

О ПОВЫШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Голосов П.Е.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»,
e-mail: golosov-pe@ranepa.ru*

Развитие производств и целых отраслей, имеющих высокую цифровую зрелость, существенно зависит от обеспеченности вычислительной инфраструктурой, позволяющей реализовать управление объектами интернета вещей, цифровыми двойниками и иными цифровыми сущностями. По ряду причин возможность экстенсивного расширения доступа к ресурсам сегодня является ограниченной. Это остро ставит вопрос об эффективности использования имеющейся инфраструктуры, в особенности для вычислительно трудоёмких задач, кроме того, обладающих требованиями по быстродействию, своевременности, надёжности вычислений. Особенную актуальность получает сегодня достаточность средств обеспечения доверия к данным и продуцируемой информации в условиях массового доступа к цифровым платформам, сервисам, средствам коммуникаций. Приводятся оценки энергопотребления отрасли цифровых вычислений Российской Федерации, возможные способы повышения отдачи от имеющейся инфраструктуры. Формулируется комплексный вопрос не только повышения энергоэффективности всей экономической системы, которая обеспечит баланс активного развития как социальной сферы (инфраструктура, удобство, доступность сервисов), так и реального сектора, отраслей промышленности, но и энергоэффективности вычислительной, связанной и иных видов цифровой инфраструктуры, определяющей возможности опережающего развития в ключевых отраслях экономики. В работе рассматриваются способы рационального управления вычислительной инфраструктурой для класса задач с ограничениями, позволяющего сформировать основы повышения отдачи от ряда имеющихся классов вычислительных средств за счет применения дискретных интеллектуальных агентов. Развитие методов данного класса позволяет сформулировать системное направление повышения отдачи от использования цифровых методов как в отдельных отраслях, так и в экономике государства в целом в условиях формирования технологического суверенитета на зримую перспективу.

Ключевые слова: высокопроизводительные вычисления; энергоэффективность вычислений; цифровая зрелость; цифровая экономика.

ON INCREASING THE TECHNOLOGICAL READINESS OF THE DIGITAL ECONOMY WITH THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS

Golosov P.E.

*Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation,
e-mail: golosov-pe@ranepa.ru*

The development of productions and entire industries with high digital maturity significantly depends on the availability of computing infrastructure that allows for the management of Internet of Things objects, digital twins and other digital entities. For a number of reasons, the possibility of extensive expansion of access to resources is locally limited today. This acutely raises the question of the efficiency of using the existing infrastructure, especially for computationally time-consuming tasks, in addition, having requirements or restrictions for speed, timeliness, and reliability of calculations. The sufficiency of means to ensure trust in data and produced information in conditions of mass access to digital platforms, services, and means of communication is particularly relevant today. Estimation of the energy consumption of the digital computing industry of the Russian Federation are given, as well as possible ways to increase the impact of the existing infrastructure. A complex issue is formulated not only

to increase the energy efficiency of the entire economic system, which will ensure a balance of active development of both the social sphere (infrastructure, convenience, accessibility of services) and the real sector, industries, but also the energy efficiency of computing, network communication and other types of digital infrastructure, which determines the possibilities of advanced development in key sectors of the economy. The paper considers ways of rational management of computing infrastructure for a class of tasks with limitations, which allows us to form the basis for increasing the output for a number of available classes of computing tasks enabled by the usage of a certain intelligent agents [discrete] class. The development of such methods allows us to formulate a systematic direction for increasing the output of digital methods application both in individual industries and in the economy of the state as a whole in the context of the formation of technological sovereignty for the foreseeable future.

Keywords: High-Performance Computing; Energy-Efficient Computing; Digital Maturity; Digital Economy

Введение

Ключевым документом, в котором формулируется отечественный вектор развития науки и технологий, является Стратегия научно-технологического развития [1]. Её основные положения заключаются в следующем. В целях создания наукоёмкой продукции [там же, п. 4 е, ж], обеспечения технологического суверенитета [там же, п. 4 и], критически важно повысить восприимчивость экономики к технологическим инновациям и обеспечить замкнутый единый инновационный цикл для проведения научных исследований [там же, п. 11, б]. На фоне формирования экономики данных ускоренно развиваются и внедряются как технологии искусственного интеллекта [там же, п. 15, б], так и другие сквозные технологии. Отмечается необходимость повышения эффективности использования энергетических возможностей [там же, п. 15, е] при существенном возрастании значимости противодействия гибридным и информационным угрозам, включая внутренние [там же, п. 15, ж]. Временные возможности по получению новых знаний сокращаются [там же, п. 16, а], при этом кратно возрастает значимость доминирования в научных исследованиях и разработках [там же, п. 16, в]. С учетом вышеизложенного важнейшей задачей становится реализация мер по переходу к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, высокопроизводительных вычислительных систем, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения.

В части создания инфраструктуры, отвечающей современным практикам при внедрении наукоемких технологий, критически важно обеспечить растущие показатели доступности платформ, включающих технологические решения с использованием ИИ, развитие отечественных сервисов, предназначенных для сбора, обработки и хранения научных и иных видов востребованных данных [там же, п. 29, ж].

Развитие различных отраслей экономики в части распространенности и востребованности цифровых методов является неоднородным. В металлургии передовые предприятия демонстрируют наиболее выраженный уровень применения устройств интернета вещей (IoT), в сфере электроэнергетики, нефтегазовой, химической промышленности, в транспортной и строительной отраслях активно применяют вычислительные методы для решения задач моделирования, прогнозирования, управления, и, кроме того, эти отрасли обладают высоким потенциалом дальнейшей интеллектуализации управления. Ключевыми эффектами внедрения цифровых и интеллектуальных решений становятся повышение уровня надежности работы, увеличение скорости принятия решений, снятие рисков, связанных с наличием «человеческого фактора», снижение затрат на реализацию отдельных блоков процессов.

Отдельным элементом цифровизации, имеющей сквозной характер, то есть проникающей в различные отрасли «горизонтально», являются системы искусственного интеллекта. Получили, например, распространение генеративные, большие языковые модели, однако существенным вопросом их развития остается обеспечение доверия к результатам работы, когда это связано с чувствительными сферами подготовки и принятия решений.

В целом к областям, системно увеличивающих спрос на высокопроизводительные вычислительные ресурсы можно отнести все виды обеспечения цифровой безопасности и доверия, обеспечение деятельности массовых публичных сервисов, современные и перспективные производства и предприятия, системы обеспечения деятельности «умных городов», интеллектуальных транспортных систем, включая беспилотные.

В настоящее время наблюдается дефицит вычислительных мощностей, и такого рода тенденция сохранится в среднесрочной перспективе. При этом приоритетом научно-технологического развития является переход к передовым технологиям, в том числе основанным на применении высокопроизводительных вычислительных систем, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения и технологий искусственного интеллекта.

Ряд производств успешно внедрил и поддерживает технологии бережливого производства (*lean management*),

историю происхождения которого принято связывать с компаниями Форд и Тойота. Предлагается рассмотреть аналогичный подход в сфере управления высокопроизводительными вычислительными ресурсами. Поскольку в качестве объектов управления здесь выступают задачи и ресурсы, представимые множествами высокой размерности и мощности, рассмотрим принципы бережливого (рационального) подхода с использованием интеллектуальных методов.

Краткое формулирование принципов бережливого производства (управления) такое – стабилизация процесса формирования ценности для потребителя за счет исключения наблюдаемой неравномерности (неготовность отдельных этапов процессов к переходу в следующее состояние, например, нехватка данных, требуемых для принятия решения) и перегрузки (сверхнормативная нагрузка, возникающая из-за локальных простоев) в управленческих и организационных процессах. Далее остается лишь постоянно улучшать наблюдаемые процессы (управления) и устранять возникающие потери (деятельность, не формирующая ценность для потребителя). Это невозможно без стандартизации самих правил работы и построения процессов. Очевидно, что высокая степень автоматизации и автономизации принимающих решение агентов может оказывать существенное воздействие для достижения целей бережливости, минимизируя нахождение систем в нецелевом состоянии. Таким образом обеспечение компромисса между производительностью системы и пользовательскими ожиданиями становится управляемым и циклическим процессом. Тогда искомой задачей становится такое управление, которое помимо целей бережливости еще и отвечает требованиям масштабирования, то есть сохранению эффективности (быстродействия, точности и др.) при изменении масштабов объектов управления (например, увеличении числа задач или доступного пула ресурсов). Безусловно, бережливые подходы обогащаются операционными методами «шесть сигм». В целом данные подходы нашли свое отражение в производственной системе «Росатома» [2]. С более детальным представлением данных систем оптимизации можно познакомиться в многочисленной специальной литературе.

Интеллектуальные методы в управлении

В ряде отраслей уже продемонстрирован положительный опыт интеллектуальных элементов, применяемых для повышения результативности работы. Так, разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем, стартовавшая в 2008 году, позволяет сформировать основания для реализации нацпроекта «Безопасные и качественные дороги РФ». «Производственная бережливость» здесь выражается в сокращении задержек транспорта на маршрутах на 10%, увеличении пропускной способности дорог на 15%, сокращению времени в пути на 20%, снижении аварийности на дорогах на 25%.

Усиление эффектов стоит ожидать при формировании большей цифровой детализации – цифрового двойника самого объекта управления. В случае транспортных систем это дороги, их оборудование, системы управления потоками, цифровые модели автомобилей и других участников движения. Высокий темп работ по внедрению интеллектуального управления также присутствует на железнодорожном транспорте. Особую актуальность эти методы имеют в сфере управления беспилотных авиасистем.

Важнейшее значение имеет применение интеллектуальных методов в энергетических системах. Например, к числу эффектов от внедрения интеллектуальной энергетической инфраструктуры железных дорог при снабжении стационарных электропотребителей позволяет снизить потери мощности электроэнергии на 23%, повысить ее качество по напряжению на 14%, повысить пропускную способность на 41%, обеспечить повышение надёжности электроснабжения на 7% и сократить затраты на содержание энергетической инфраструктуры оценочно до 20 [3].

Вопросы энергоэффективности

Из [4] следует, что использование цифровых технологий, связанное с мониторингом, получением, обработкой больших объемов данных во всех сферах экономики и жизни населения уже сегодня приводит к потреблению более **5% электроэнергии в мире**, предполагается дальнейший рост такого потребления, примерно вдвое обгоняющий общий рост самого мирового энергопотребления.

Это во многом связано с тем, что распространения цифровых решений неизбежно ведет к росту собственного потребления необходимой для этого инфраструктуры. При текущих параметрах энергоэффективности в этой сфере к 2030 году общее электропотребление цифровой инфраструктурой (ИКТ) может возрасти до 20% в целом, см. Рисунок 1 [5].

В России при энергоизбыточности есть существенные ограничения на доступный объем применимых для целей развития отраслей экономики вычислительных ресурсов. Одним из факторов является недостаточная скорость расширения ресурсных возможностей при стремительном развитии прикладной части (обучение систем

ИИ, развитие технологий цифровых двойников¹ и интернета вещей, противодействие недостоверным сведениям в цифровой среде и пр.).

Направлением активного развития энергосберегающих технологий согласно [6] является и повышение эксплуатационной эффективности зданий и сооружений за счет применения интеллектуальных датчиков и переключателей, используемых для обеспечения климатических условий и уровня освещенности как внутри зданий, так и за их пределами.

Прогнозируемый рост уровня электропотребления дата-центрами в Европе к 2030 г. (в ГВт)¹

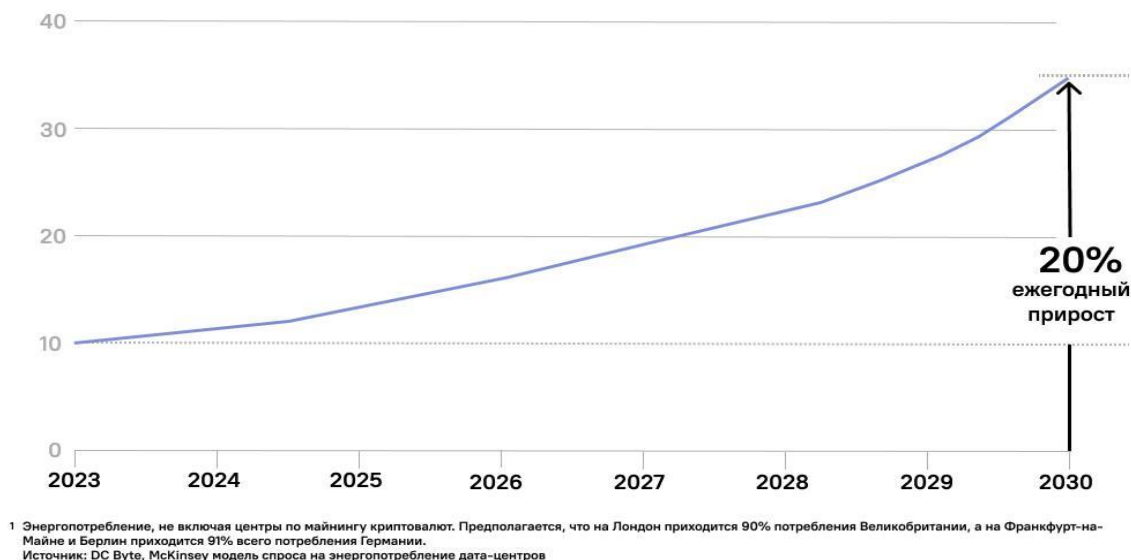


Рисунок 1 – Иллюстрация темпов роста спроса на электропотребление для дата-центров

Электропотребление в РФ составило в 2023 году 1139,2 млрд кВт·ч, при этом условной оценкой потребления ЦОДами и высокопроизводительными системами в их составе можно принять величину около 30 ТВт·ч в год. Потенциальная экономия за счет повышения эффективности управления поможет не только сэкономить 15-20% от этой величины, но и сделать эти ресурсы доступными тем, кто испытывает их острую нехватку.

Таким образом, особую значимость получает задача не только повышения энергоэффективности всей экономической системы, которая обеспечит баланс активного развития как социальной сферы (инфраструктура, удобство, доступность сервисов), так и реального сектора, отраслей промышленности, но и энергоэффективности вычислительной, связанной и иных видов цифровой инфраструктуры, определяющей возможности опережающего развития в ключевых отраслях экономики.

Развитие задачи повышения энергоэффективности всей экономической системы в рамках модели, доведенной до реализации в национальных стандартах (см., например, ГОСТ Р 59341, ГОСТ Р 59349), позволит увеличить возможности развития цифровой инфраструктуры страны в широком спектре направлений. Кроме того, использование процессов управления инфраструктурой системы по ГОСТ Р 59331 позволяет построить более эффективную систему управления развитием как социальной сферы, так и реального сектора, различных отраслей промышленности.

Доверие к данным и информации

Ключевым элементом развития сегодня является и энергоэффективность жизненного цикла данных. Это верно как для отдельных отраслей, так и для жизнедеятельности государства в целом, включая контекст международной представленности и развития. При этом следует отметить, что достигнутая на сегодняшний день низкая стоимость передачи данных в целом требует качественного переосмысления в пользу обеспечения доверия как к самим данным, так и порождаемой на их основе информации. Все это по-новому ставит вопрос об

¹ Согласно международному стандарту ISO 23247-1-2021, цифровой двойник (ЦД) — это цифровое представление производственного элемента с взаимной синхронизацией между ними (элементом и представлением). В российском ГОСТе под цифровым двойником изделия понимается система, состоящая из цифровой модели этого изделия и двусторонних информационных связей с ним и его составными частями.

управлении информационной структурой как таковой, целями ее функционирования и направлениями развития. Необходимо введения понятия «доверия по умолчанию», поскольку взаимодействие пользователей с различных информационных систем сегодня происходит зачастую бесшовно в рамках одного приложения или устройства, методы различения доверенности таких доступов не всегда доступны и однозначны.

Одним из возможных методов решения проблемы доверия к данным и информации, поступающей в рамках недоверенной среды (любые открытые системы связи и передачи информации), является формирование распределенных реестров (блокчейнов), позволяющих реализовать неразрушаемое (устойчивое к деструктивному воздействию) биективное отображение некоторых атомарных единиц (смысловых, информационных) в хронологический ландшафт. Одним из свойств при этом является допустимость неотчуждаемости самих данных от их владельцев с фиксацией факта их возникновения и передачи. Широкое практическое применение такого рода систем уже присутствует в экономическом пространстве Китая, Казахстана, Малайзии [7], на различных этапах внедрения присутствует и в других странах, не говоря в целом о распространенности цифровых распределенных валют вне зависимости от структуры их эмиссии.

Оказывающийся единственно допустимым для ряда применений механизм подтверждения работы при организации блокчейн-сетей требует значительных вычислительных ресурсов, при этом существенно превосходя по стоимости транзакций (четыре-пять порядков), например, классические платёжные системы. Так, общее потребление сети Биткойн в 2024 году [8] несколько больше того, что потребляют такие страны как Египет или Малайзия, при этом разработчиками платформы методически ведется работа по замещению источников генерации в пользу возобновляемых, но при этом неизбежно растет вычислительная сложность самой решаемой задачи, что ставит вопрос об эффективности такого замещения в принципе.

Указанные рассуждения и активное распространение института цифровых валют приводят к необходимости отметить важность направления снижения транзакционной стоимости для блокчейн-систем, в особенности основанных на подтверждении доказательств работы.

Интеллектуальные методы управления системами обработки данных

В управлении многомашинными системами, используемыми в ЦОДах различных видов есть целый ряд направлений для повышения энергоэффективности. Среди них — использование интеллектуальных управления и обвязки для SCADA-систем, реализация эффективного распределения самих вычислительных задач с учетом адаптивной подстройки под их трудоёмкость, темп поступления, иные имеющиеся ограничения, включая своевременность обработки.

Отдельного внимания заслуживает вопрос, обсужденный в [9]. Средний темп прироста рынка, следовательно, и энергопотребления, цифровых двойников составляет минимум около 42%, что денежном выражении объёма рынка на 2024 год оценивается не менее чем в 40 млрд. Долл. США. Высокая конкуренция промышленных производств и готовых продуктов приводит к необходимости кратного наращивания применения цифровых моделей разрабатываемых продуктов. Совместное рассмотрение ряда стандартов [10-12], основных требований к экономике предприятий [13] и работ, посвященных прикладному применению цифровых моделей в промышленности [14-15], разработке программных решений [16], строительстве [17] позволяет сформировать оценку следующего характера. Для широкого спектра промышленных организаций на этапах цифрового эскизного проектирования и прототипирования возможно снизить как число ошибок (доработок), так и высвободить ресурсы на этапах производства за счет минимизации изменений продуктов, где стоимость решения задачи по исправлению ошибки для высокотехнологичного решения оценочно на три порядка превышает таковую на этапе эскизного проектирования с применением цифрового двойника, см. Рисунок. 2.

Развитие цифровой модели в цифровой двойник [18] высокотехнологичного решения неизбежно приводит к задаче своевременной обработки непрерывного потока генерируемых данных, поступление которых возможно в нестационарных режимах. Для их своевременной обработки требуется адаптивно управлять как доступной вычислительной инфраструктурой, так и иметь возможность управлять непосредственно параметрами их точности и полноты.

Несмотря на малое потребление, интеллектуальные элементы управления, как и постоянно подключенные устройства (датчики занятости и контроля, фотоэлементы), в режиме ожидания в целом могут требовать больших энергозатрат, чем непосредственно в режиме фактической работы. К 2040 году ожидается их совершенствование и расширение применения, что позволиткратно повысить энергоэффективность работы, в том числе за счет применения интеллектуальных методов управления такими решениями.

Пример эффектов, достигаемых за счет применения цифрового двойника, представлен производственным комплексом Камаза. Реализация цифрового двойника техпроцесса и специальной управляющей программы для станков с ЧПУ позволила повысить загрузку станочного парка до параметров, отвечающих требованиям

высокоэффективного производства, практически втрое сократить время изготовления детали (было 29 минут, стало 10 минут 12 секунд). Тиражирование подхода обеспечивает экономический эффект с одного станка около 40 млн. рублей, в случае применения на рынке технически сложных запчастей – до 1 млрд. рублей [19].

Выраженные эффекты за счет применения цифровых двойников отмечается и в сфере добычи. Например, проекты «Цифровое месторождение» Роснефти и «Интеллектуальное месторождение» Лукойла позволяют заметно повысить энергоэффективность процессов добычи (5%), на такой же уровень снизить издержки в логистике, формируя дополнительные стимулы развития.

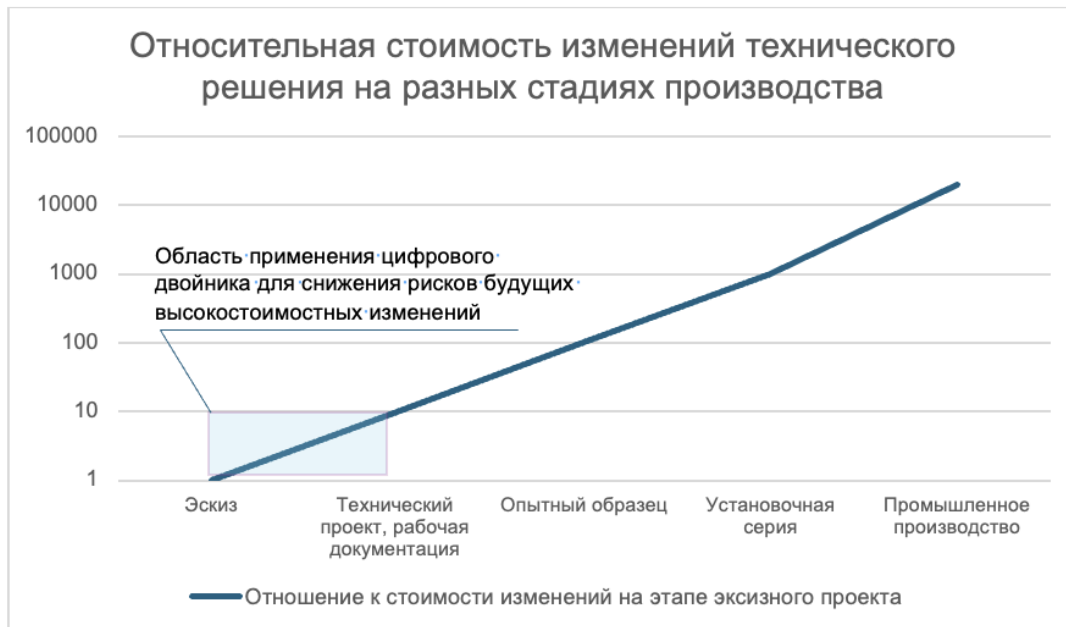


Рисунок 2 - Иллюстрация потенциального влияния цифровой модели промышленного изделия на высокостоимые изменения на различных стадиях проекта

Применение интеллектуальных агентов

Особого внимания заслуживают работы по модернизации архитектуры вычислительных систем, связанные с внедрением интеллектуальных агентов (ИА), отвечающие требованиям бережливого производства, рассмотренные в [20]. Относимые к дискретным интеллектуальным агентам они формируют управление, обеспечивающее сбалансированную декомпозицию задач для обработки, поступающих в непрерывных потоках, к которым не предъявляется требование стационарности, системность (равномерность) задействования вычислительных ресурсов, обеспечивают реализацию режима реального времени при обработке ресурсоёмких задач с ограничениями на время исполнения. Также они отвечают требованиям масштабируемости, когда сложность управления не возрастает при росте числа объектов управления, кроме того, не формируют простоев при «пересчете» значения целевой функции, использование которых характерно для систем планирования, тем самым устраняя возможность простоев и снижая интегральные потери управляемой системы. Применение таких ИА позволяет существенно упростить процессы управления выполнением различных задач. Замена классических планировщиков несколькими интеллектуальными агентами позволяет существенно упростить архитектуру вычислительных систем и повысить их производительность. Примером ИА являются предложенные в [21], обеспечивающие необходимое для многопользовательских режимов качество обслуживания вычислительных задач, в особенности в условиях ограничений на своевременность обслуживания. Такие задачи характерны для систем жесткого и мягкого реального времени, при этом в [21] рассматриваются возможности как существенных ограничений на доступные вычислительные ресурсы (управление энергоэффективностью), так и их адаптивность относительно интенсивности потока поступающих для обработки задач (сложность управления не изменяется при изменении интенсивности входного потока и масштабов доступного решающего поля). Так, например, в этих работах, ориентированных на некоторые промышленные применения достигается трехкратное повышение эффективности работы специализированной вычислительной системы по сравнению с классическими методами планирования в отношении накладных расходов на реализацию задачи управления. Применение данного класса интеллектуальных агентов, обобщение подходов и реализация многоагентных систем управления позволяют обеспечить бережливое управление высокопроизводительными вычислительными системами, обеспечить задел

для роста широкого спектра отраслей экономики.

Заключение

Наличие больших вызовов научно-технологического развития, доступ к современным цифровым платформам, формируют новый технологический запрос на быстрые изменения практически всех сфер экономической деятельности. То, что раньше помещалось в теоретико-практическую рамку идей А.А. Ляпунова, А.Н. Колмогорова, Г.С. Поспелова в части управления динамическими системами, независимости «машин и алгоритмов», методов искусственного интеллекта, как и идей многих других видных ученых, обобщенно относимых к кибернетике, сегодня воплощаются в виде массовых сервисов уже в человеко-машинном виде. Рациональное управление всеми видами доступа к ресурсам не только высвобождает их для новых исследований и продуктов, но и позволяет обеспечивать в целом управляемость роста энергопотребления как важнейшего элемента высокотехнологичной экономики.

Ориентация на снижение затрат при росте доли ИКТ-решений в повседневной деятельности требует новых подходов к их проектированию, организации и сопровождению работы. Одним из путей решения таких задач является расширение использования элементов искусственного интеллекта в различных отраслях науки и техники. Уже зарекомендовавшие себя в экономике (различные виды транспорта, энергетика, строительство, промышленное производство и др.) методы интеллектуального управления применимы и для обеспечения рационального управления высокопроизводительными вычислительными ресурсами, особенно в ситуации с невозможностью их опережающего экстенсивного наращивания. Цели «бережливого производства» хорошо согласуются с интеллектуальным подходом к управлению вычислительными задачами и инфраструктурой, в том числе для реализации систем реального времени для задач с повышенными требованиями качества обслуживания. Подходы к значимому повышению отдачи от вычислительных систем нашли свое отражение в [1] и направлены на повышение готовности различных сфер экономической деятельности к искомой динамике технологического развития.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Официальный портал Президента Российской Федерации. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>;
2. Декларация о Производственной системе «Росатома» [Электронный ресурс] / Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», URL: <https://www.rosatom.ru/about/system/> ;
3. Третьяков Е. А. Оценка эффективности внедрения интеллектуальной энергетической инфраструктуры железных дорог при электроснабжении стационарных потребителей [Электронный ресурс] / Е. А. Третьяков, В. Т. Черемисин // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 4(10). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/410-20>, свободный.– Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.11.2020);
4. Гальперова Е.В. Анализ перспектив применения цифровых технологий в секторах экономики и их влияния на энергопотребление // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. №4 (16);
5. Мазурова О.В., Гальперова. Е.В. Энергопотребление в России: современное состояние и прогнозные исследования // Проблемы прогнозирования. 2023. № 1(196). С. 156-168. DOI: 10.47711/0868-6351-196-156-168
6. Доклад *Digitalization & Energy* [Электронный ресурс] // IEA, Paris, 2017. URL:<https://doi.org/10.1787/9789264286276-en>;
7. «Spark Gateway» was officially released, helping the application system of the «Spark Chain Network» to be comprehensively advanced [пресс-релиз] // China Industry News. 24.07.2024. URL: <https://wap.cinn.cn/p/303392.html>;
8. 60+ Bitcoin Mining and Energy Consumption Statistics For 2024 [пресс-релиз] // Technopedia. 25.03.2024. URL: <https://www.techopedia.com/bitcoin-mining-and-energy-statistics>;
9. Кокшаров В. А. Систематизация факторов энергоэффективности промышленного предприятия // Вестник ПГУ. Серия: Экономика. 2016. №1 (28). С. 147–156;
10. ГОСТ Р 56862—2016 «Система управления жизненным циклом, Разработка концепции изделия и технологий»;
11. ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные термины и определения»;
12. ГОСТ Р ИСО/МЭК12207—2010 «Информационная технология Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств»;

13. Экономика организации (предприятия): учебное пособие / Т. К. Руткаускас [и др.]; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Т. К. Руткаускас. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2018. – 260 с;
14. Балашова Е.С., Майорова К.С. Анализ направлений внедрения цифровых технологий в промышленный комплекс // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 2. С. 18–29. DOI: 10.18721/JE.13202;
15. Лепет Григорий Васильевич Цифровая трансформация промышленного сектора экономики // ТТПС. 2022. №2 (60);
16. Щербаков И. В. Анализ возможностей автоматизированного тестирования программного обеспечения с применением технологий Индустрии 4.0 // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. №7;
17. Fernandes, Rui Pedro Araújo. «Advantages and disadvantages of bim platforms on construction site» (2013), 136р.;
18. ГОСТР 57700.37—2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий»;
19. Пресс-релиз «Цифровой двойник для дизелистов «КАМАЗа» // Официальный сайт Камаз Центр Нижний Новгород, 2021. URL: <https://kamaz-nn.com/czifrovoj-dvojniki-dlya-dizelistov-kamaz/>;
20. Голосов П.Е., Гостев И. М. Анализ эффективности облачной вычислительной системы, обслуживающей поток заданий с директивными сроками выполнения при множественных отказах // Программная инженерия. 2023. Том 14, № 6. С. 278—284;
21. Голосов П.Е., Гостев И. М. Анализ эффективности облачной вычислительной системы, обслуживающей поток заданий с директивными сроками выполнения при множественных отказах // Программная инженерия. 2023. Том 14, № 6. С. 278—284.

References

1. The Decree of the President of the Russian Federation of 28 February 2024 № 145 ‘On the Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation’ [Electronic resource] // Official portal of the President of the Russian Federation. [Electronic resource] // Official Website of the President of the Russian Federation. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>;
2. Declaration on the Rosatom Production System [Electronic resource] / State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, URL: <https://www.rosatom.ru/about/system/>;
3. Tretyakov, E. A. Evaluation of the efficiency of implementation of the intellectual energy infrastructure of railroads in the power supply of stationary consumers [Electronic resource] / E. A. Tretyakov, V. T. Cheremisin // Young science of Siberia: electronic scientific journal. 2020. - № 4(10). - Access mode: <http://mnv.irknps.ru/toma/410-20>, free.- Extract from the screen. - Russian, English;
4. Galperova E.V. Analysis of the Prospects for the Use of Digital Technologies in Economic Sectors and the Impact of Energy Consumption // Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2019. V.4 (16);
5. Mazurova O.V., Galperova. E.V. Energy consumption in Russia: current state and forecast studies // Problems of forecasting. 2023. № 1(196). С. 156-168. DOI: 10.47711/0868-6351-196-156-168;
6. Report *Digitalization & Energy* [Electronic resource] // IEA, Paris, 2017. URL:<https://doi.org/10.1787/9789264286276-en>;
7. «Spark Gateway» was officially released, helping the application system of the «Spark Chain Network» to be comprehensively advanced [press release] // China Industry News. 24.07.2024. URL: <https://wap.cinn.cn/p/303392.html>;
8. 60+ Bitcoin Mining and Energy Consumption Statistics For 2024 [press release] // Technopedia. 25.03.2024. URL: <https://www.techopedia.com/bitcoin-mining-and-energy-statistics>;
9. Koksharov V. A. Systematization of Factors of Energy Efficiency of Industrial Enterprise // Vestnik of PSU. Economics. 2016. V.1 (28). pp. 147–156;
10. GOST R 56862-2016 «Life Cycle Management System. Product Conception and Technologies Development. Terms and Definitions»;
11. GOST 15467-79 «Product-Quality Control. Basic Concepts. Terms and Definitions»;
12. GOST R ISO/IEC 12207-2010 «Information Technology. System and Software Engineering. Software Life Cycle Processes»;
13. Economics of Enterprise: textbook / Т. К. Rutkauskas [et al]; ed. by Dr. of Economics, Prof. Т. К. Rutkauskas. 9. - 2nd ed., revision and addendum - Ekaterinburg: Publishing house of UMC UPI, 2018. - 260 p;
14. Balashova E.S., Mayorova K.S. Analysis of the Directions of Digital Technologies Implementation in the

Industrial Complex // Scientific and Technical Vedomosti SPbSPU. Economic Sciences. 2020. V. 13, № 2. PP. 18-29. DOI: 10.18721/JE.13202;

15. Lepesh G.V. Digital transformation of the Industrial Sector of the Economy // TTPS. 2022. №2 (60);

16. Shcherbakov I. V. Virtual Simulation and Modelling System for Automated Testing of Special Software // Izvestiya of TSU. Technical Sciences. 2023. №7;

17. Fernandes, Rui Pedro Araújo. «Advantages and Disadvantages of Bim Platforms on Construction Site» (2013), 136p.;

18. GOST R 57700.37—2021 « Computer Models and Simulation. Digital Twins of Products. General Provisions»;

19. Press-release “Digital twin for KAMAZ diesel mechanics” // Official site of Kamaz Center Nizhny Novgorod, 2021. URL: <https://kamaz-nn.com/czifrovoj-dvojniki-dlya-dizelistov-kamaza/>;

20. Golosov P.E., Gostev I.M. Performance Analysis of Simulation Models for Cloud Computing Using Artificial Intelligence Elements Radio Engineering and Telecommunications Systems M. 2023.V 2. PP. 29-39;

21. Gostev I. M., Golosov P. E. Analysis of the Efficiency of the Simulation Model of Cloud Computing in Case of Multiple Server Failures, Programmnyaya Ingeneria, 2023, vol. 14, no. 6, pp. 278—284. DOI: 10.17587/prin.14.278-284.