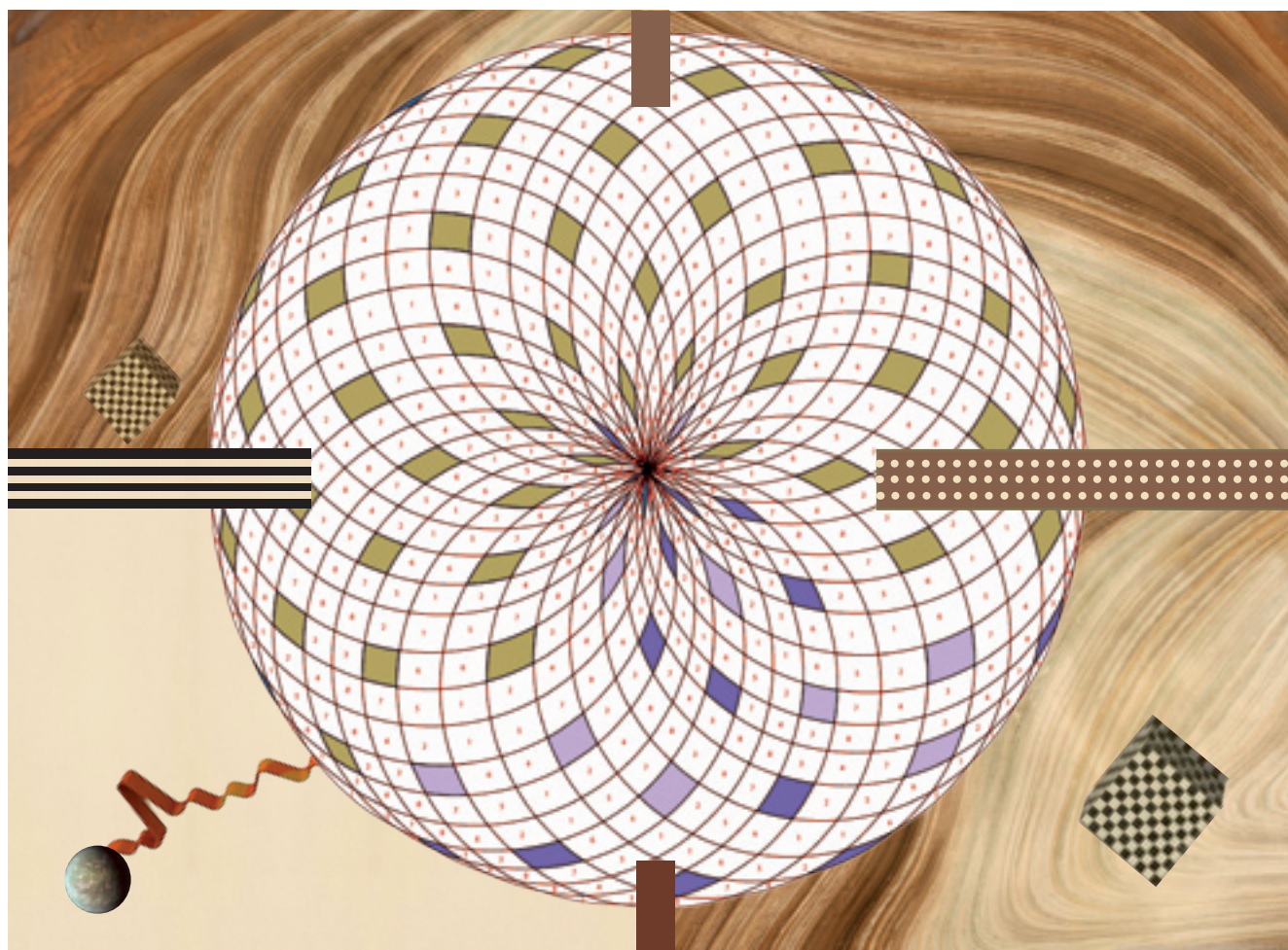


Долгосрочные тренды развития сектора информационно-коммуникационных технологий¹

А.В. Гиглавый^I, А.В. Соколов^{II}, Г.И. Абдрахманова^{III}, А.А. Чулок^{IV}, В.В. Буров^V



Трансформационные эффекты, оказываемые информационно-коммуникационными технологиями (ИКТ) на развитие различных сфер деятельности, привлекают пристальное внимание исследователей. Динамика этого сектора зависит от глобальных вызовов и трендов более широкого характера, определяющих долгосрочные приоритеты науки и технологий. Поэтому выявление внешних и внутренних факторов, которые повлияют на будущее ИКТ, — сверхактуальная задача. В статье представлен прогноз развития данного направления, оцениваются временные горизонты появления тех или иных технологических решений. Обозначены области, в которых Россия обладает определенными заделами и преимуществами.

^I Гиглавый Александр Владимирович — заместитель директора по науке, Лицей № 1533 (информационных технологий) г. Москвы. E-mail: giglavy@yandex.ru
Адрес: 119296, Москва, Ломоносовский проспект, 16

^{II} Соколов Александр Васильевич — заместитель директора, директор Международного научно-образовательного Форсайт-центра. E-mail: sokolov@hse.ru

^{III} Абдрахманова Гульнара Ибрагимовна — директор Центра статистики и мониторинга информационного общества. E-mail: gabdrakhmanova@hse.ru

^{IV} Чулок Александр Александрович — заведующий отделом научно-технического прогнозирования. E-mail: achulok@hse.ru

Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ

Адрес: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Москва, Мясницкая ул., 20

^V Буров Василий Владимирович — председатель совета директоров, WikiVote! E-mail: burov@wikivote.ru
Адрес: 125047, Москва, ул. Фадеева, 7, стр.1, оф. 2

¹ Статья подготовлена по итогам исследования «Мониторинг глобальных технологических трендов», выполненного при поддержке Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ. Отдельные результаты прогноза научно-технологического развития России в сфере ИКТ представлены в публикациях [Соколов, Чулок, 2012; Качкаева, Кирия, 2012; НИУ ВШЭ, 2013a,b; Sokolov, 2013].

Ключевые слова

информационно-коммуникационные технологии; долгосрочный прогноз; глобальные вызовы; тренды; приоритетные направления; научно-технический задел

Информационно-коммуникационные технологии в течение последних десятилетий выступают одним из ключевых драйверов социально-экономического прогресса. Их развитие и широкое распространение способствуют трансформации облика многих секторов экономики; повышению качества жизни; эффективности ведения бизнеса и государственного управления; возникновению новых форм обучения, коммуникации и социализации людей; обеспечению доступа к различным видам информации. В свою очередь, динамика ИКТ сама существенным образом зависит от глобальных вызовов и трендов более широкого характера, определяющих долгосрочные приоритеты науки и технологий.

Какие факторы окажут воздействие на будущее сектора ИКТ? Какие технологические решения определяют его облик в последующие 15–20 лет? Попытки ответить на эти и подобные вопросы были предприняты специалистами ИСИЭЗ НИУ ВШЭ при реализации комплекса исследований тенденций научно-технологического развития на глобальном и национальном уровнях.

Методология

Методология исследования основывалась на современных принципах Форсайта² и предусматривала комбинацию количественных и качественных методов. В рамках проекта рассматривались цели развития сектора ИКТ и отражающие их индикаторы (с учетом ориентиров, установленных российскими и международными стратегическими документами); проводился скрининг долгосрочных трендов (по материалам более чем сотни мировых прогнозов и тематических обзоров³); анализировались глобальные социально-экономические и научно-технологические вызовы⁴, затрагивающие сферу ИКТ; оценивались потенциальные окна возможностей для России, перспективные направления науки и технологий; инновационные рынки и появление на них новых продуктов и услуг. Это позволило сформулировать рекомендации по мерам научно-технической и инновационной политики. Базой для изучения инновационных рынков, продуктов и услуг послужили оценки динамики существующих, традиционных областей применения ИКТ под влиянием глобальных вызовов и национальных тенденций, а также предпосылок к появлению новых, прорывных («разрушающих») технологий и сопутствующих им эффектов. Тем самым обеспечивалось совмещение генетического (technology push) и нормативного (market pull) подходов к прогнозированию.

Приоритеты для различных сегментов определялись по таким критериям, как соответствие глобальным трендам, наличие конкурентных преимуществ и научно-технологических заделов, потенциал выхода на сложившиеся рынки и создания новых рыночных ниш, что, в свою очередь, позволило оценить перспективы

научно-технологического развития отечественного сектора ИКТ.

Результаты прогноза прошли валидацию в рамках серии экспертных обсуждений высокого уровня с участием представителей ведущих компаний, научных центров, университетов и международных организаций. На их основе были разработаны предложения по «пакетам технологий» в качестве ответов на выявленные вызовы и проблемы; созданы дорожные карты, визуализирующие взаимосвязи наиболее важных аспектов долгосрочного развития сектора ИКТ, его ключевые направления, а также факторы, препятствующие повышению конкурентоспособности национальных производителей.

Ключевые тренды

Перспективный облик сферы ИКТ определит, прежде всего, переход к экономике, основанной на знаниях. Этот процесс начался с проникновения рассматриваемых технологий в материальное производство и сегодня набирает обороты по мере насыщения ими сферы услуг (финансы, страхование, торговля, транспортная инфраструктура и т. п.), однако его эффекты в полной мере проявятся только в будущем [OECD, 2013]. ИКТ вносят серьезный вклад и в решение глобальных проблем, таких как:

- исчерпание дешевых природных ресурсов;
- старение населения;
- ухудшение состояния окружающей среды;
- потеря эффективного контроля над технологическими цепочками;
- вытеснение национальных производителей с внутренних рынков;
- мобильность кадров;
- миграция финансовых капиталов;
- неустойчивость глобальной экономической и политической системы;
- растущий дисбаланс между требованиями безопасности и личной свободой человека;
- рост киберпреступности, увеличение масштаба ее эффектов и др.⁵

Развитие рынков ИКТ сочетает эволюционную траекторию (совершенствование существующих продуктов (услуг), экстенсивный рост сложившихся сегментов за счет резкого снижения цены последних) с экспоненциальной моделью проникновения инноваций, способствующей распространению новейших разновидностей ИКТ и возникновению на этой базе новых рынков [Forge et al., 2009; Калин, 2010; European Commission, 2009]. Все это повышает инвестиционную привлекательность отрасли, но присутствие на мировом рынке ИКТ большого числа «разрушающих» инноваций [Christensen, 1997] обуславливает волатильность финансовых результатов компаний данного и смежных секторов. Так, в 2012 г. более 40% ИКТ-фирм, входящих в рейтинг FT-500, ухудшили свои позиции [Financial Times, 2012].

² Подробнее см., например: [Georgiou et al., 2008; Cagnin et al., 2013; Gokhberg, Sokolov, 2013; Haegeman et al., 2013; UNIDO, 2005].

³ В их числе: материалы ведущих зарубежных аналитических компаний (RAND Corp., Frost&Sullivan, Z-Punkt и др.), международных проектов (SESTI, iKnowFuture, European Foresight Platform и др.), исследовательских центров (NISTEP, IPTS, KISTEP, Institute for the Future и др.).

⁴ Подход, получивший название «Большие вызовы» (Grand Challenges), детально описан в работе [European Commission, 2010b].

⁵ Подробнее о глобальных вызовах см.: [European Commission, 2010a].

Серьезными драйверами инноваций становятся малый и средний бизнес. Бурное развитие компаний-новичков, производящих прорывные продукты, будет активнее стимулироваться «сетевидностью» и растущим спросом на встраиваемые цифровые устройства различного назначения.

Согласно международным прогнозам ожидается дальнейшее повышение вклада сектора ИКТ в экономический рост: к 2020 г. его доля в мировом ВВП достигнет 8.7% [BCG, 2012, p. 18]. В России, по расчетам авторов статьи, на данный сектор приходится около 2.7% занятых в экономике и 3.1% ВВП страны, что соответствует средневропейским показателям. Для сравнения: в Финляндии их значения составляют 4.1 и 5.3% соответственно, Германии — 2.3 и 4.3%, Швеции — 4.4 и 6.3%, Испании — 2.0 и 3.5%⁶.

Наиболее динамичный и масштабный сегмент образуют телекоммуникации и деятельность, связанная с использованием компьютерных устройств и информационных технологий (разработка программного обеспечения, консультирование, обработка информации, создание и использование баз данных и информационных ресурсов, в том числе Интернета, обслуживание вычислительной техники и т. п.). На них приходится соответственно 1.7 и 0.6% ВВП, причем темпы прироста валовой добавленной стоимости здесь (соответственно 61 и 97% в постоянных ценах за период 2012–2015 гг.) заметно опережают среднюю динамику и отрасли (52%), и ВВП в целом (28%).

Сектор ИКТ тесно связан с производством контента и массовыми коммуникациями, которые являются не только активными потребителями его продукции, но и драйверами совершенствования технических средств и технологий. По данным аналитического центра GigaOm Pro, мировой рынок цифрового контента к 2014 г. вырастет до 36 млрд долл. против 16.7 млрд долл. в 2009 г. [Zagaeski, 2010]. По состоянию на начало 2012 г., в России производство и распространение контента осуществляли свыше 50 тыс. организаций (с общей численностью занятых 251 тыс. чел.). Созданная ими валовая добавленная стоимость составила 233 млрд руб., или 0.4% ВВП (прирост в постоянных ценах по сравнению с 2005 г. на 4%).

Необходимость реагирования на подобного рода вызовы внешнего и внутреннего характера предвещает спрос на развитие науки и технологий. Предстоит радикальная трансформация рынков в связи со сменой элементной базы технических средств. Роль ИКТ может измениться в зависимости от способности новых технологических решений поддержать рост производительности вычислительной техники. Конвергенция ИКТ с другими технологиями, в том числе нано-, био- и когнитивными, будет способствовать сохранению действия «закона Мура» и росту «сетевых эффектов» («закон Меткалфа»)⁷. Продолжат развиваться

инновационные технологии социального сетевого взаимодействия, в частности «Интернет вещей» (Internet of Things) и «Интернет всего» (Internet of Everything), что приведет к сокращению жизненных циклов стандартов и технологических платформ ИКТ-систем и сетей.

Одновременно в новых условиях возникает ряд угроз, связанных с задачами преодоления «цифрового неравенства», равноправного вхождения в глобальное информационное пространство, быстрого и масштабного освоения новых технологий в социальной сфере и государственном управлении, обеспечения национальной безопасности.

В рамках проведенных исследований были идентифицированы основные глобальные тренды, которые кардинально преобразят сектор (рис. 1)⁸.

Ускоряющийся прогресс технологий стимулирует спрос на «умную» продукцию в большинстве отраслей материального производства, а рынок приборов, средств автоматизации и систем управления в долгосрочной перспективе станет «сетевидным» и интегрированным в отрасль.

Развитие облачных технологий (high throughput computing, HTC), новых архитектур и принципов организации высокопроизводительных вычислений (high performance computing, HPC) трансформирует программное обеспечение (ПО) и инфраструктуры отраслевых ИКТ-решений, произведет инновационные изменения в бизнес-стратегиях предприятий, создав по сути новую техносферу экономики.

Благодаря ИКТ возникают инновационные формы социализации. Во многих сегментах мирового рынка труда отпадает необходимость в «привязке» сотрудников к конкретному рабочему месту. В совокупности с глобальным дефицитом квалифицированных кадров и стремлением к снижению затрат на поддержание инфраструктуры предприятий подобный тренд приведет к распространению схем удаленной работы и становлению новых моделей занятости.

При всей универсальности, ИКТ окажут максимальный эффект в сфере услуг, а появляющаяся возможность накопления и хранения услуг высокого качества с их последующей передачей в любое время и в любую точку планеты существенно изменит облик этого направления.

Технологии жизнеобеспечения

Рассматриваемая группа технологий ориентирована на базовую систему ценностей человека как личности — его физическое и психическое здоровье, продолжительность и качество жизни, расширение возможностей, заложенных природой⁹.

По мере роста ценности здоровья в системе приоритетов общества появляются новые медико-технологические и социальные вызовы, обусловленные

⁶ Данные по России за 2012 г.; по зарубежным странам — за 2009 г. Источник: по России — расчеты ИСИЭЗ НИУ ВШЭ по данным Росстата, зарубежным странам — Евростат.

⁷ Гордон Мур, один из основателей компании Intel, в свое время сформулировал «закон», согласно которому количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца. «Закон Меткалфа» гласит, что экономическая ценность компьютерной сети растет примерно пропорционально квадрату числа ее пользователей [Hendler, Golbeck, 2008].

⁸ Мы не рассматриваем подробно тренды, касающиеся сферы массовых коммуникаций, поскольку они были представлены в ранее опубликованной статье [Качкаева, Кирия, 2012].

⁹ Проблема формирования новых условий жизни в информационном обществе стала актуальной темой исследований в развитых странах, например инициативы «Ambient Assisted Living» (AAL) (режим доступа: www.aal-europe.eu, дата обращения 25.06.2013).

Рис. 1. Основные глобальные тренды развития сектора ИКТ

Мегатренды

Новые условия жизни

Экономика, основанная на знаниях

Новая техносфера

Экономические
и институциональные тренды

Технологические тренды

Технологии жизнеобеспечения

- Появление новых форм социализации и социального взаимодействия
- Расширение возможностей применения ИКТ в интересах охраны окружающей среды
- Распространение интегрированных систем в здравоохранении
- Развитие технологий для персонализированной медицины
- Превращение ИКТ в значимый фактор качества жизни людей с ограниченными возможностями
- Развитие средств трехмерного моделирования для биомедицинской инженерии

Технологии моделирования
и прогнозирования

- Развитие средств предсказательно моделирования систем и объектов
- Развитие технологий и инфраструктуры выделенных центров предсказательного суперкомпьютерного моделирования
- Развитие ИКТ-сервисов предсказательного моделирования социально-экономических явлений
- Радикальное сокращение сроков и стоимости проектирования, повышение качества продукции благодаря использованию метамоделей
- Развитие технологий ресурсоемкого компьютерного моделирования материалов и процессов

Технологии инженерии знаний

- Появление программных систем извлечения и формализации знаний из неструктурированной информации
- Возникновение систем машинного обучения (machine learning), основанных на новых методах и алгоритмах
- Создание эффективных форм визуализации информации, контента и знаний
- Развитие программных систем принятия решений и идентификации ситуаций, рекозиторий открытых данных (linked open data)
- Решение проблем семантической интероперабельности и глобальной идентификации объектов

Адаптивные технологии создания
информационных систем

- Появление новых принципов, моделей и процессов управления большими системами
- Защита компьютерных инфраструктур на основе принципиально новых парадигм
- Развитие инновационных подходов к энергосбережению с широким применением ИКТ (smart grid, активно-адаптивные сети)
- Распространение сенсорных сетей
- Появление интеллектуальных роботизированных систем, способных к адаптивному коллективному поведению

Технологии распределенных
и параллельных вычислений

- Появление архитектур сетей, реализующих новые принципы организации
- Создание гипермасштабируемых центров обработки данных для облачных Web-приложений, контент-центричные архитектуры сетей
- Реализация концепций e-science (grid-вычисления, виртуальные установки и лаборатории)
- Реализация методов верификации больших программ для облачных и grid-приложений
- Решение крупномасштабных вычислительных задач

Тренды в контент-индустрии

Новые методы и модели в аналитике
на рынке контента

- Трансформация бизнес-модели медиа в пользу «извлечения дохода из финансовых инструментов». Интеграция медиаконтента в деятельность финансовых институтов
- Изменение бизнес-моделей большого традиционного медиа (печатные СМИ и др.), уход от модели рекламного финансирования к модели оплаты потребителем (в том числе для минимизации рисков от нестабильного рекламного рынка)
- Развитие научной и образовательной деятельности в сфере медиатрэнжности

Конвергенция моделей доставки
контента

- Увеличение количества приципальных телевизионных и радиоканалов
- Усиление роли социальных сетей в продвижении товаров и услуг
- Рост рынка агрегации и онлайн-выборок разнотипного типа контента и переход к бизнес-модели прямой продажи прав. Рост популярности и доходов контента, производимого и распространяемого самими авторами
- Появление дополнительных медиатрэнжеров в виде игр, виртуальных реальностей и их интеграция с другими медиатрэнжерами и социальными сетями через создание единых историй

Виртуальные предприятия
в контент-индустрии

- Рост объемов «готовой», или «контекстной», рекламы
- Встраивание рекламы внутрь контента в виде его органических элементов (product placement и т. д.) в связи с поиском новых креативных решений
- Применение традиционной рекламной бизнес-модели для новых сред: музыка, книги и т. д.
- Переход от модели «собственности» на контент к модели «дохода» к контенту в онлайн-сетях и миграция рекламной модели в массовые сервисы Интернета (понсковые системы, социальные сети)

демографическими изменениями. Благодаря развитию медицинских технологий существенно расширяются возможности влияния на показатели здоровья населения. При этом прогресс в сфере ИКТ и их применение в повседневной жизни сдерживаются недостаточным уровнем решения проблем, связанных с обеспечением безопасности в сети, конфиденциальности и т. д.

Следует отметить и процессы формирования «цифрового облика» гражданина информационного общества: возникает совокупность информационных объектов, интегрирующая его систему ценностей и спектр интересов в общекультурной, профессиональной и социальной областях. Социальные сети, все теснее взаимодействующие с мобильными клиентскими устройствами, становятся фактором охраны здоровья и улучшения качества жизни (quality of life technologies) [Schulz, 2012]. Современные технологии повышают качество государственных услуг и поднимают на новый уровень зависимые от государства медицину и образование.

Появление новых форм социализации и социального взаимодействия. Влияние ИКТ на социальные процессы постоянно усиливается. Меняется культура; население вовлекается в управление общественной жизнью; улучшается среда обитания; создаются новые социальные блага. Одной из форм вовлечения, опирающейся на возможности социальных ИКТ-сервисов, становится причастность к принятию решений или отклонению деструктивных предложений. Повышение роли Интернета в целом, и «электронной демократии» в частности, постепенно стирает грань между гражданской активностью и политической деятельностью, что в перспективе может привести к возможности прямого влияния граждан на законодательные процедуры. Основное взаимодействие между государством и населением будет происходить в электронной форме, однако при этом возникает проблема однозначной идентификации и аутентификации пользователей для совершения действий, имеющих юридическую силу.

Действенным драйвером вовлечения граждан в управление становится краудсорсинг. Помимо государственного и муниципального управления, этот тип социальных технологий начинает распространяться и на корпоративный сектор. В ближайшие годы прогнозируются высокие темпы расширения социальной базы в различных сферах его применения.

Для значительной части населения планеты социальные ИКТ-сервисы стали неотъемлемым элементом общественной жизни. Об этом свидетельствует численность аудитории самых популярных провайдеров таких услуг — Google и Facebook: на каждом из них зарегистрировано уже свыше 1 млрд аккаунтов.

В развитых странах изменение структуры и расширение клиентской базы пользователей привело к возникновению новых бизнес-моделей, в первую очередь связанных с мобильными и развлекательными приложениями. В результате стали формироваться новые социальные категории, а также соответствующие модели поведения и взаимодействия. Подобные изменения выходят за рамки виртуальности и прони-

кают в различные области общественной, культурной и политической жизни. Отметим, например, трансформацию подходов к воспитанию и образованию, направленную на интеграцию цифровой и классической составляющих культурного наследия.

Стремительный прогресс ИКТ меняет представление о роли и формате средств массовой информации. Расширение многообразия и «нишевилизация» контента удовлетворяют разные вкусы потребителей, представляя угрозу для традиционных СМИ. В частности, речь идет о печатной продукции, которая, ориентируясь на массовый спрос, не может конкурировать с новыми способами доставки более персонализированного и интерактивного контента.

Интернет как главный источник контента является центральным каналом получения сведений о культурных ценностях. Необходимость системного подхода к созданию цифровых копий шедевров культуры детерминирует долгосрочный характер такого тренда. Как следствие, среди приоритетных направлений — расширение электронного доступа к культурным ценностям, находящимся в музеях и библиотеках, и другим произведениям искусства, что требует увязать с проблемой авторских прав. Существует и феномен «изначально цифровых» объектов культурного наследия, для которых предстоит создать адекватные технологии сохранения и выработать новые социокультурные навыки использования.

Расширение возможностей в сфере охраны окружающей среды. Совершенствование территориально распределенных геоинформационных ресурсов и систем, обеспечивающих сбор, обработку, унифицированное хранение, а также коллективное использование картографических и других пространственных данных¹⁰, создает основу для устойчивого развития и формирования «зеленой экономики». Это приведет к распространению ИКТ-услуг, позволяющих контролировать природопользовательскую и иную хозяйственную деятельность компаний, а также государственных органов. По оценкам, объем мирового рынка таких услуг к 2020 г. может достичь сотен миллиардов долларов [McLaren, Kennedy, 2013].

Появление сенсорных сетей в локальных системах природоохранного назначения и решений в рамках концепции «Интернета вещей» радикально повышает комфортность среды обитания, прежде всего, за счет максимальной открытости экологической информации и интеграции социальных сетей с мобильными клиентскими устройствами. Уже сегодня наблюдается рост инновационного рынка подобных сервисов на основе инфраструктуры мобильной связи (М2М).

Внедрение «зеленых» технологий, охватывающих все этапы жизненного цикла производимых товаров и услуг, становится характерным и для самого сектора ИКТ. Так, руководствуясь требованиями международных и европейских экологических стандартов (ISO 14001:2004, OHSAS 18001:1999, ROHS, WEEE и др.), крупные телекоммуникационные компании приступили к реализации программ снижения вредного воздействия на окружающую среду, а экономия

¹⁰ Включая данные о местности и объектах, расположенных на поверхности Земли, в ее подповерхностном слое, приповерхностном слое земной атмосферы и околоземном пространстве, необходимых для использования в различных сферах.

электроэнергии, в свою очередь, позволяет существенно сокращать эксплуатационные расходы компаний.

Распространение интегрированных систем в здравоохранении. Здравоохранение становится одним из самых многообещающих рынков для ИКТ. В среднесрочной перспективе (до 2020 г.) ожидается массовое внедрение электронных паспортов здоровья, распределенных сетей телемедицинских центров, систем контроля качества и безопасности лекарственных средств и медицинских услуг.

К 2025 г. повсеместно будут использоваться медицинские микроустройства, встраиваемые в тело человека [Саритас, 2013; Каминский и др., 2013] и поддерживающие его жизненно важные функции; технологии обмена унифицированной информацией между транспортными средствами; методы позиционирования и идентификации объектов в концепции «Интернет вещей»; перспективные платформы сбора, обобщения и представления контента и знаний.

По мере увеличения ценности здоровья в системе национальных приоритетов возникают новые медико-технологические и социальные вызовы, связанные с изменениями в демографической структуре населения. Благодаря развитию биомедицинских технологий значительно расширяются возможности влияния на показатели здоровья, о чем свидетельствуют успехи в борьбе с наиболее опасными для жизни заболеваниями, достигнутые в развитых странах за последние десятилетия.

В ближайшее время будут созданы специализированные порталы и системы круглосуточного мониторинга ключевых физиологических параметров человека на основе мобильных решений. Системы удаленного мониторинга пациентов посредством специализированной сенсорной сети индивидуальных медицинских приборов с подключением к компьютерам либо смартфонам через интерфейсы, стандартизованные по требованиям профилей IEEE и ISO, позволят сократить пребывание больных в стационаре, а после выписки врачи смогут отслеживать динамику их жизненных параметров, чтобы предупреждать критические состояния и оказывать консультативную помощь.

Высокий уровень соответствующей инфраструктуры свидетельствует о степени готовности лечебных учреждений России к новым формам применения ИКТ. По данным за 2011 г., 94% из них использовали Интернет, 74% — располагали широкополосным доступом, каждое второе (47%) имело собственную веб-страницу или сайт [НИУ ВШЭ, 2013а].

Интенсивное развитие диагностики и лечения в сочетании с экстенсивным наращиванием инфраструктуры охраны здоровья составляет основу среднесрочных (2015–2020 гг.) национальных программ и в России, и в ведущих странах. В последних быстро растет число пожилых людей, располагающих финансовыми ресурсами для повышения качества жизни. Тиражирование разработанных для этих стран технологических и социальных решений становится возможным при снижении их стоимости в условиях быстрого роста масштабов рынка. Усиление защитных свойств организма с применением ИКТ, востребованное указанной возрастной группой, скорее всего,

приведет к появлению широкого спектра «разрушающих» инноваций, способных радикально изменить облик здравоохранения.

Развитие технологий для персонализированной медицины. Благодаря достижениям в области цифровых технологий молекулярного дизайна, медицинской визуализации и методологии анализа новых типов данных в последнее десятилетие активно развивается персонализированная медицина. По данным исследовательской группы Tufts Center (США), за период 2010–2015 гг. инвестиции в эту сферу должны вырасти на 50% [FDANEWS, 2010]. Использование геномной информации в долгосрочной перспективе позволит получить «личные» лекарства для многочисленных патологий. Их преимущества проявятся при лечении тяжелых социально значимых заболеваний.

Применение технологий дистанционного слежения за телодвижениями пациента поможет в лечении расстройств центральной нервной системы, обусловленных последствиями инсульта или иных заболеваний. Разработка беспроводных датчиков способствует созданию средств удаленного мониторинга, позволяющих заблаговременно обнаруживать болезни и исключить потребность в ежегодных скринингах. Появятся средства обработки мультимедийной информации в сетях хранения путем распараллеливания операций выявления семантических связей («новые истории болезни»).

По мере совершенствования методов и алгоритмов аналитической обработки «больших данных» будут созданы технологии формализации и извлечения знаний, что позволит применять прогностические мультивариантные биомаркеры для профилактики и лечения заболеваний. Массовые предварительные генетические обследования пациентов, основанные на использовании мощных вычислительных ресурсов и сложных алгоритмов, способны существенно сократить заболеваемость инсультом и онкологией.

Среди ИКТ-продуктов, применяемых в персонализированной медицине, — методы и алгоритмы анализа изображений, комплексные статистические методы и технологии компьютерного обучения персонала. В долгосрочной перспективе (до 2030 г.) на рынках фармацевтики и медицинского оборудования ожидается существенный рост доли затрат на ИКТ.

Превращение ИКТ в значимый фактор повышения качества жизни для людей с ограниченными возможностями. ИКТ позволяют сделать жизнь инвалидов полноценной, обеспечить им физическую, социальную, когнитивную и эмоциональную стабильность.

В настоящее время разрабатываются интерфейсы пользователей для систем лечебно-профилактического назначения с носимыми цифровыми устройствами по каналам «Интернета вещей» на базе новых когнитивных принципов. Проведены первые эксперименты по объединению нервных клеток и цифровых устройств в единую систему (создание нейрокремниевых интерфейсов) для подключения протезов органов и частей тела к нейронным сетям мозга и нервной системе. Реализация этого тренда будет определяться развитием инновационных моделей человеко-машинного

интерфейса, основанных на достижениях когнитивных наук.

В среднесрочном периоде (2015–2020 гг.) получат широкое применение устройства компенсационного назначения (зрение, слух, тактильные ощущения и т. п.), интегрируемые с персональными коммуникационными и иными приборами (бытовая техника и электроника, транспортные средства и др.); в отдаленной перспективе — экзоскелеты для восстановительного лечения пациентов, изготавливаемые по технологии 3D-печати.

Значительно увеличится число рабочих мест с гибкими формами занятости (коворкинг, высококвалифицированный надомный труд), расширится сеть центров обработки вызовов для слабовидящих и слепых людей. Продолжится развитие дистанционных образовательных технологий и социальных сетей профессионального общения для индивидов с ограниченными возможностями. Выявление механизмов целенаправленного взаимодействия людей в сообществах посредством виртуального общения; разработка новых поколений интерфейсов «человек-машина», технологий распознавания речи, гибридных моделей когнитивных механизмов и речемыслительной деятельности человека; мобильные приложения, предлагающие различные интерфейсы между «Интернетом людей» и «Интернетом вещей», — все это позволит значительно интенсифицировать взаимодействие пользователей указанной категории с цифровой средой.

Развитие средств трехмерного моделирования для биомедицинской инженерии. В течение 15–20 лет, по мере реализации концепций интеллектуальной среды обитания и «Интернета вещей», существенно трансформируется инфраструктура здравоохранения. Развитие ИКТ-сервисов телемедицины обусловлено созданием в ближайшие годы комплекса процедур, обеспечивающих адекватный и надежный обмен медицинскими данными на расстоянии. Применение облачных и grid-технологий к 2020–2025 гг. позволит медицинским учреждениям совместно использовать высокотехнологичную аппаратуру.

Эффективность технологий виртуальных сцен и дополненной реальности вырастет за счет разработки прогрессивных алгоритмов и программ для обработки, хранения и передачи изображений различной природы (рентгеновские, УЗИ, эндоскопия, цитология и гистология, построение 3D-изображений). В хирургической практике повышение точности определения позиции реальных микрообъектов приведет к появлению новых поколений инвазивных и неинвазивных методов диагностики и проведения операций.

Технологии построения сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени (компьютерное зрение сверхвысокого разрешения) стимулируют совершенствование дистанционных методов диагностики. Особое значение эти инструменты приобретут в телерадиологических системах.

Медицинские исследования, связанные с ИКТ, все активнее выходят на наноуровень, в их числе — разработки в области геномной инженерии (молекула ДНК имеет ширину 3 нанометра), биосовместимое протезирование (искусственные молекулы), целевая доставка

лекарств в больные клетки с помощью наночастиц и многое другое. Биоинформатика нацелена на исследование геномов, анализ и предвидение структуры белков, изучение взаимодействий молекул белка между собой и с другими молекулами, а также на моделирование процессов эволюции [ЦМАКП, 2011]. Появился специальный термин «биология на кремнии» (*in silico*), т. е. проведение биологического эксперимента на компьютере.

Технологии моделирования и прогнозирования

Сегодня заложены теоретические основы построения метамоделей с высокой вычислительной эффективностью и требуемой точностью. Метамоделей «обучаются» по множеству прототипов входных и выходных данных, а потому тесно связаны с инструментарием извлечения информации (*data mining*) — выявлением скрытых закономерностей или взаимосвязей между переменными в больших массивах необработанных данных.

Использование в построении метамоделей многодисциплинарной оптимизации позволит в дальнейшем существенно ускорить расчеты, снизив количество дорогостоящих натурных или вычислительных экспериментов.

Развитие средств предсказательного моделирования систем и объектов. Растущий спрос на информационные системы с применением технологий предсказательного моделирования для проектирования и управления социальными и производственными процессами обусловлен развитием сложных технологических систем и увеличением масштабов ущерба от техногенных катастроф. Предсказательное моделирование характеризуется, прежде всего, уровнем адекватности модели реальным условиям и временем реакции на запрос.

В 2015–2020 гг. преобладающее развитие получит технология метамоделирования на основе математических моделей, строящихся по результатам машинного обучения (*machine learning*) на многочисленных натурных и/или вычислительных экспериментах с различными объектами рассматриваемого класса. Фактически они имитируют как источники получения данных на базе соответствующей исходной модели, так и сами модели, созданные по результатам изучения физики процессов. Носящие название «суррогатных» (*surrogate models*), они, как правило, имеют повышенную вычислительную эффективность на фоне исходных [Gorissen *et al.*, 2010]. Значительный эффект от реализации указанных технологий ожидается уже к концу текущего десятилетия.

Развитие технологий и инфраструктуры выделенных центров предсказательного суперкомпьютерного моделирования. Предсказательное моделирование природных, инженерных и социальных систем на суперкомпьютерных платформах не просто помогает исследователям формулировать гипотезы и сценарии, но и в значительной мере снижает риски принятия решений. Уже к 2020 г. преобладающей парадигмой работы суперкомпьютерных платформ станут облачные высокопроизводительные вычисления (HPC), однако их быстрдействие и масштаб пока еще недостаточны.

Создается модель вычислительного сервиса, получившая название «НРС в виде сервиса» (НРС as a service, НРСaaS), подразумевающая простой интерфейс для доступа к ресурсам высокопроизводительных систем.

Как полагают эксперты, в период 2020–2025 гг. стандартизированные интерфейсы доступа к совместно используемой инфраструктуре (в том числе на тонких и мобильных клиентских устройствах) повысят эффективность командной работы исследователей, инженеров и технологов независимо от их местонахождения. Модель сервиса НРСaaS повышает доступность процессов предсказательного моделирования, многократно ускоряя расчеты и снижая потребность в дорогостоящих натурных либо вычислительных экспериментах, что создает качественно новые возможности для распространения этих методов в научных исследованиях и инжиниринге.

Развитие ИКТ-сервисов предсказательного моделирования социально-экономических явлений. Предсказательная аналитика (predictive analysis, PA) представляет собой совокупность технологий, методов и алгоритмов для составления прогнозных моделей, позволяющих проецировать в будущее накопленные (в том числе исторические) данные, свойства, проявившие себя в прошлом и имеющие тенденцию к сохранению в будущем. Динамика ее рынка опирается на известные технологии сбора данных — кластеризацию, деревья решений, регрессионное моделирование, нейронные сети, глубинный анализ текстов (text mining) и проверку гипотез. В связи с необходимостью обработки огромных массивов неструктурированной информации создаются методы семантического анализа текстов и технологии работы с «большими данными», в результате активно распространяется предсказательное моделирование.

В среднесрочной перспективе (2015–2020 гг.)¹¹ ожидается появление актуальных экономико-математических моделей для инновационного бизнеса. Ведущие компании (SAS, SPSS (IBM), KXEN, Oracle и TIBCO) оперируют перспективными математическими методами (например, статистическая теория обучения, применяемая к большим объемам исходных данных), позволяющими создавать устойчивые прогнозные модели с учетом множества переменных. На этой основе развиваются ИКТ-сервисы предсказательного моделирования социально-экономических явлений, способные повысить эффективность государственного и муниципального управления (в частности, сервисы для структурирования новостных потоков в социальных сетях и профессиональных веб-сообществах).

Радикальное сокращение сроков и стоимости проектирования, повышение качества продукции благодаря использованию метамоделей. Применение методов моделирования и прогнозирования напрямую повлияет на изменение требований к средствам технологической подготовки производства, контрольно-измерительным приборам и т. д. Их комбинирование с предсказательным моделированием при обработке

причинно-следственных связей, характеризующих развитие сложных событий (complex event processing, CEP), усовершенствует проектирование систем массового обслуживания клиентов [Etzion, Niblet, 2010].

В ближайшие годы повысится эффективность метамоделей в производстве при расчете надежности оборудования (оценка наработки на отказ), когда меняются логистика поставок комплектующих, условия работы поставщиков и иные внешние обстоятельства.

В более отдаленной перспективе (2020–2025 гг.) появятся программные комплексы для решения задач проектирования, конструирования, моделирования и инжиниринга сложных технологических объектов и систем, простые в эксплуатации и не требующие высокой квалификации пользователей.

Развитие технологий ресурсоемкого компьютерного моделирования материалов и процессов. Подобные разработки создадут основу для повышения конкурентоспособности ряда экономических секторов. Вычислительное материаловедение является одним из наиболее перспективных рынков наукоемких ИКТ-сервисов. Оно позволяет проектировать системы на наноуровне посредством многоуровневого моделирования при стремительном увеличении объемов обрабатываемой информации.

Наряду с этим получат широкое распространение проектно-конструкторские комплексы в энергомашиностроении при моделировании структуры, свойств конструкций и материалов в экстремальных условиях, системах управления жизненным циклом сложных инженерных объектов и т. д.

На базе выявленных механизмов физиологии человека, включая процессы, интегрирующие биологические и алгоритмические способы обработки информации, к 2020–2030 гг. появятся коммерческие приложения, основанные на эффектах виртуальной и расширенной реальности, использующие весь комплекс каналов восприятия информации человеком.

Технологии инженерии знаний

На стыке теории обучающихся систем, когнитивной психологии и исследований в области искусственного интеллекта получили развитие алгоритмы и методы инженерии знаний. Последняя распространяет понятия, которые в разработках по искусственному интеллекту относились лишь к компьютерам (machine learning), на любую обучающуюся систему (learning system). Проблема «больших данных» усиливается необходимостью управления колоссальными объемами разноформатной неструктурированной информации, не вписывающейся в традиционный формат. Это сформирует спрос на инструменты для установления взаимосвязей между данными и получения на их основе значимых выводов. Ожидаемая высокая динамика технологий связана с тем, что изменения средств обработки информации, обусловленные проблемой «больших данных» и появлением новых аналитических инструментов (next-generation business intelligence)¹²,

¹¹ Ситуацию на мировом рынке в этой области характеризуют поглощения компаний SPSS и Business Objects соответственно корпорациями IBM и SAS и регулярное проведение международной конференции «Predictive Analytics World», посвященной приложениям предсказательной аналитики для бизнеса.

¹² Средства формализации и гармонизации знаний, персональные аналитические системы, инструменты аналитики для работы с неструктурированными данными (в том числе для мобильных устройств).

заставляют ИКТ-компании оперативно воплощать их в продукты и услуги для получения конкурентного преимущества.

Появление программных систем извлечения и формализации знаний из неструктурированной и слабоструктурированной информации. Повышению эффективности работы с «большими данными» будут способствовать совершенствование технологий высокопроизводительного семантического анализа, создание аппаратно-программных платформ, учитывающих специфику семантических баз данных и формирования баз знаний.

Разработаны первые высокопроизводительные системы, осуществляющие такой анализ, в том числе в реальном времени, на принципах модели распределенных вычислений MapReduce, предложенной Google и распространенной в решениях с открытыми кодами Hadoop. Потенциальными сферами их применения являются бизнес-аналитика, биоинформатика, медицина, телекоммуникации, логистика, анализ социальных сетей, поисковые системы. В США рынок семантических баз данных оценивается в десятки миллиардов долларов [Read, 2012].

В России становление рынка систем формализации знаний откроет новые возможности снижения и предотвращения загрязнения окружающей среды, переработки и утилизации техногенных образований и отходов, экологически безопасной разработки месторождений и добычи природных ресурсов, снижения риска природных и техногенных катастроф. Это стимулирует спрос на специалистов новых профилей: экспертов в области алгоритмов работы с «большими данными» (data scientist), архитекторов семантических баз данных и знаний (data architect), проектировщиков пользовательских запросов и специалистов, способных учитывать опыт пользователей (user experience designer).

Возникновение систем машинного обучения, основанных на новых методах и алгоритмах. Системы «машинного обучения» (machine learning) выявляют закономерности в содержимом баз данных (по «обучающим выборкам»). Они позволят классифицировать объекты с целью визуализации, кластеризации и прогнозирования поведения потребителей (автоматизации маркетинговых исследований, формирования адресных предложений, персонализации сервисов, повышения удовлетворенности и лояльности клиентов, эффективности их привлечения и удержания и др.).

Подобный подход сможет активно применяться и в ряде других приложений, в частности при разработке самообучающихся систем машинного перевода, использующих языковые соответствия между самим текстом и прецедентами результатов перевода.

Создание эффективных форм визуализации информации, контента и знаний. Процесс формирования знаний опирается на интуитивные механизмы мышления, а сами знания приобретают субъективный, экспертный характер. Их эффективная формализация в образовании и поиске нестандартных решений опирается на новые механизмы мотивации к обучению

и самообучению (в том числе на базе технологий дополненной реальности и когнитивной компьютерной графики). Достаточно активно развивается рынок визуализации научной информации.

Конвергенция индустрий компьютерных игр, мобильного контента, кинопроизводства, учреждений культуры проявится в создании социальных веб-сервисов, использующих потоки мультимедийных данных и новые устройства отображения информации.

В течение 10–20 лет можно ожидать значительного снижения стоимости и роста рынка встроенных портативных мультимедийных проекторов; дисплеев, гибко программируемых под конкретные задачи; панелей для взаимодействия с людьми в общественных местах; устройств отображения на легких дисплеях, надеваемых на голову или использующих прямое нейронное подключение; ультратонких мониторов, электронной бумаги и т. п. (технологии OLED и OLEP) [Калин, 2010].

В ближайшем будущем качественно улучшится отображающая способность дисплеев, что — в интеграции с оперированием «большими данными» — повлечет за собой создание аппаратно-программных систем визуализации и построение сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени. А это — основа для формирования комплексных моделей операционной обстановки автоматизированных рабочих мест для различных видов профессиональной деятельности.

Развитие программных систем принятия решений и идентификации ситуаций, репозитории открытых данных (linked open data). Примерно в 2020–2025 гг. лидерами на рынке станут: программные системы поддержки принятия решений, синтезирующих поиск и интеллектуальный анализ данных и знаний, моделирования рассуждений на базе прецедентов, имитационного моделирования, эволюционных вычислений, генетических алгоритмов, нейронных сетей, когнитивного моделирования. Они будут использоваться как для решения задач бизнеса, так и в сфере государственного управления.

Поиск и систематизация информации, размещаемой в репозиториях открытых данных, уже становятся привлекательным рынком услуг для частного сегмента ИКТ-индустрии. С расширением взаимосвязей между хранилищами на основе существующих Web-технологий резко снизится избыточность хранящихся в них информации и знаний на всех уровнях государственного и муниципального управления, что позволит оперативно обновлять открытые данные.

Решение проблем семантической интероперабельности и глобальной идентификации объектов. К 2020–2025 гг. благодаря взаимодействию международных организаций и консорциумов по формированию комплекса открытых стандартов решится задача достижения и поддержания интероперабельности информационных инфраструктур категорий «облачные вычисления» (cloud) и «ИКТ-инфраструктуры сверхвысокой пропускной способности» (grid)¹³. В итоге повысится эффективность процессов цифровизации контента за счет

¹³ Примером реализации модели консорциума для решения комплекса проблем интероперабельности служит деятельность глобального альянса Open Group. Его участниками стали более 400 компаний из разных стран, включая Россию (режим доступа: <http://www.opengroup.org/>, дата обращения 05.06.2012).

его персонализации, оперативного взаимодействия потребителей с производителями и поставщиками, что стимулирует распространение интероперабельных сетевых решений для «Интернета вещей».

Прежде национальные системы электронного документооборота базировались на общих рекомендациях ООН, ISO, ВТО и функционировали (как правило, разрозненно) в локальных либо ведомственных корпоративных сетях (транспорт, таможня, страхование и т. д.). Однако максимальный эффект от системы электронных транзакций может быть достигнут только при условии взаимодействия корпоративных и ведомственных систем. Последнее будет обеспечено формируемой глобальной системой GSI, базирующейся на технологиях радиочастотной идентификации (RFID)¹⁴, с помощью которых социальные структуры в Интернете будут интегрированы с инфраструктурными сервисами («умный город», «виртуальные предприятия» и т. п.). Сближение технологий Web 2.0 и сервисных архитектур породит новые модели бизнеса, совместного использования информации и социальных сетей на базе «Интернета сервисов» (Internet of Services, IoS). В более долгосрочной перспективе технологии массового производства идентификационных меток, средства разработки и тестирования ПО сетевых архитектур приведут к полноценной интеграции «Интернета людей», «Интернета вещей» и «Интернета сервисов».

Адаптивные технологии создания информационных систем

Экономика, основанная на знаниях, сочетает ценности и интересы как сферы создания идей, технологий и контента, так и индустриального производства. Концепция «умного предприятия» предполагает виртуальное объединение структур и процессов адаптивными информационными связями и общим комплексом стандартов, которые вырабатываются в результате совместной деятельности распределенных центров компетенций [Missikoff, De Panfilis, 2012]. Такая модель обладает важным для инновационной экономики свойством масштабируемости (scalability). При увеличении числа участников рынка и объема используемых ими производственных ресурсов после прохождения критической отметки отдача не снижается (как в случае традиционной экономики), а повышается.

По мере усиления конвергенции трех составляющих ИКТ — компьютеров, коммуникаций и контента — будут стремительно развиваться новые технологии создания информационных систем и их приложения (сенсорные сети, работа с пространственными данными, транспортные средства нового поколения, робототехника и т. п.).

Появление новых принципов, моделей и процессов управления большими системами. Реализация модели «умного предприятия» тесно связана с концепцией «Интернета вещей». Ожидается, что к 2020 г. к сети Интернет будет подключено порядка 100 млрд

устройств различного назначения [Velev, 2011, и др.]. Значительную долю клиентов такого охвата будут составлять «вещи» — специализированные устройства, располагающие минимальными по современным нормам процессорными ресурсами и входящие в состав сенсорных сетей. Интеграция последних с мобильными автономными роботами существенно снизит риски, возникающие в сложных и особо опасных производственных процессах. Прогресс технологий сенсорных сетей содействует переходу к новым уровням чувствительности и точности цифровых сенсоров, вследствие чего повышается качество и оборудования, и готовой продукции.

Среди перспективных направлений применения ИКТ в сфере материального производства выделяют: синтез инструментов со средствами производства (станки, приборы, технологическое оборудование); интеграция локальных информационно-управляющих систем с применением сетевых технологий; снижение материало- и энергоемкости продукции; формирование глобальных цепочек создания стоимости; освоение продукции со встраиваемыми информационно-коммуникационными средствами.

К 2025 г. рынок инструментов автоматизации и систем управления производством станет в полной мере «сетевым» и интегрируется в сферу ИКТ. Для реализации стартового потенциала «Интернета вещей» на уровне однозначной идентификации последних потребуется трансформация производственных процессов в большинстве секторов экономики. Повсеместное применение меток RFID и сетей, в которых производственное оборудование, транспортные, складские и иные материальные объекты получают собственные IP-адреса, переведет работу промышленных предприятий в режим «жесткого реального времени». В более отдаленной перспективе будет организована глобальная идентификация субъектов и объектов экономической деятельности (e-ID) в новой парадигме информационной безопасности¹⁵ и получат развитие информационные сервисы на основе инфраструктуры пространственных данных (услуги, учитывающие местоположение пользователя (location-based services, LBS).

Активизируется спрос на средства ИКТ и в сфере грузовых перевозок. Продолжится экстенсивное внедрение интеллектуальных транспортных систем. С расширением глобальной торговли увеличатся масштабы применения логистических систем управления мультимодальными перевозками грузов и пассажиров. Получат развитие инновационные средства сбора данных (в том числе голосовой и RFID-пикинг¹⁶), управления транспортом и логистикой с помощью инфраструктур пространственных данных (движение транспорта, оптимизация расхода энергии и топлива и т. п.). Новые методы транспортного моделирования, прогнозирования и планирования дадут толчок распространению расчетов транспортно-экономических

¹⁴ Технология RFID предполагает передачу с помощью радиоволн информации, необходимой для распознавания объектов, на которых закреплены специальные метки, содержащие как идентификационные, так и пользовательские данные.

¹⁵ Развитие этого направления координируется глобальным консорциумом World e-ID (режим доступа: <http://www.worlde-idcongress.com/>, дата обращения 16.08.2013).

¹⁶ Пикинг — сбор заказов клиентов в логистических инфраструктурах.

балансов и оптимизации транспортной инфраструктуры.

Защита компьютерных инфраструктур на основе принципиально новых парадигм. Адекватной реакцией на расширение источников угроз становится смена парадигмы информационной безопасности — переориентация с «защищенности» на «развитие». Конвергенция телекоммуникаций наряду с распространением социально значимых ИКТ-сервисов (e-banking, e-voting, e-booking, e-application forms и т. п.) актуализировала проблемы идентификации, аутентификации и электронной цифровой подписи. Получают распространение новые поколения сетевых протоколов, специфичных для «Интернета вещей», средства квантовой криптографии и нейрокогнитивные методы обеспечения информационной безопасности. В сочетании с технологиями облачных вычислений они значительно усовершенствуют механизмы выполнения транзакций, базирующиеся на надежной идентификации и аутентификации клиента (как в частной жизни, так и в бизнесе и государственном управлении).

Развитие инновационных подходов к энергосбережению с широким применением ИКТ (smart grid, активно-адаптивные сети). Принятое сегодня определение «smart grid» характеризует концепцию «полностью интегрированной, саморегулируемой и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию. В нее входят все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью автоматизированных устройств в режиме реального времени» [IEEE, 2013, р. 8]. Учитывая роль энергетической инфраструктуры в экономике любой страны, можно сделать вывод о системообразующей роли ИКТ-продуктов этой категории. Среди факторов динамичного роста спроса на них следует выделить повышение эффективности технологий математического моделирования и оптимизацию перспективных энергетических технологий и систем, в частности, для прогнозирования и управления.

Значительный вклад в функционирование систем smart grid (с точки зрения оптимизации работы электрической сети) вносят сенсоры, которые обрабатывают информацию, составляют прогнозы и временно отключают некритичное оборудование для экономии энергии [Bartels, 2009].

Распространение сенсорных сетей. В текущем десятилетии перспективными направлениями использования сенсоров в системных решениях станут «умные» энергетические сети; интеллектуальное управление транспортными потоками; технологии «умного дома»; мониторинг природных и агропромышленных комплексов. Высокий потенциал имеет, например, развитие концепции «сетевое» автомобиля, в котором интегрированы услуги навигации, связи и обмена информацией с другими автомобилями [Минобрнауки России, 2010].

В мировой практике накоплен опыт реализации проектов «умных» инфраструктур: «London congestion charging system» (автоматическое наложение штрафов на владельцев автомобилей, въезжающих в центр Лондона по будням); система «I-35 Bridge» в Мин-

неаполисе (Миннесота, США), состоящая из нескольких сотен датчиков для считывания разнообразных показателей — от коррозии до температуры [Bartels, 2009]; «Air Traffic Management Solutions for the Single European Sky» (SESAR) или «River Information Services» (RIS) [European Commission, 2010b], демонстрирующие возможности ИКТ в оптимизации функционирования воздушного и речного транспорта.

Повсеместное внедрение сенсорных сетей в различных секторах экономики может в долгосрочный период по своим позитивным последствиям превзойти эффект распространения Интернета и кардинально изменить роль человека в производственных процессах: взаимодействие элементов таких сетей, связанных с объектами, становится проактивным, предвосхищающим управляющие воздействия человека-оператора. В последующем подобные сети приобретут сложную (и даже, возможно, произвольную) конфигурацию, высокую отказоустойчивость, масштабируемость, а в более отдаленной перспективе — способность к самоорганизации.

Появление интеллектуальных роботизированных систем, способных к адаптивному коллективному поведению. Ожидается интеграция функциональных возможностей беспроводных сенсорных сетей с потенциалом мобильных автономных средств робототехники на основе изучения алгоритмов индивидуального и коллективного поведения интеллектуальных роботов и моделей принятия решений в биологических структурах (нейроморфные вычисления) [Минобрнауки России, 2010]. В долгосрочной перспективе она организует деятельность групп мобильных роботов при отсутствии централизованного управления.

Исследования в этой области касаются анализа совокупной реакции на непредсказуемую динамику внешней среды, неполноту и противоречивость информации о ее состоянии и поведении других участников группы; вариантов достижения цели; распределения ролей в группе и т. д. Перспективным направлением являются и виртуальные роботы (аватары) для общения с пользователями по определенной тематике [Калин, 2010]. Прогнозируется, что роботы вытеснят человека из процессов создания информационного и развлекательного контента, ввиду их большей способности к интерактивному взаимодействию.

Технологии распределенных и параллельных вычислений

Комплексные услуги в сфере распределенных и параллельных вычислений (метакомпьютинг), использующие программные продукты большого объема, найдут применение в ряде секторов (биотехнологии, новые материалы, технологии энергосбережения и т. п.). Расширение функциональных характеристик ПО, продление его жизненного цикла, учет специфики систем и внешней среды, в которой оно используется, приведет к повышению эффективности услуг.

Рост реальной производительности аппаратных платформ метакомпьютинга будет достигаться за счет новых способов решения проблем энергопотребления, увеличения времени наработки компонентов на отказ и параллелизма, создания совокупности типовых

архитектур платформ для инфраструктуры услуг, предоставляемых этой технологией.

Появление архитектур сетей, реализующих новые принципы организации. Решения на базе инфраструктур grid-сетей послужат созданию приложений как в сфере перспективных технологий (нано-, биотехнологии, технологии атомной и альтернативной энергетики, модели управления энергопотоками), так и в массовых социально значимых сегментах рынка ИКТ-сервисов (транснациональные системы непрерывного образования, ИКТ-сервисы для многоуровневых социальных структур категории «e-government», а также для малых и средних инновационных предприятий).

На существующем уровне технологии grid-сетей поддерживаются слабосвязанными крупными конфигурациями компьютеров с несколькими доменами административного управления, значительной степенью автономии, масштабируемостью и неоднородностью ресурсов. С постепенным переходом от модели владения материальными ИКТ-активами (asset ownership) к модели ИКТ-сервисов (service provisioning) будет сформирована база для раскрытия потенциала этих технологий и — в долгосрочной перспективе — конвергенции grid-сетей, Web-сервисов и семантических технологий; интенсивного развития сервис-ориентированных архитектур, обеспечивающих интеграцию массовых сервисов, включая те, что относятся к категории «Интернета вещей»¹⁷.

Создание гипермасштабируемых центров обработки данных для облачных Web-приложений, контент-центричные архитектуры сетей. В развитых странах в ближайшие 5–7 лет для облачных веб-приложений будут создаваться гипермасштабируемые центры обработки данных (ЦОД), однородные по составу оборудования, с десятками тысяч серверов, способных поддерживать работу многочисленных виртуальных машин.

В дальнейшем предполагается объединять инфраструктурные ресурсы каждого узла либо модуля гипермасштабируемых ЦОД в единую микросхему (концепция «сервер на чипе»). Долгосрочной тенденцией в хранении данных является полный отказ от механических компонент (присутствующих в накопителях на дисках).

На уровне аппаратно-программных платформ для ИКТ-сервисов разных уровней сложности уже реализуются (и довольно успешно) подсистемы контроля доставки приложений и средства их оптимизации и акселерации. Они анализируют состояние серверов и функционирующих на них приложений (сервисов), ускоряют работу последних, выполняют балансировку трафика и приложений на локальном (между серверами) и глобальном уровнях, управляют пропускной способностью каналов связи. В результате компания-провайдер обеспечивает заданный уровень доставки приложений и сервисов и предлагает качественные услуги без увеличения затрат на серверные мощности.

Рост «тяжелого» трафика и усиление конкуренции на рынке широкополосного доступа в ближайшие годы могут привести к активной миграции провайдеров на оптоволоконные каналы, обеспечивающие работу растущего количества приложений.

Реализация концепции e-science (grid-вычисления, виртуальные установки и лаборатории). Развитие платформ для параллельной обработки информации в сетях цифровых устройств, содержащих более 1 млрд узлов при скоростях обмена между ними в диапазоне от 1Гбит/с до 1Тбит/с, на базе услуг метакомпьютинга категории e-science будет способствовать снижению порога входа стартапов на рынок наукоемких продуктов в таких секторах, как микроэлектроника, фармацевтика, проектирование новых материалов, биоинженерия.

В долгосрочной перспективе магистральные каналы в ИКТ-инфраструктурах метакомпьютинга мигрируют на оптоволоконную линию сверхвысокой пропускной способности, вырастут эффективность организации межузловых соединений и устойчивость совместной работы сетей и средств хранения данных. В итоге получит поддержку сложная структура сервисов, возникнут стандартные механизмы внешнего регулирования и метрики качества предоставления этих сервисов, что многократно улучшит технико-экономические характеристики аппаратных платформ, алгоритмов распределенных и параллельных вычислений, а также соответствующего ПО.

Развитие метакомпьютинга идет в русле общего тренда «зеленых технологий». Увеличение количества ядер и рост частоты повышает тепловыделение процессоров в составе серверных платформ. Перспективные системы полностью исключают промежуточное воздушное охлаждение, значительно повысив плотность вычислительных ресурсов. В будущем появятся многоядерные процессоры для метакомпьютинга со сверхмалым потреблением энергии.

Реализация методов верификации больших программ для облачных и grid-приложений. В среднесрочный период прогресс технологий разработки ПО пойдет по пути совершенствования методов верификации промышленных программно-аппаратных систем. Уже разработаны и апробированы теоретические основы алгоритмов, обеспечивающих эффективную верификацию¹⁸. В обозримом будущем эти методы станут частью технологического цикла компаний, создающих программы для критических применений.

В ряде случаев технологии верификации актуальны не только для крупных программных систем, но и для сокращения сроков разработки разнообразных приложений среднего уровня сложности, к надежности которых предъявляются особо высокие требования. Пример тому — встраиваемые компьютерные технологии для бортовых систем управления космических аппаратов, военной техники, мобильных телефонов, медицинской аппаратуры и др.

¹⁷ Ведущие позиции в сфере исследований и разработок grid-сетей занимают страны ЕС. Значительную роль в этом играет European Grid Initiative (EGI), предусматривающая создание единой инфраструктуры для всех европейских исследовательских сообществ и их партнеров с других континентов на базе «бесшовной» интеграции существующих grid-систем и инфраструктуры (режим доступа: www.eu-egi.eu, дата обращения 19.07.2013).

¹⁸ Метод проверки модели (model checking) сводится к исчерпывающему анализу всего пространства состояний модели и не требует доказательств теорем на основе формальных аксиом алгебры, арифметики и правил вывода, характерных для классических подходов, что полностью автоматизирует верификацию.

Решение крупномасштабных вычислительных задач. Магистральной тенденцией в разработке суперкомпьютерных систем для крупномасштабных вычислений является создание кластеров (массово-параллельных систем) серверов с процессорами, имеющими большое количество процессорных ядер, с целью масштабирования пиковой производительности. Для самых востребованных классов вычислительных задач (численные методы, моделирование, задачи молекулярной динамики и т. п.) производительность процессорных ядер достигается не столько за счет увеличения тактовой частоты, сколько выполнением большего числа операций с плавающей запятой за один такт процессора.

Перспективными инструментами, активно используемыми при высокопроизводительных вычислениях, стали графические процессоры (graphical processing unit, GPU), отличающиеся высокими техническими характеристиками и возможностью

снижения стоимости их производства на фоне массового спроса. В ближайшие 15 лет подобные системы «научатся» решать задачи из таких областей, как компьютерная алгебра, интеллектуальные системы, моделирование сложного поведения и др., которые требуют высокой производительности оборудования и обработки нечисловых данных либо информации, имеющей сложное представление (динамически порождаемые списки, деревья, графы и т. п.). Расширится спектр специализированных однокристальных процессоров, применяемых в комплексах высокопроизводительных вычислений с неоднородной архитектурой.

Как видим, реализация отмеченных технологических направлений станет важнейшим драйвером практически для всех секторов экономики. В табл. 1 систематизированы принципиально новые продукты и услуги, которые в массовом порядке появятся на рынке в период до 2030 г.

Табл. 1. **Важнейшие перспективные тренды, продукты и услуги в секторе ИКТ**

Тренды	Продукты и услуги
Рост влияния ИКТ на социальные процессы в обществе, развитие человека, появление новых форм социализации и социального взаимодействия	Общедоступные системы автоматизированного обучения для отдельных предметов и специальностей; средства создания виртуальных профессиональных сообществ и новых форм занятости
Развитие рынка мобильных и социальных приложений, игр с высоким рыночным потенциалом	Алгоритмы, устройства и ПО для персонализации контента и технологий дополненной реальности
Вовлечение граждан в управление (citizen dashboards, e-democracy)	Алгоритмы, устройства и ПО для работы с пространственными данными (location-based services) и обеспечения информационной безопасности (препятствуют попыткам деятельности, противоречащей этике поведения в цифровых сетях)
Превращение ИКТ в значимый фактор повышения качества жизни людей с ограниченными возможностями	Алгоритмы и ПО для трехмерного моделирования в задачах биомедицинской инженерии, использования больших массивов цифровых биомедицинских данных, интонационного синтеза речи высокого качества
Развитие технологий для персонализированной медицины	Носимые беспроводные датчики; единые электронные идентификационные документы (социальные и медицинские карты); системы круглосуточного мониторинга важнейших физиологических параметров человека
Распространение интегрированных систем предупреждения рисков для здоровья	Методы, алгоритмы и ПО для удаленного мультимедийного общения через публичные сетевые ресурсы с эффектом присутствия
Расширение возможностей применения ИКТ в интересах охраны окружающей среды и снижения негативного воздействия производства на природу и человека	Алгоритмы и ПО оценки рисков и планирования мероприятий по преодолению чрезвычайных ситуаций в транспортных, коммуникационных и энергетических инфраструктурах
Сохранение культурного наследия в электронной форме	Мультиструктурные и мультимодальные поисковые системы и хранилища информации; алгоритмы и ПО для организации гигантских электронных библиотек
Появление средств предсказательного моделирования систем и объектов; создание моделей прогнозирования на основе данных, поступающих в реальном времени	Алгоритмы и ПО для моделирования физических, химических и биологических процессов, достоверно прогнозирующие результаты междисциплинарных экспериментальных исследований
Радикальное сокращение сроков и стоимости проектирования, повышение качества продукции благодаря использованию метамоделей	Алгоритмы и ПО систем и комплексов предсказательного моделирования социальных, техногенных, климатических, сейсмических, геофизических и т. п. явлений
Развитие новых технологий ресурсоемкого компьютерного моделирования материалов и процессов	Алгоритмы и ПО компьютерного мониторинга и прогнозирования опасных климатических изменений
Появление моделей развития инновационного бизнеса (в том числе «разрушающих» инноваций)	Развитие ИКТ-сервисов предсказательного моделирования социально-экономических явлений
Появление целостных программных комплексов для решения задач проектирования, конструирования, моделирования и инжиниринга сложных технологических объектов и систем	Разработка метаматериалов и ПО для обработки и передачи изображений со сверхразрешением; устройства трехмерного отображения информации в объемах до 1000 м ³
Развитие программных систем принятия решений и идентификации ситуаций на основе сверхбольших массивов и потоков данных, развитие репозитория открытых данных (linked open data)	Аналитическое ПО нового поколения (next generation analytics)

Продолжение табл. 1

Тренды	Продукты и услуги
Развитие мультязычных и мультимедальных систем управления знаниями	Алгоритмы и ПО для формализации и извлечения знаний из слабоструктурированной и неструктурированной информации
Сокращение отставания методов и средств обработки и анализа информации от темпов роста объемов информации	Методы, алгоритмы и ПО для сбора и анализа «больших данных»
Решение проблем семантической интероперабельности и глобальной идентификации объектов	Алгоритмы и ПО для обработки мультимедийной информации в сетях хранения на основе распараллеливания операций выявления семантических связей
Создание эффективных форм визуализации информации, контента и знаний	Устройства и ПО для работы со сценами виртуальной и дополненной реальности; реализация методов виртуального погружения
Создание систем машинного обучения (machine learning), основанных на новых методах и алгоритмах	Алгоритмы и ПО машинного обучения (machine learning), в том числе с опорой на суперкомпьютерные модели распределенных вычислений; алгоритмы и ПО для самообучающихся систем машинного перевода
Моделирование человеческого интеллекта, когнитивные модели сознания и поведения	Алгоритмы и ПО для построения сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени; адаптивные информационные системы, основанные на бесконтактном взаимодействии «мозг-компьютер»
Новые человеко-машинные интерфейсы	Алгоритмы и ПО для распознавания слитной устной речи; методы, алгоритмы и ПО для персонализации и защиты информации, находящиеся под контролем пользователя и не зависящие от устройства доступа; унификация / консолидация абонентских устройств
«Умные инфраструктуры»	Алгоритмы и ПО интеллектуальных транспортных систем; устройства и ПО для идентификации и аутентификации субъектов и объектов экономической деятельности (e-ID); «умные» энергетические сети
Использование более экономичных и гибких моделей ИТ-инфраструктуры	Миграция магистральных каналов на волоконно-оптические линии связи; оптические процессоры для работы в магистральных коммуникационных каналах; ИКТ-сервисы для М2М-инфраструктур
Появление новых принципов, моделей и процессов управления большими системами (социально-экономическими, техническими, транспортными и т. д.)	Алгоритмы и ПО мониторинга инфраструктур энергообеспечения и промышленных предприятий
Создание виртуальных офисов без снижения эффективности коллективной деятельности компаний, предприятий и др.	Алгоритмы и ПО для интеграции ИКТ-сервисов, представляемых через Интернет (включая различные виды аутсорсинга), в процессы деятельности организаций; технологии краудсорсинга в бизнес-процессах
Развитие инновационных подходов к энергосбережению с широким применением ИКТ (smart grid, активно-адаптивные сети)	Автономные необслуживаемые микромощные радиоэлектронные устройства, программируемые по радиоканалу; цифровые устройства, обладающие свойствами репликации и/или самовосстановления
Развитие средств автоматизированного формирования материальных объектов на основе цифровых моделей этих объектов	Методы и средства «искусственного эмбриогенеза» — кодирования процесса поэтапной самоорганизации искусственных материалов и конструкций
Снижение энергозатрат при передаче и хранении информации («зеленые» ИКТ)	Компактные источники энергии для долговременного питания цифровых устройств массового применения; фотонные устройства и компоненты; многоядерные процессоры со сверхмалым потреблением энергии
Защита компьютерных инфраструктур на основе принципиально новых парадигм	Надежные биометрические устройства идентификации личности; алгоритмы, устройства и ПО криптозащиты данных, устойчивой к вычислениям на гипотетическом квантовом компьютере
Появление интеллектуальных роботизированных систем, способных к адаптивному коллективному поведению	Алгоритмы и ПО для организации коллективного поведения в сообществах взаимодействующих роботов
Распространение сенсорных сетей для промышленных применений, интеграция сенсорных сетей и мобильных автономных средств робототехники	Сенсорные сети промышленного применения для встраиваемых средств ИКТ; инфраструктуры широкополосных беспроводных и специализированных сенсорных сетей
Новые принципы организации вычислений, создания вычислительных архитектур, построенных на новых парадигмах	Алгоритмы и ПО для параллельной обработки информации в сетях цифровых устройств, содержащих более 10^9 узлов
Перспективные языки и системы программирования, реализующие новые парадигмы	Инструментальные средства разработки, отладки и тестирования программ для различных классов систем параллельных вычислений
Высокопроизводительные ЦОД	Гипермасштабируемые ЦОД для облачных Web-приложений; контент-центричные архитектуры сетей
Реализация методов верификации (проверки правильности) больших программ для облачных и grid-приложений	Методы, алгоритмы и системы для проверки и тестирования ПО, создающие возможность разработки крупных и свободных от ошибок программных проектов
Появление архитектур сетей, реализующих новые принципы организации	Алгоритмы и ПО для реализации когнитивных, гибридных и адаптивных сетевых архитектур

Источник: ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

Приоритетные направления научных исследований в сфере ИКТ

В рамках долгосрочного прогноза научно-технологического развития были выявлены стратегические направления развития заделных исследований в сфере ИКТ, создающие основу для производства в средне- и долгосрочной перспективе (за пределами 2020 г.) инновационных продуктов и услуг и формирования на этой основе новых рынков [НИУ ВШЭ, 2013б]. Всего были выделены семь масштабных направлений, детализированных в виде нескольких десятков узких областей исследований. Их состав и результаты, которые могут найти практическое использование в самых разных областях экономики и социальной сферы, приведены в табл. 2.

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что сектор ИКТ в средне- и долгосрочной перспективе сохранит

высокие темпы динамики и будет оказывать мощное воздействие на развитие бизнеса и государственного управления, рост качества жизни, появление новых форм социализации людей и их коммуникации. Жизненный цикл технологий, соответствующих продуктов и услуг будет только ускоряться. В этих условиях крайне значимой остается роль научных исследований и разработок.

Среди результатов, ожидаемых в период до 2030 г., — прототипы систем, реализующих новые принципы организации вычислений, и мультязычных программ извлечения и формализации знаний; технологии для работы с гигантскими массивами данных; новые аналитические инструменты (персональные аналитические системы, средства обработки данных, поступающих в режиме реального времени, мобильной аналитики и др.).

Российские ученые в значительной части указанных областей имеют определенные заделы, что, однако, не позволяет говорить о мировом лидерстве. Прорывной

Табл. 2. Перспективные направления заделных исследований в сфере ИКТ

Направления исследований	Ожидаемые результаты
Компьютерные архитектуры и системы	
<ul style="list-style-type: none"> • Экзафлопсные суперЭВМ • Вычислительные алгоритмы и программное обеспечение для систем сверхвысокой производительности • Распределенные системы и архитектуры • Новые архитектуры серверных и персональных компьютерных устройств • Новые парадигмы организации и реализации вычислительных процессов, технологии создания компьютерных устройств 	<ul style="list-style-type: none"> • Прототипы систем, реализующих новые принципы организации вычислений • Прототипы элементов вычислительных систем, реализующих перспективные принципы сопряжения, хранения и информационного обмена • Исследовательские модели и прототипы компонентов вычислительных архитектур, построенных на новых парадигмах (в том числе нейро-, био-, оптических, квантовых), системы самосинхронизации, рекуррентности
Телекоммуникационные технологии	
<ul style="list-style-type: none"> • Технологии передачи информации • Технологии организации сетей • Технологии распространения контента • Технологии и системы цифровой реальности и перспективные интерфейсы взаимодействия человека и ИКТ 	<ul style="list-style-type: none"> • Прототипы сетей и элементов коммуникационных инфраструктур с терабитовыми скоростями передачи информации • Прототипы сетей, реализующих новые принципы организации, в том числе когнитивных, гибридных, адаптивных реконфигурируемых, гетерогенных • Прототипы систем с гарантированным динамическим выделением ресурса • Прототипы исследовательских сетей нового поколения, обеспечивающих передачу больших объемов данных, получаемых в результате научных экспериментов, распределенную обработку научной информации, совместную работу распределенных научных групп
Технологии обработки и анализа информации	
<ul style="list-style-type: none"> • Методы и технологии сбора, обработки, анализа и хранения сверхбольших объемов информации • Технологии работы с мультимедийной информацией • Технологии работы с текстовой и слабоструктурированной информацией • Web-технологии и системы • Технологии анализа информации 	<ul style="list-style-type: none"> • Прототипы мультязычных программных систем извлечения и формализации знаний из неструктурированной и слабоструктурированной информации, а также перспективных средств хранения и анализа знаний • Прототипы, основанные на новых принципах программных систем обработки, поиска, анализа и визуализации, в том числе программные системы принятия решений и идентификации ситуаций на основе сверхбольших массивов и потоков данных • Прототипы программных систем анализа сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени • Исследовательские модели и прототипы программных систем хранения, обработки и анализа сверхбольших мульткомпонентных потоков информации, в том числе медиаинформации
Элементная база и электронные устройства, робототехника	
<ul style="list-style-type: none"> • Технологии автоматизированного проектирования элементной базы • Использование новой элементной базы для создания перспективных ИКТ • Технологии создания сложных функциональных блоков для элементной базы • Робототехника 	<ul style="list-style-type: none"> • Исследовательские и опытные образцы сложно-функциональных блоков интегральных схем с учетом качественно новых эффектов, в том числе взаимного влияния элементов и подложки • Опытные образцы микропроцессоров и коммуникационных сверхбольших интегральных схем на основе самосинхронной логики с локально-асинхронными механизмами самоконтроля и парирования ошибок • Прототипы элементной базы на основе квантовых эффектов, одноэлектроники, спинтроники и фотоники • Прототипы биоподобных и антропоморфных робототехнических устройств, самообучающихся роботов, искусственных нервных систем роботов, систем группового управления роботами

Продолжение табл. 2

Направления исследований	Ожидаемые результаты
Предсказательное моделирование, функционирование перспективных систем	
<ul style="list-style-type: none"> • Моделирование сложных систем и процессов • Интеллектуальные системы управления и поддержки принятия решений • Средства проектирования и поддержки функционирования ИКТ 	<ul style="list-style-type: none"> • Прототипы программных систем предсказательного моделирования сложных систем (технических, социально-экономических, политических, транспортных и др.) и свойств физических, химических, биологических и других объектов с выходом на уровень предсказательной точности и сложности, не достижимый в настоящее время • Прототипы программных систем, реализующих новые модели процессов в природе, обществе, гуманитарной сфере, киберпространстве и других областях • Прототипы программных систем автоматизированного управления большими системами (социально-экономическими, техническими, транспортными и т. д.) на основе новых принципов, моделей и процессов управления • Прототипы программных систем, в которых реализуются гибридные модели когнитивных механизмов и речемыслительной деятельности человека, технологии моделирования человеческого интеллекта • Исследовательские модели и прототипы устройств с новыми принципами организации взаимодействия «человек – компьютер»
Информационная безопасность	
<ul style="list-style-type: none"> • Технологии надежной идентификации и аутентификации в ИКТ • Надежные и доверенные архитектуры, протоколы, модели • Технологии обеспечения защиты персональных данных • Методы и средства биометрической идентификации личности • Противодействие новым вызовам информационной войны и киберпреступности в сфере ИКТ 	<ul style="list-style-type: none"> • Прототипы средств защиты компьютерных инфраструктур на основе принципиально новых парадигм, в том числе квантовой криптографии и компьютинга, нейрокогнитивных принципов • Прототипы перспективных средств и программных систем защиты данных с учетом новых принципов организации информации и взаимодействия информационных объектов, в том числе глобальной интеграции информационных систем, повсеместного доступа к приложениям, новых протоколов Интернет, виртуализации, социальных сетей, данных мобильных устройств и геолокации • Прототипы, основанные на новых принципах программных систем биометрической идентификации, обработки, интеграции и анализа мультимодальных биометрических данных, в том числе в целях их использования в новых областях (социальный Web; приложения, использующие геоконтекст; обеспечение сохранности имущества; игры и др.)
Алгоритмы и программное обеспечение	
<ul style="list-style-type: none"> • Перспективные парадигмы и технологии программирования, языки и системы • Технологии и решения для операционных систем, СУБД и ПО промежуточного слоя • Когнитивные технологии 	<ul style="list-style-type: none"> • Перспективные языки и прототипы систем программирования, реализующие новые и объединяющие существующие парадигмы, в том числе объектно-ориентированные, функциональные, логические, языки спецификаций, «программирование без программиста», предметно-ориентированные, программирование на естественном языке, с поддержкой доказуемости различных свойств программ • Прототипы компонентов перспективного системного программного обеспечения, в том числе обеспечивающие повышение производительности обработки информации, достоверное доказательство выполнения требований, поддержку перспективных архитектур и др. • Исследовательские модели и алгоритмы, адаптируемые к вычислительным системам нового поколения • Прототипы программных систем, реализующих новые модели организации параллельных вычислений • Прототипы программных систем, реализующих новые принципы распределенных вычислений на базе сети компьютеров и мобильных устройств частных владельцев; • Прототипы программных и операционных систем с локально-асинхронными механизмами самоконтроля и парирования ошибок • Исследовательские модели и прототипы автоматизированных и автоматических систем анализа программ (включая доказательство их различных свойств) и преобразования программ (включая оптимизацию по различным критериям, распараллеливание, инверсию, композицию и вывод новых программ из существующих) • Исследовательские модели и прототипы программных систем машинного обучения, основанных на новых методах и алгоритмах, в том числе обработки сверхбольших и разрозненных источников информации

Источник: ИСИЭЗ НИУ ВШЭ.

уровень исследований отмечается в телекоммуникационных технологиях (передачи информации, организации сетей и распространения контента).

Быстрый рост рынков применения указанных научно-технологических достижений прогнозируется в здравоохранении, энергетике, машиностроении и на транспорте, а также в сфере персонального потребления ИКТ-продуктов и услуг. В предстоящие 5–7 лет ожидается развитие распределенных сетей телемедицинских центров, систем контроля качества и безопасности лекарственных средств и медицинских услуг. К 2025 г. получат широкое распространение медицинские микроустройства, встраиваемые в тело человека и обеспечивающие поддержание его жизненно важных

функций; технологии обмена унифицированной информацией между транспортными средствами; методы повсеместного позиционирования и идентификации объектов в концепции «Интернет вещей»; перспективные платформы сбора, обобщения и представления контента и знаний.

Эволюция облачных вычислений, создание новых архитектур и принципов организации вычислений влекут за собой трансформацию ПО и внедрение инновационных изменений в бизнес-стратегии предприятий всех секторов экономики. Колоссальный рост объемов доступной информации приведет к радикальному повышению эффективности управленческих решений.

- Калин А.А. (2010) Иллюстрированные тезисы к прогнозу долгосрочного научно-технологического развития сектора информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) России. М.: РТРС. Режим доступа: <http://strategy2020.rian.ru/load/366077780>, дата обращения 06.06.2013.
- Каминский И.П., Огородова Л.М., Патрушев М.В., Чулок А.А. (2013) Медицина будущего: возможности для прорыва сквозь призму технологического прогноза // Форсайт. Т. 7. № 1. С. 14–27.
- Качкаева А.Г., Кирия И.В. (2012) Долгосрочные тенденции развития сектора массовых коммуникаций // Форсайт. Т. 6. № 4. С. 6–18.
- Минобрнауки России (2010) Основные результаты долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (итоговый доклад). М.: Министерство образования и науки Российской Федерации. Режим доступа: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf>, дата обращения 08.07.2013.
- НИУ ВШЭ (2013а) Индикаторы информационного общества: 2013. Статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ.
- НИУ ВШЭ (2013б) Долгосрочные приоритеты прикладной науки в России / Под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ ВШЭ.
- Саритас О. (2013) Технологии совершенствования человека: перспективы и вызовы // Форсайт. Т. 7. № 1. С. 6–13.
- Соколов А.В., Чулок А.А. (2012) Долгосрочный прогноз научно-технологического развития России на период до 2030 года: ключевые особенности и первые результаты // Форсайт. Т. 6. № 1. С. 12–25.
- ЦМАКП (2011) Исследование взаимосвязей важнейших параметров социально-экономического, научно-технологического и инновационного развития на период до 2030 года. М.: Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования.
- Bartels A.H. (2009) Smart Computing Drives: The New Era of IT Growth. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. Режим доступа: http://www-07.ibm.com/ph/ssmeconference/pdf/smart_computing_drives_the_new_era_of_it_growth_forrester.pdf, дата обращения 08.07.2013.
- BCG (2012) GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future. Boston: Boston Consulting Group.
- Cagnin C., Havas A., Saritas O. (2013) Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations // Technological Forecasting and Social Change. Vol. 80. P. 379–385.
- Christensen C.M. (1997) The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston: Harvard Business School Press.
- Etzion O., Niblett P. (2010) Event Processing in Action. Cincinnati, OH: Manning Publications.
- European Commission (2009) Europe's Digital Competitiveness Report. Volume 1: i2010 — Annual Information Society Report 2009 Benchmarking i2010: Trends and main achievements. COM(2009)390. Brussels: European Commission.
- European Commission (2010a) Facing the future: Time for the EU to meet global challenges. Seville: IPTS, European Commission.
- European Commission (2010b) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Digital Agenda for Europe. Report 26.8.2010 COM 245 final/2. Brussels: European Commission.
- FDANEWS (2010) FDANEWS Drug Daily Bulletin. Vol. 7. № 235 (December 3). Режим доступа: <http://www.fdanews.com/newsletter/article?articleId=132337&issueId=14265>, дата обращения 8.07.2013.
- Financial Times (2012) FT Global 500. Режим доступа: <http://www.ft.com/intl/cms/a81f853e-ca80-11e1-89f8-00144feabd0.pdf>, дата обращения 15.05.2013.
- Forge S., Blackman C., Bohlin E., Cave M. (2009) A Green Knowledge Society: An ICT Policy Agenda to 2015 for Europe's Future Knowledge Society. Final Report. Brighton: SCF Associates Ltd.
- Georghiou L., Cassingena Harper J., Keenan M., Miles I., Popper R. (eds.) (2008) The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Gokhberg L., Sokolov A. (2013) Summary — Targeting STI Policy Interventions — Future Challenges for Foresight // Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies / Eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer. P. 289–292.
- Gorissen D., Couckuyt I., Demeester D., Dhaene T. (2010) A Surrogate Modeling and Adaptive Sampling Toolbox for Computer Based Design // Journal of Machine Learning Research. Vol. 11. P. 2051–2055.
- Haegeman K., Scapolo F., Ricci A., Marinelli E., Sokolov A. (2013) Quantitative and qualitative approaches in FTA: From combination to integration? // Technological Forecasting and Social Change. Vol. 80. P. 386–397.
- Hendler J., Golbeck J. (2008) Metcalfe's Law, Web 2.0, and the Semantic Web // Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web. Vol. 6. № 1. P. 14–20.
- IEEE (2013) IEEE Vision for Smart Grid Communications: 2030 and Beyond. New York: IEEE.
- McLaren R., Kennedy E. (2013) Data is the new currency in the location revolution — who will supply the data? Paper presented at the Annual World Bank Conference on Land and Poverty. Washington, D.C. Режим доступа: <http://www.landandpoverty.com/>, дата обращения 27.07.2013.
- Missikoff M., De Panfilis S. (2012) An Introduction to BIVEE. Режим доступа: <http://wordpress.bivee.eu/resources/newsletter-may-2012/>, дата обращения 14.07.2013.
- OECD (2013) New Sources of Growth: Knowledge-Based Capital Driving Investment and Productivity in the 21st Century. Paris: OECD.
- Read D.S. (2012) The Rise of Semantic Databases. InformationWeek Report. December. London: UBMTech. Режим доступа: <http://www.informationweek.com/gogreen/120512s/>, дата обращения 05.08.2013.
- Sokolov A. (2013) Foresight in Russia: Implications for Policy Making // Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies / Eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov. New York, Dordrecht, London, Heidelberg: Springer. P. 183–198.
- Schulz R. (ed.) (2012) Quality of Life Technology Handbook. London: CRC Press.
- UNIDO (2005) Technology Foresight Manual. Vienna: UNIDO.
- Velev D.G. (2011) Internet of Things: Analysis and Challenges // Economic Alternatives. Vol. 2. P. 99–109.
- Zagaeski P. (2010) Monetizing Digital Content. GigaOm Pro Report. San Francisco, CA: Giga Omni Media, Inc.

Long-Term Trends in the ICT Sector

Alexander Giglavy

Deputy Director for Science, Moscow Lycee no 1533 (Information Technologies). Address: Moscow Lycee no 1533 (Information Technologies), 16 Lomonosovsky av., Moscow, 119296, Russian Federation.
E-mail: giglavy@yandex.ru

Alexander Sokolov

Deputy Director, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, and Director, International Research and Educational Foresight Center, National Research University — Higher School of Economics. Address: National Research University — Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russian Federation. E-mail: sokolov@hse.ru

Gulnara Abdrakhmanova

Director, Centre for Statistics and Monitoring of Information Society, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, National Research University — Higher School of Economics. Address: National Research University — Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russian Federation. E-mail: gabdrakhmanova@hse.ru

Alexander Chulok

Head, Division for S&T Foresight, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, National Research University — Higher School of Economics. Address: National Research University — Higher School of Economics, 20 Myasnitskaya str., Moscow, 101000, Russian Federation.
E-mail: achulok@hse.ru

Vasily Burov

Chairman of the Board, WikiVote! Address: office 2, 7 bld. 1, Fadeeva str., Moscow, 125047, Russian Federation.
E-mail: burov@wikivote.ru

Abstract

Information and communication technologies (ICT) radically transform many areas of human activity thus attracting great attention of researchers. However, the dynamics of ICT development depends on the global challenges and broader trends that define long-term S&T priorities. What factors that will influence the future of the ICT industry? What technological solutions will determine its characteristics in the next 15–20 years? These and similar questions were considered by the HSE ISSEK specialists in co-operation with the colleagues from other research entities while investigating trends in S&T at the global and national levels. The experts have analyzed socio-economic and S&T challenges affecting the ICT sector, advanced R&D fields, markets for innovative products and services, estimated the «windows of opportunities» for Russia. As a result, the strategic directions of blueprint research which ensure the basis for the creation of innovative products and new markets for the medium- and long-term (beyond 2020) perspective. Foresight results have been validated by the representatives of leading companies, research centers, universities and international organizations.

Among the solutions expected in the period up to 2030 are the prototypes of systems implementing the new computing principles and multi-language software for extraction and formalization of knowledge, technologies dealing with «big data», new analytical tools (personal analytic systems, means of the real time data processing, mobile analytics, etc.). Markets for novel technology solutions are expected to be rapidly growing in healthcare, energy, engineering and transport, as well as in personal usage of ICT products and services.

The study allows to conclude that in the medium to long term, the ICT sector will retain a high growth dynamic and will have transformative impact on virtually all areas of human life. The life cycle of technologies, related products and services will shorten. In this context, R&D development plays a crucial role for keeping up with competitors. Russian science has a certain potential in much of the considered areas, although one can hardly perceive Russia as gaining global leadership. A breakthrough level of research is observed, for example, in telecommunication technologies (communication, networking and content distribution).

Keywords

information and communication technologies; long-term foresight; global challenges; trends; priorities; S&T capacities

References

- Bartels A.H. (2009) *Smart Computing Drives: The New Era Of IT Growth*, Cambridge, MA: Forrester Research, Inc.
- BCG (2012) *GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future*, Boston: Boston Consulting Group.
- Cagnin C., Havas A., Saritas O. (2013) Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, pp. 379–385.
- Christensen C.M. (1997) *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Boston: Harvard Business School Press.
- CMAF (2011) *Issledovanie vzaimosvyazei vazhneishikh parametrov sotsial'no-ekonomicheskogo, nauchno-tehnologicheskogo i innovatsionnogo razvitiya na period do 2030 goda* [Studying the Links between the Most Important Parameters of Socio-Economic, Scientific, Technological and Innovation Development for the Period until 2030], Moscow: Center for Macroeconomic Analysis and Short-Term Forecasting.
- Etzion O., Niblett P. (2010) *Event Processing in Action*, Cincinnati, OH: Manning Publications.
- European Commission (2009) *Europe's Digital Competitiveness Report. Volume 1: i2010 — Annual Information Society Report 2009 Benchmarking i2010: Trends and Main Achievements* (COM(2009)390), Brussels: European Commission.
- European Commission (2010a) *Facing the future: Time for the EU to meet global challenges*, Seville: IPTS, European Commission.
- European Commission (2010b) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Digital Agenda for Europe* (Report 26.8.2010 COM 245 final/2), Brussels: European Commission.
- FDANEWS (2010) *FDANEWS Drug Daily Bulletin*, vol. 7, no 235 (December 3). Available at: <http://www.fdanews.com/newsletter/article?articleId=132337&issueId=14265>, accessed 08.07.2013.
- Financial Times (2012) *FT Global 500 2012*. Available at: <http://www.ft.com/intl/cms/a81f853e-ca80-11e1-89f8-00144feabdc0.pdf>, accessed 15.05.2013.
- Forge S., Blackman C., Bohlin E., Cave M. (2009) *A Green Knowledge Society: An ICT Policy Agenda to 2015 for Europe's Future Knowledge Society (Final Report)*, Brighton: SCF Associates Ltd.
- Georghiou L., Cassingena Harper J., Keenan M., Miles I., Popper R. (eds.) (2008) *The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Gokhberg L., Sokolov A. (2013) Summary — Targeting STI Policy Interventions — Future Challenges for Foresight. *Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies* (eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov), New York, Dordrecht, London: Springer, Heidelberg, pp. 289–292.
- Gorissen D., Couckuyt I., Demeester D., Dhaene T. (2010) A Surrogate Modeling and Adaptive Sampling Toolbox for Computer Based Design. *Journal of Machine Learning Research*, vol. 11, pp. 2051–2055.
- Haegeman K., Scapolo F., Ricci A., Marinelli E., Sokolov A. (2013) Quantitative and qualitative approaches in FTA: From combination to integration? *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, pp. 386–397.
- Hendler J., Golbeck J. (2008) Metcalfe's Law, Web 2.0, and the Semantic Web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 6, no 1, pp. 14–20.
- HSE (2013a) *Indikatoriy informatsionnogo obshchestva: 2013. Statisticheskii sbornik* [Indicators of Information Society. Yearbook], Moscow: HSE.
- HSE (2013b) *Dolgosrochnye prioritety prikladnoi nauki v Rossii* [Long-Term Priorities for Applied Science in Russia] (ed. L. Gokhberg), Moscow: HSE.
- IEEE (2013) *IEEE Vision for Smart Grid Communications: 2030 and Beyond*, New York: IEEE.
- Kachkaeva A., Kiriya I. (2012) Dolgosrochnye tendentsii razvitiya sektora massovykh kommunikatsii [Long-Term Trends in the Mass Communication Industry]. *Foresight-Russia*, vol. 6, no 4, pp. 6–18.
- Kalin A. (2010) *Illyustrirovannye tezisy k prognozu dolgosrochnogo nauchno-tehnologicheskogo razvitiya sektora informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologii (IKT) Rossii* [Illustrated Abstracts to the Long-Term Forecast of S&T Development of the ICT Sector in Russia], Moscow: RTRS. Available at: <http://strategy2020.rian.ru/load/366077780>, accessed 06.06.2013.
- Kaminsky I., Ogorodova L., Patrushev M., Chulok A. (2013) Meditsina budushchego: vozmozhnosti dlya proryva skvoz' prizmu tekhnologicheskogo prognoza [Medicine of the Future: Opportunities for Breakthrough through the Prism of Technology Foresight]. *Foresight-Russia*, vol. 7, no 1, pp. 14–27.
- McLaren R., Kennedy E. (2013) *Data is the new currency in the location revolution — who will supply the data?* Paper presented at the Annual World Bank Conference on Land and Poverty, Washington, D.C. Available at: <http://www.landandpoverty.com/>, accessed 27.07.2013.
- MES (2010) *Osnovnye rezul'taty dolgosrochnogo prognoza nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda (itogovyi doklad)* [The Main Results of the Russian Long-Term S&T Foresight until 2030 (Final Report)], Moscow: Ministry of Education and Science of the Russian Federation.
- Missikoff M., De Panfilis S. (2012) *An Introduction to BIVEE*. Available at: <http://wordpress.bivee.eu/resources/newsletter-may-2012/>, accessed 14.07.2013.
- OECD (2013) *New Sources of Growth: Knowledge-Based Capital Driving Investment and Productivity in the 21st Century* (Synthesis Report). Paris: OECD.
- Read D.S. (2012) *The Rise of Semantic Databases. InformationWeek Report. December*, London: UBM Tech. Available at: <http://www.informationweek.com/gogreen/120512s/>, accessed 05.08.2013.
- Saritas O. (2013) Tekhnologii sovershenstvovaniya cheloveka: perspektivy i vyzovy [Human Enhancement Technologies: Future Outlook and Challenges]. *Foresight-Russia*, vol. 7, no 1, pp. 6–13.
- Sokolov A. (2013) Foresight in Russia: Implications for Policy Making. *Science, Technology and Innovation Policy for the Future: Potentials and Limits of Foresight Studies* (eds. D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov), New York, Dordrecht, London: Springer, Heidelberg, pp. 183–198.
- Sokolov A., Chulok A. (2012) Dolgosrochnyi prognoz nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossii na period do 2030 goda: klyuchevye osobennosti i pervye rezul'taty [Russian Science and Technology Foresight – 2030: Key Features and First Results]. *Foresight-Russia*, vol. 6, no 1, pp. 12–25.
- Schulz R. (ed.) (2012) *Quality of Life Technology Handbook*, London: CRC Press.
- UNIDO (2005) *Technology Foresight Manual*, Vienna: UNIDO.
- Velev D.G. (2011) Internet of Things: Analysis and Challenges. *Economic Alternatives*, vol. 2, pp. 99–109.
- Zagaeski P. (2010) *Monetizing Digital Content. GigaOm Pro Report*, San Francisco, CA: GigaOm Media, Inc.