды международной конференции

«Транспорт России: проблемы и перспективы – 2015 год». – Т. 1. – С. 3–8.

5. Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland / J. Bauer [et al.]. – Berlin, 2014. – P. 5–30.

6. Bauernhansl, T. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration / T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser. – Wiesbaden, 2014. – P. 12–17.

7. Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft / H. Kagermann [et al.]. – Berlin, 2014. – P. 14–34.

8. Kagermann, H. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 / H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig. – Frankfurt/Main, 2013. – P. 5–105.

9. Kersten, W. Industrie 4.0 – Auswirkungen auf das Supply ChainRisikomanagement / W. Kersten, M. Schröder, M. Indorf // Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern / W. Kersten, H. Koller, H. Lödding. – Berlin, 2014. – P. 101–126.

10. Mertens, P. Industrie 4.0 – Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick / P. Mertens // Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. p. – P. 27–29.

11. Porter, M. E. Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern / M.E. Porter, J.E. Heppelmann // Harvard Business Manager. – 2014. – No. 12. – P. 34–61.

12. Berger, R. INDUSTRIE 4.0 – The new industrial revolution: How Europe will succeed / R. Berger. – München, 2014. – P. 1–16.

13. Industrie 4.0 | Controlling in the Age of Intelligent Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.icv-controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream_Car_Industrie_4.0_EN.pdf, свободный. – Загл. с экрана.