

И. Г. Малыгин, д-р техн. наук, проф., директор,
В. И. Комашинский, д-р техн. наук, зам. директора по научной работе, kama54@rambler.ru,
 ИПТ РАН

Информационные технологии и искусственный интеллект — основные двигатели четвертой индустриальной революции (Industrie 4.0)

Рассмотрены основные черты новой индустриальной революции в сфере транспорта. Показано, что ключевой технологической платформой для новой индустриальной революции (независимо от сфер ее приложения) являются 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.

Ключевые слова: четвертая индустриальная революция, индустриальные информационно-управляющие сети, индустриальный искусственный интеллект, когнитивные индустриальные системы, интеллектуальный транспорт

Индустриальные революции и их отличительные черты

Анализируя траекторию развития технологий построения транспортных средств и транспортных магистралей, трудно не заметить положительную ее корреляцию с траекторией развития информационно-сетевых 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 используются 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 экономики 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 [3—5].

В этом контексте очередная (рис. 2), четвертая индустриальная революция (Industrie 4.0) требует



Рис. 1. Ковэволюция информационных, индустриальных и транспортных технологий

	1784 г. Первая индустриальная революция. Проявилась в появлении механических ткацких станков, широком использовании ветряных, водяных и паровых двигателей
	1870 г. Вторая индустриальная революция. Проявилась в появлении конвейерного массового производства, основанного на разделении труда и широком использовании электрических, бензиновых и дизельных двигателей
	1969 г. Третья индустриальная революция. Проявилась в появлении программируемых логических контроллеров в широком промышленном использовании электроники и ИТ, в масштабной автоматизации производства
	2015 г. Четвертая индустриальная революция. Проявляется в конвергенции промышленного искусственного интеллекта, производственных информационных сетей и индустриального оборудования в интересах создания самоорганизующегося, чрезвычайно гибкого производства. Производственные линии заменяются на промышленные матричные сети

Рис. 2. Основные этапы развития индустриальных технологий

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).

У второй индустриальной революции отличительной особенностью 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, космических (в том числе и автопилотных).

Промышленные информационно-телекоммуникационные системы и их роль в четвертой индустриальной революции

Основой наступающей четвертой индустриальной революции станет широкое использование эле-

ментов промышленного искусственного интеллекта и когнитивных информационно-управляющих систем. **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].

Для более отчетливого рассмотрения изменений, ожидаемых при переходе к Industrie 4.0, целесообразно рассмотреть инфраструктурные особенности (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 программ-

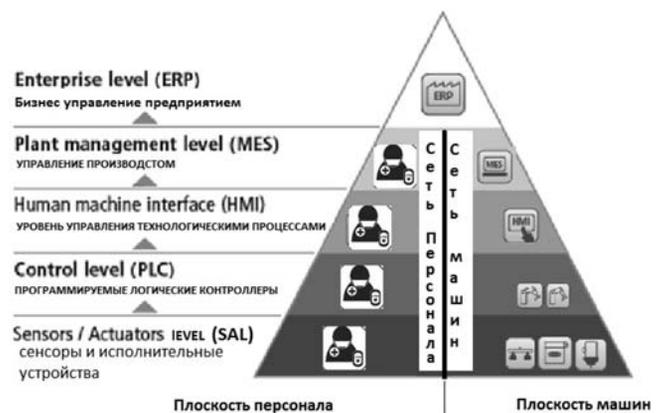


Рис. 3. Иерархическая архитектура существующей системы автоматизированного управления промышленным предприятием

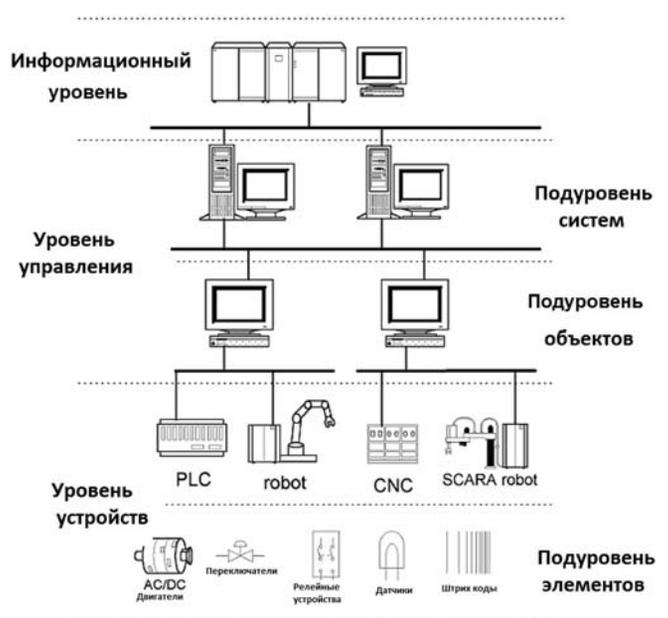


Рис. 4. Обобщенная архитектура современных индустриальных информационно-управляющих сетей

руемых логических контроллеров (PLS) и промышленных 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 промышленных 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 промышленной революции — Industrie 3.0 — была алгоритмизирована и автоматизирована (передана техническим устройствам) значительная часть физически тяжелых работ людей, задействованных в промышленном 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 промышленная 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 последовательную процедуру выполнения работ (рис. 5). В таких условиях [6—10] 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

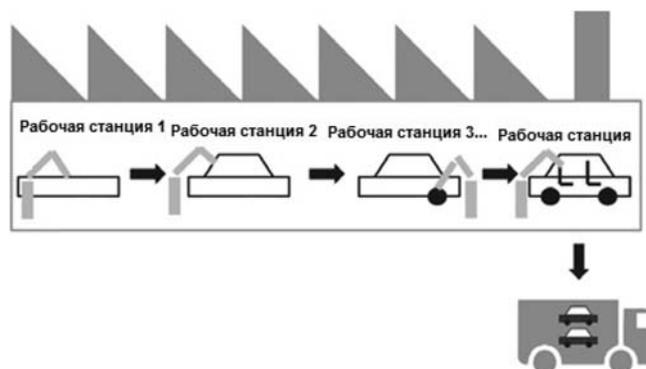


Рис. 5. Выполнение работ на существующей производственной линии

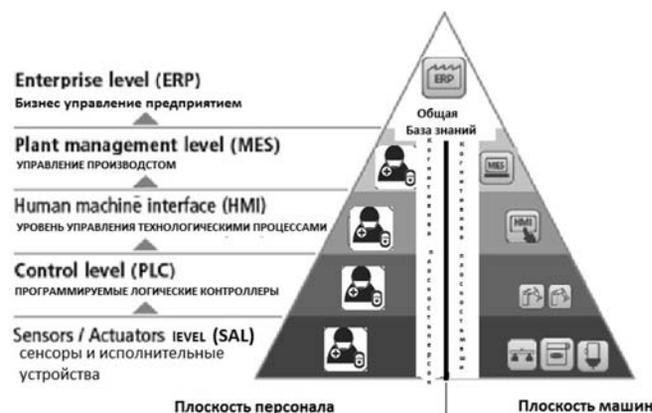


Рис. 6. Иерархическая архитектура перспективной системы интеллектуального управления промышленным предприятием

установке компонентов из другой группы продукции, изготавливаемых в этой же компании.

Отличительной особенностью новой промышленной эпохи — Industrie 4.0 — является постепенный перенос (передача) части интеллектуальных функций (ранее поддерживаемых только людьми) специальным техническим (когнитивным) промышленным 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 промышленной когнитивной информационно-управляющей сети (правая часть рис. 6) и загрузки (передачи) промышленных знаний (первичных) для промышленного оборудования.

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

Таким образом, система управления интеллектуальным промышленным предприятием включает когнитивную плоскость людей (в составе интел-

лектуальных прикладных процессов и баз знаний для обслуживающего персонала) и когнитивную плоскость машин (в составе информационных приложений, промышленных операционных систем и промышленного искусственного интеллекта).

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

В частности, автоматизированные производственные линии (см. рис. 5), используемые в настоя-

щее 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 [11—13] 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, но и совершенствование производимой продукции и сопутствующей ей инфраструктуры. Например, изобретение паровых двигателей (в период первой индустриальной революции) привело к появлению не только индустриальных паровых молотов и станков, но и 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.

Некоторые последствия четвертой индустриальной революции

Очередная индустриальная революция также приведет к существенным изменениям в производимой ею продукции и сопутствующей ей инфраструктуре [7—12]. Интеллектуализация транспортной индустрии приведет к появлению интеллектуального транспорта и потребует интеллектуализации транспортных инфраструктур (автомобильных, железнодорожных, морских, авиационных и др.)

Отличительной особенностью умной промышленной продукции является то, что, помимо аппаратных и программных компонентов, 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, интел-

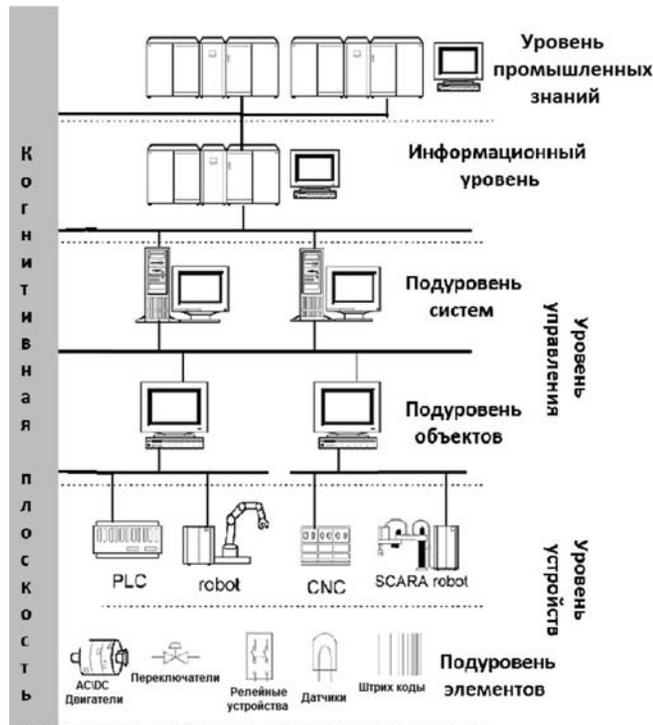


Рис. 7. Обобщенная архитектура перспективной когнитивной индустриальной информационно-управляющей сети

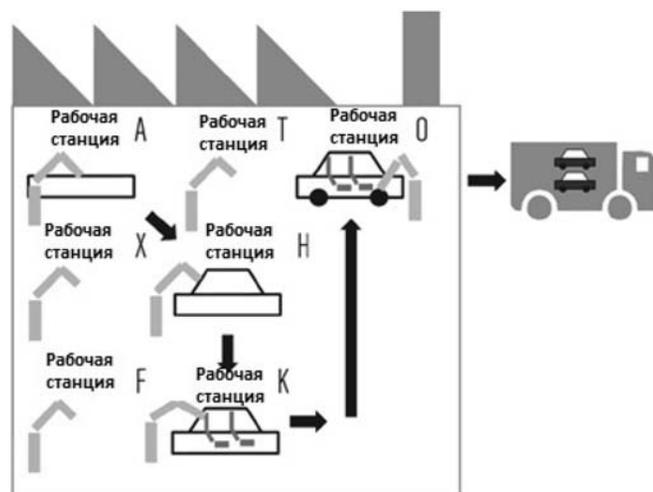


Рис. 8. Выполнение работ в перспективной интеллектуальной производственной сети

лектуальные автомобили (рис. 9) будут оснащены датчиками, позволяющими им автономно оценивать внешнее окружающее пространство и свое внутреннее состояние.

Входящие в состав интеллектуального автомобиля процессоры, программное обеспечение и элементы искусственного интеллекта делают автомобиль "умным" (обеспечивают обработку информации, получение знаний и планирование действий), дают 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, см. четвертую сторону обложки), дополненных датчиками, интеллектуальным дорожным оборудованием ("умными" светофорами, адаптивными дорожными знаками и указателями), другими системами, поддерживающими функциональное и информационное взаимодействие с автомобилями, водителями и пешеходами.

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

Применительно к автотранспортной индустрии логическая архитектура Industrie 4.0 призвана управлять всеми этапами жизненного цикла автомобиля, начиная от получения персонализированного заказа от покупателя и заканчивая утилизацией (рис. 12, см. четвертую сторону обложки).

Длительное сетевое взаимодействие всех интеллектуальных сетевых элементов (интеллектуальных промышленных предприятий, интеллектуального

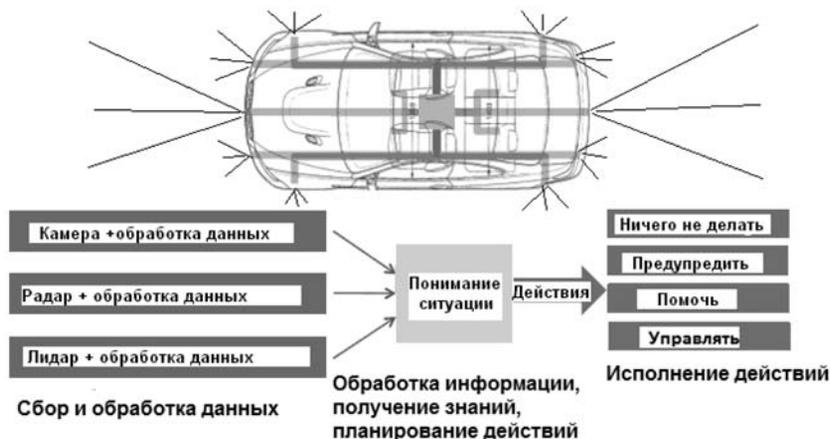


Рис. 9. Обобщенная архитектура интеллектуального автомобиля

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 работе 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.

Список литературы

1. **Комашинский В. И.** Когнитивные системы и телекоммуникационные сети // Вестник связи. 2011. № 10. С. 4—8.
2. **Малыгин И. Г., Комашинский В. И., Афонин П. Н.** Системный подход к построению когнитивных транспортных систем и сетей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4. С. 68—73.
3. **Комашинский В. И., Комашинский Д. В.** Когнитивная метафора в развитии телекоммуникационных и промышленных сетевых инфраструктур, или первые шаги к постинформационной эпохе // Технологии и средства связи. 2015. № 1. С. 62—67.
4. **Малыгин И. Г., Комашинский В. И.** Некоторые проблемы построения когнитивных транспортных систем и сетей // Труды международной конференции "Транспорт России: проблемы и перспективы — 2015 год". Том 1. С. 3—8.
5. **Bauer J., Schlund P., Marrenbac D., Ganscha O.** Industrie 4.0 — Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin, 2014. P. 5—30.
6. **Bauernhansl T., Hompel M., Vogel-Heuser B.** Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik // Anwendung, Technologie, Migration, Wiesbaden, 2014. P. 12—17.
7. **Kagermann H., Riemensperger F., Hoke D., Helbig J., Stocksmeier D., Wahlster W., Scheer A. W., Schweer D.** Smart Service Welt — Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft, Berlin, 2014. P. 14—34.
8. **Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.** Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 — Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main, 2013. P. 5—105.
9. **Kersten W., Schröder M., Indorf M.,** Industrie 4.0 — Auswirkungen auf das Supply Chain Risikomanagement // Kersten W., Koller H., Lödding H. (Hrsg.), Industrie 4.0 — Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern, Berlin, 2014. P. 101—126.
10. **Mertens P.** Industrie 4.0 — Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick, in: Controlling — Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung, 27. Jg., 2015. H. 8/9. P. 27—29.
11. **Porter M. E., Heppelmann J. E.,** Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern // Harvard Business Manager. 2014. N 12. P. 34—61.
12. **Berger R.** (Hrsg.). INDUSTRIE 4.0 -The new industrial revolution // How Europe will succeed. München, 2014. P. 1—16.
13. **Industrie 4.0 Controlling in the Age of Intelligent Networks.** URL: https://www.icv.controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream_Car_Industrie_4.0_EN.pdf

I. G. Malygin, Professor, Director, V. I. Komashinskiy, Professor, Deputy Director, kama54@rambler.ru
IPT RAS

Information Technology and Artificial Intelligence — the Main Engines of the Fourth Industrial Revolution (Industrie 4.0)

In paper the fundamental features of new industrial revolution in motor transport sphere are observed. It is shown, that a key technological platform for new industrial revolution (it is not dependent on spheres of its application) are когнитивные информационно-сетевые производственные инженерные интегрированные (более точно, сходящиеся) с производственным инженерным искусственным интеллектом. It is marked also, that the important condition of successful conducting of new industrial revolution is preparation of professionals, capable to develop and establish intellectual industrial infrastructures and to sustain their effective operation and the subsequent development.

Keywords: fourth industrial revolution, industrial information and control networks, industrial artificial intelligence, cognitive industrial systems, intelligent transport

References

1. **Komashinskiy V. I.** Kognitivnye sistemy i telekommunikatsionnye seti, *Vestnik svyazi*, 2011, no. 10, pp. 4—8.
2. **Malygin I. G., Komashinskiy V. I., Afonin P. N.** Sistemnyy podhod k postroeniyu kognitivnykh transportnykh sistem i setej, *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2015, no. 4, pp. 68—73.
3. **Komashinskiy V. I., Komashinskiy D. V.** Kognitivnaya metafora v razvitiitелеkommunikatsionnykh i industrial'nykh setevykh infrastruktur, ili pervye shagi k postinformatcionnoj ehpohe, *Tekhnologii i sredstva svyazi*, 2015, no. 1, pp. 62—67.
4. **Malygin I. G., Komashinskiy V. I.** Nekotorye problemy postroeniya kognitivnykh transportnykh sistem i setej, *Trudy mezhdunarodnoj konferencii "Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2015 god"*, vol. 1, pp. 3—8.5.
5. **Bauer J., Schlund P., Marrenbac D., Ganscha O.** *Industrie 4.0 — Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*, Berlin, 2014, pp. 5—30.
6. **Bauernhansl T., Hompel M., Vogel-Heuser B.,** *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik — Anwendung, Technologie, Migration*, Wiesbaden, 2014, pp. 12—17.
7. **Kagermann H., Riemensperger F., Hoke D., Helbig J., Stocksmeier D., Wahlster W., Scheer A. W., Schweer D.** *Smart Service Welt — Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft*, Berlin, 2014, pp. 14—34.
8. **Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.** Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, *Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*, Frankfurt/Main, 2013. P. 5—105.
9. **Kersten W., Schröder M., Indorf M.,** *Industrie 4.0 — Auswirkungen auf das Supply Chain Risikomanagement*, in: Kersten W., Koller H., Lödding H. (Hrsg.), *Industrie 4.0 — Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*, Berlin, 2014, P. 101—126.
10. **Mertens P.** Industrie 4.0 — Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick, in: *Controlling — Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung*, 27. Jg. 2015, H. 8/9, pp. 27—29.
11. **Porter M. E., Heppelmann J. E.,** Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern, *Harvard Business Manager*, 2014, no. 12, pp. 34—61.
12. **Berger R.** (Hrsg.). *INDUSTRIE 4.0 — The new industrial revolution: How Europe will succeed*, München 2014. P. 1—16.
13. **Industrie 4.0. Controlling in the Age of Intelligent Networks** https://www.icv.controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream_Car_Industrie_4.0_EN.pdf