

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Н.А. Куцевич¹, Д.Х. Михайлиди¹, Д.Ю. Петров², А.Г. Бубнов³

¹ФГАУ «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», Стремянный пер., 38, г. Москва, Российская Федерация, 115054

E-mail: n.kutsevich@eipc.center d.mikhailidi@eipc.center

²Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, Рабочая ул., 24, г. Саратов, Российская Федерация, 410028

E-mail: iac_sstu@mail.ru

³Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, г. Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: bubag@mail.ru

Объектом исследования является применение гибридной цифровой платформы для анализа технологических и иных производственных данных промышленных предприятий, которая позволяет эффективно видоизменять функционал программно-аппаратных комплексов в короткие сроки. Актуальность гибридизации информационных систем вызвана проведением санкционной политики в отношении Российской Федерации со стороны мировых лидеров промышленной автоматизации, которая хоть и не привела к остановке производств, использующих зарубежное программно-аппаратное обеспечение, но выявила серьезные риски импортозависимости, которые обуславливают срочность шагов по переходу на локально контролируемые информационные технологии. Особенное беспокойство вызывают производства, использующие различные химико-технологические производственные процессы, в совокупности образующие комплексные химико-технологические системы. Описаны свойства, преимущества и недостатки монолитных цифровых платформ в сравнении с микросервисной технологией для решения задач информационно-управляющего обеспечения. Гибридная технология подразумевает их интеграцию и создает возможности для адаптации существующих цифровых систем, обеспечивает сохранение потребительских преимуществ классических (монолитных) приложений при меньших материальных затратах на надстройку микросервисов по сравнению с тактикой глобальной перестройки автоматизированных систем управления. Микросервисы могут трансформироваться в монолитные системы и наоборот для создания уникального или расширения существующего функционала, что показано на примере создания ситуационно-аналитического центра как инструмента бизнес-аналитики на нефтехимическом предприятии. Отмечена пригодность микросервисных и гибридных технологий при внедрении предиктивных систем управления для решения задач ресурсной и экономической эффективности, а также для построения облачных, распределенных, контейнерных платформ при разработке сервисов, ориентированных на бизнес-модель предприятия и функционирования программного обеспечения в условиях ресурсных ограничений. Показаны некоторые области применения гибридных цифровых платформ обработки больших массивов данных.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, монолитная архитектура, микросервисы, химико-технологический процесс, импортозамещение

Для цитирования:

Куцевич Н.А., Михайлиди Д.Х., Петров Д.Ю., Бубнов А.Г. Применение гибридной цифровой платформы для обработки больших массивов данных химических производств. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 3. С. 77–83. DOI: 10.6060/RCJ.2023673.11.

For citation:

Kutsevich N.A., Mikhailidi D.Kh., Petrov D.Yu., Bubnov A.G. Application of a hybrid digital platform for processing large data of chemical manufacturing. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 3. P. 77–83. DOI: 10.6060/R CJ.2023673.11.

APPLICATION OF A HYBRID DIGITAL PLATFORM FOR PROCESSING LARGE DATA OF CHEMICAL MANUFACTURING

N.A. Kutsevich¹, D.Kh. Mikhailidi¹, D.Yu. Petrov², A.G. Bubnov³

¹Research Institute “Environmental Industrial Policy Centre”, 38 Stremyannyj side-street, Moscow, Russian Federation, 115054

E-mail: n.kutsevich@eipc.center, d.mikhailidi@eipc.center

²Institute of Precision Mechanics and Control Problems of the Russian Academy of Sciences, 24, Rabochaya street, Saratov, Russian Federation, 410028

E-mail: iac_sstu@mail.ru

³Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetevsky Avenue, Ivanovo, Russia, 153000

E-mail: bubag@mail.ru

The object of the study is the use of a hybrid digital platform for the analysis of technological and other manufacturing data of industrial enterprises, which allows fast and effective functional modification of software and hardware systems. The relevance of hybridization of information systems is caused by the sanctions implied towards the Russian Federation by the world leaders in industrial automation, although it did not lead to a stall right now, but revealed serious risks of import dependence, which necessitate the urgency of steps to switch to the own information technology. Particular concern is paid to the manufacturing that is using various chemical-technological processes, which together form complex chemical-technological systems. The properties, advantages and disadvantages of monolithic digital platforms are compared with microservice technology for information management support. Hybrid technology means their integration and creates opportunities for adapting existing digital systems, ensures that the customer advantages of classic (monolithic) applications could be kept with lower material costs by adding microservices compared to the tactics of global restructuring of automated control systems. Microservices could be formed into monolithic systems and vice versa to create unique or expand existing functionality, which is shown by the example of creating a Situational Analytical Center as a Business Intelligence tool at a petrochemical enterprise. The suitability of microservice and hybrid technologies in the implementation of predictive control systems for solving problems of resource and economic efficiency, as well as for building cloud, distributed and container platforms for the development of services focused on the business model of an enterprise and the operation of software under resource limitations is noted. Some areas of application of hybrid digital platforms for processing large amounts of data are shown.

Key words: automated control system, monolithic architecture, microservices, chemical process, import substitution

ВВЕДЕНИЕ

Согласно основным направлениям промышленной революции «Индустрия 4.0», цифровой учет и обработка информации становится основным инструментом управления промышленными процессами во всем мире. Цифровая платформа – это эффективное взаимодействие участников производственного жизненного цикла, которое

позволяет качественно и экономически обоснованно разрабатывать продукты или услуги. Существует множество как отечественных (Business Studio, 1С, Trace Mode, Галактика), так и зарубежных продуктов (ARIS, SAP, Oracle, Siemens Opcenter), обеспечивающих обработку и связывание данных локальных уровней автоматизированного управления. Классические, монолитные платформы аккумулировавшие глобальный опыт разра-

боток, используют закрытые исходные коды для защиты интеллектуальной собственности; вместе с тем новым подходом к программированию стали построенные на открытом коде микросервисы. Анализ структуры и особенностей цифровых платформ помогает сделать обоснованный выбор средств автоматизации с учетом функционала программных продуктов, их охвата, архитектуры, скорости изменения внешних и внутренних процессов на предприятии.

К основным целям исследования можно отнести: выявление особенностей монолитных цифровых платформ и наилучших областей их применения для автоматизации/информатизации бизнес-процессов; описание применения микросервисов для интеграции уровней автоматизации предприятия и для создания сервисов часто меняющихся процессов; обсуждение сочетания монолитных систем с микросервисами. Новизна работы состоит в обосновании гибридации существующих систем учета и обработки данных о состоянии предприятия на всех уровнях как метода импортозамещения.

Российские программно-аппаратные продукты (созданные в том числе и с помощью прототипирования), работоспособность которых находится на уровне лучших практик, способны сохранить прозрачность бизнес-процессов для менеджмента и тем самым способствовать устойчивому развитию предприятия. Если заказчикам и разработчикам в процессе замещения импортного программного обеспечения (далее – ПО) удастся использовать преимущества гибридных цифровых платформ, то результат будет достигнут дешевле, качественнее, быстрее.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В сфере промышленной автоматизации химико-технологических процессов (далее – ХТП) используется традиционная иерархическая структура управления от базового уровня датчиков и исполнительных устройств до высших уровней планирования ресурсов предприятия, бизнес-аналитики и управления логистикой [1–3], функционирование которой обеспечивается подготовленным персоналом предприятий (рис. 1). Управление реализуется на монолитной цифровой платформе, обладающей постоянно расширяющимся множеством протокольных наборов (стеков), которые обеспечивают взаимную вертикальную и горизонтальную интеграцию. Массивы технологической и иной информации накапливаются в базу данных реального времени, служащую источником для вычислений алармов и трендов, составления отчетов.



Рис. 1. Схема процессного управления химическим предприятием

Монолиты разрабатываются крупными ИТ-компаниями, хотя есть примеры, когда платформа создавалась собственными силами (Сбербанк) при особых требованиях к информационной безопасности. ПО развивается посредством выпуска обновлений от разработчика, а накопленные компетентности обеспечивают надежность функционала. Архитектура системы и ее адаптация под типовые решения закладываются на этапе планирования, и при необходимости значительного изменения переменных параметров потребуются переделка всей платформы, что, во-первых, затратно и, во-вторых, становится критической проблемой для быстрой перестройки управления. Современные требования к комплексности интеграции автоматизированных систем управления (далее – АСУ) учитывают скорость изменения процессов, повышение вычислительной эффективности, способности к моделированию ХТП [4–6].

Использование монолитов наиболее оправдано для процессов нижних уровней, включая систему управления производством (manufacturing execution system – MES), которые при работе химико-технологической системы близко к проектной мощности относятся к устоявшимся и управляются в режиме реального времени. Проекты с двух-трехлетним горизонтом планирования или с быстрыми сроками реализации обычно реализуются классическим «водопадом» (Waterfall – модель, в которой разработка ПО выглядит как поток, последовательно проходящий фазы анализа требований, проектирования, реализации, тестирования, интеграции и поддержки). Верхнеуровневые системы зачастую контролируются в дискретном режиме и гораздо чаще подвержены изменениям. Здесь также используются монолитные системы (на уровне ERP – Enterprise Resource Planning – планирования ресурсов предприятия), но часто заказчики, исходя из критерия «цена/качество/скорость внедрения», выбирают микросервисы.

Политика постоянных улучшений работы предприятия требует и непрерывной оптимизации технологических и производственных процессов. Благодаря этому расширяется область применения микросервисного подхода, ресурсно более доступного по сравнению с монолитами. Микросервисы более избирательно масштабируют обработку больших данных в отношении наиболее требовательного к вычислительным ресурсам приложения и могут быть быстро и отдельно перестроены при появлении новых объектов или задач управления каждого модуля АСУ, без изменения и востребованности функций других сервисов.

Технология легко тиражируется: появилась возможность упаковывать прикладное ПО в так называемый «контейнер» и передать на тот сервер, где оно будет развернуто, в том виде, в каком его собрал разработчик. Приложение сохраняет целостность и будет корректно работать на любом устройстве, будь то физический или облачный сервер, или обычный компьютер пользователя. Вместе с приложением в контейнер упаковываются и микросервисы, чтобы не переносить их отдельно из рабочей среды АСУ, часто контейнер и представляет собой готовый микросервис. В современных исследованиях [7, 8] подчеркивается востребованность предиктивных методов управления ХТП, которые реализуются на микросервисах и позволяют моделировать трудно измеряемые или не измеряемые технологические данные, а также предсказывать сбои в работе оборудования и формировать перечень мер по их предотвращению [9].

Микросервисы могут создаваться разными командами разработчиков, и внедрение новой модели или оптимизация существующей может происходить без взаимодействия между создателями ее частей и с использованием разного инструментария, но обычно применение этой технологии ставит в зависимость заказчика прикладного ПО от его создателей, и при создании комплексных АСУ группа разработчиков участвует в их сопровождении на протяжении всего жизненного цикла. Кроме того, массовое применение микросервисов может сопровождаться потерей централизованных стандартов разработки и несоответствием требованиям к квалификации эксплуатирующего персонала, что указывает на необходимость их информационной общности.

Следует отметить, что изменяющиеся процессы со временем могут превращаться в устоявшиеся, в этих случаях целесообразно превращать микросервис в составную часть монолитной цифровой платформы. Верно и обратное утверждение

о том, что часть монолитной платформы может превратиться в отдельные микросервисные продукты, которые, в сочетании с монолитным приложением, образуют гибридную цифровую платформу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стратегия развития предприятия на основе принципов ESG (Environmental, Social, and Corporate Governance – экологическое, социальное и корпоративное управление) предусматривает накопление и интеллектуальный анализ массивов данных:

- эксплуатационных, в целях эффективного использования ресурсов для производства конкурентоспособных товаров и услуг [10];

- рыночных, для достижения целевых показателей по каждому отдельному продукту и по каждому отдельному рынку на определенный период, включая качество продукции (как степень соответствия характеристик требованиям ГОСТ Р ИСО 9000-2015, ГОСТ 15467-79).

- экологических, для минимизации воздействия на окружающую среду и одновременного сохранения положительной динамики экономического развития [11].

«Индустрия 4.0» предусматривает создание единого пространства цифровых промышленных и информационно-коммуникационных систем и их взаимодействия без непосредственного участия человека [1]. В промышленные процессы предложено интегрировать киберфизические системы, позволяющие дистанционно менять производственный алгоритм на основе использования данных, полученных в результате обратной связи от потребителей товаров и услуг [12]. Для сокращения сроков создания и себестоимости разработки цифровой платформы становится очевидным выбор в пользу гибридных информационно-управляющих систем, консолидирующих преимущества традиционных монолитных технологий и микросервисов.

В блок-схеме гибридной системы учета и обработки больших массивов данных (рис. 2) невозможно отразить все структурные связи, но основная идея состоит в множественном взаимодействии (на определенном протокольном стеке) монолитных приложений различных уровней автоматизации предприятия (область 4) с микросервисными приложениями (области 1-3), в том числе посредством различных средств виртуализации (область 5).

Микросервисы, в отличие от монолитных приложений, подразделяются не по месту в иерархии систем автоматизации, а по функциональному

содержанию, которое позволяет контролировать множество влияющих на протекание ХТП показателей. Таким образом, применение гибридной платформы решает следующие задачи:

- интеграцию микросервисов в традиционные (монолитные) приложения;
- построение распределенных цифровых продуктов, контейнерных приложений с использованием компонентов с открытым кодом (open source);
- развертывание новых и/или миграции существующих виртуальных машин в единую платформу с гипервизорным управлением.

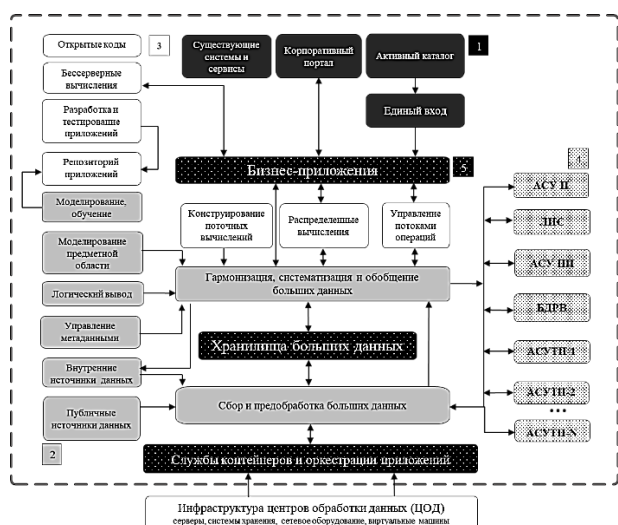


Рис. 2. Обобщенная блок-схема гибридной цифровой системы учета и обработки больших массивов данных. Оттенками и текстурой выделены функциональные области с основными компонентами: 1 – сервис аутентификации и авторизации; 2 – сервисы систематизации метаданных и инструменты моделирования предметной области; 3 – инструменты для разработки; 4 – монолитные системы; 5 – средства виртуализации

Применение гибридных цифровых платформ в химической промышленности рекомендуется при росте количества модулей, которые используют результаты работы микросервиса как источника данных для работы монолитных систем и наоборот, для построения систем контроля качества, повышения ресурсной, экономической и экологической эффективности [13]. Одним из примеров возможной реализации является предиктивная система контроля выбросов загрязняющих веществ, построенная на основе данных АСУ технологического процесса [14–16], внедрение которой минимизирует затраты на создание систем автоматического контроля.

Хорошо зарекомендовали себя гибридные цифровые системы, внедряемые с целью повышения достоверности и удобства представления информации на высшем уровне управления – бизнес-аналитике. С 2015 года на нефтехимическом предприятии ПАО «Сургутнефтегаз» работает ситуационно-аналитический центр (САЦ). Формирование САЦ базировалось на единой объектной модели производственной деятельности предприятия [17]. Средствами САЦ обеспечено согласование и синхронизация специализированных АСУ с физическими объектами, внедрена система управления производственными фондами предприятия (ТОиР), направленная на достижение максимальной доходности промышленных активов. Монолитный ландшафт заложил качественную основу для разноуровневых АСУ, а микросервисы, с одной стороны, осуществили адаптацию процессов под текущие требования и, с другой стороны, позволили внедрить предиктивную аналитику. Последняя включает в себя два процесса: оценивание и сопоставление. Каждый временной период проводится выстраивание графиков на основе лучших практик и запускается менеджмент по минимизации процессных отклонений [18, 19] (рис. 3).

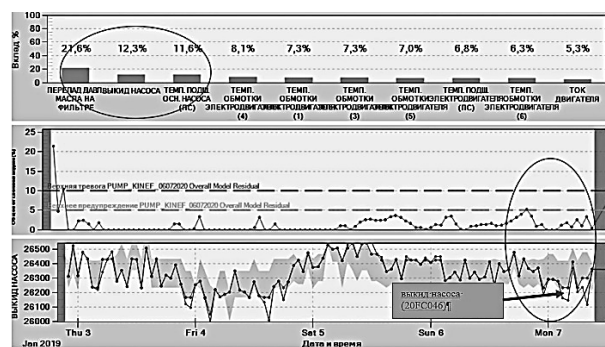


Рис. 3. Графическое представление обнаружения проблем (аномалий) в работе плунжерного насоса P-2003S

Гибридизация существующих систем управления в Российской Федерации во многом обусловлена приверженностью многих зарубежных разработчиков АСУ санкционной политике, в результате чего стало невозможным обновление платформ. Действующие монолиты с микросервисными надстройками способны сохранять адекватность в среднесрочной перспективе и по мере локализации производства технических комплексов в процессе преодоления импортозависимости, использование российского ПО будет расширяться за счет инжиниринга силами персонала предприятий или системных

интеграторов. Одним из главных препятствий для трансформации традиционных цифровых продуктов является их реализация в операционной системе Microsoft Windows, в то время как одним из ключевых требований к локальным разработкам является их реализация в российских операционных системах с ядром LINUX [20]. Откликом рынка на изменившиеся условия конъюнктуры уже стало появление российских продуктов (например, ZIoT, SEDMAX). Они выпускаются как монолитное решение для потребителей, но сочетают в себе микросервисы, которые могут быть легко адаптированы под конкретные запросы заказчика.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система интеллектуального анализа больших данных (операционных, экологических, диагностических) химического предприятия является многоуровневой иерархической (каскадируемой) структурой, которая организует основные бизнес-процессы предприятия. Современные представления о решении задач моделирования, оптимизации и оперативного предсказания аварийных ситуаций связаны с внедрением гибридных систем, использующих накопленные в монолитных платформах данные и аналитически комбинирующие их с текущими результатами в моделях, выполненных на микросервисах.

Оценивая среду, в которой сегодня развиваются технологии, как максимально подвижную и изменчивую, можно с уверенностью утверждать, что при разработке референтной, или типовой модели платформы следует идентифицировать и учитывать максимальный спектр измеримых аспектов воздействия [21, 22]. Применение монолитной технологии имеет ряд преимуществ благодаря возможности использования типовых коммерческих продуктов для адаптации целевых систем, а также

тонкой настройки, модернизации и технического сопровождения желаемого уровня функциональности при помощи прикладных разработок. Такие системы используются в информационном сопровождении всех основных производственных процессов.

Микросервисная технология привела к появлению приложений, ориентированных на оптимизацию и моделирование параметров, нацеленных на отработку условий и факторов, которые влияют не только на функциональные алгоритмы, но и на модернизацию самой платформы. Часто такие приложения строятся на основе данных монолитных приложений и являются их аналитической надстройкой. Для разработки таких приложений часто применяется допускающий маневрирование итеративный подход (agile), для которого ключевым является сам продукт и его качество в соответствии с видением клиента.

Российские разработчики, обладающие достаточным уровнем компетентности, стремятся использовать открывшееся окно возможностей, связанное с уходом с рынка зарубежных поставщиков ПО, и помочь в решении проблемы преодоления импортозависимости, используя гибкие методологии. Продукты различаются по функциональным, рыночным и иным параметрам, но отмечается явный тренд на их совершенствование и развитие. Гибридная цифровая платформа обработки данных ХТП способна объединить множество разнородных программных продуктов и открывает большие перспективы по импортозамещению в области автоматизации систем управления [23].

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhiu A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering. Mendeleev Commun. 2021. V. 31. P. 593. DOI: 10.1016/j.mencom.2021.09.003.
2. Мешалкин В.П. Основы интенсификации и ресурсо-энергоэффективности химико-технологических систем. М: Принт Экспресс. 2021. 442 с.
3. Егорова Н.Н., Руденко Л.Г. Известия Высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством». 2022. № 4(54). С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.6060/ivecofin.2022544.627>.
4. Мешалкин В.П., Дови В., Марсанич А. Принципы промышленной логистики. М: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2002. 722 с.

REFERENCES

1. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhiu A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. Mendeleev Commun. 2021. V. 31. P. 593. DOI: 10.1016/j.mencom.2021.09.003.
2. Meshalkin V.P. Fundamentals of intensification and resource and energy efficiency of Chemical Technological Systems. M: Print Express. 2021. 442 p. (in Russian).
3. Egorova N.N., Rudenko L.G. Ivecofin. 2022. N 4(54). P. 65–72. DOI: 10.6060/ivecofin.2022544.627.
4. Meshalkin V.P., Dovi V., Marsanich A. Principles of the industrial logistics. M: Mendeleev University of Chemical Technology. 2002. 722 p. (in Russian)
5. Reshetnikov I.S. MES. The Strategic Initiative. M: NGSS. 2019. 289 p. (in Russian).

5. Решетников И.С. MES. Стратегическая инициатива. М: НГСС. 2019. 289 с.
6. An overview of Honeywell's layered optimization solution. Электронный ресурс. URL: <https://www.digitalrefining.com/article/1001742/an-overview-of-honeywells-layered-optimisation-solution> (дата обращения 14.07.2023).
7. Брускин С.Н. Модели и инструменты предиктивной аналитики для цифровой корпорации. Математические и инструментальные методы. Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2017. № 5. С.135-139. DOI: 10.21686/2413-2829-2017-5-135-139.
8. Носырева А.А., Абрамов В.И. Предиктивная аналитика – основа для цифровой трансформации компаний. НИЯУ МИФИ. Сб. науч. ст. Межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экономики, учета, аудита и анализа в современных условиях». Курск. 2021. С. 179-182.
9. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: Взгляд изнутри. М: РТ Софт. 2004. 176 с.
10. Розенблюм М., Гарфинкель Т. Мониторы виртуальных машин: современность и тенденции. Открытые системы. № 06. 2005. 12 с. URL: <http://www.osp.ru/os/2005/05-06/185589/> (дата обращения 11.07.2023).
11. Куленцан А.Л., Марчук Н.А. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 1. С. 116–121. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6531.
12. Демидов А.Б. Лабораторные информационные системы LIMS. М: МИТ. 2006. 13 с.
13. Куленцан А.Л., Марчук Н.А. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. Т. 62. Вып. 11. С. 156–160. DOI: 10.6060/ivkkt.20196211.6106.
14. Владов Р.А., Дозорцев В.М., Шайдуллин Р.А., Белоусов О.Ю. Автоматизация в промышленности. 2019. № 12. С. 44–52. DOI: 10.25728/avtprom.2019.12.09.
15. Грачев В.А., Скобелев Д.О., Попов А.Ю. Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 10. С. 43-49. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-10-43-49.
16. Meshalkin V.P., Skobelev D.O., Popov A.Y., Vocciante M., Gonzalez M. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2021. Т. 55. N 4. P. 588-593. DOI: 10.1134/S0040579521040278.
17. Творческий процесс технического прогресса. Электронный ресурс. URL: https://www.kinef.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=470:2015-09-17-09-07-46 (дата обращения 20.07.2023).
18. Целиканов Д., Утешев К. Автоматизация в промышленности. № 2. 2020. С. 12-15. DOI: 10.25728/avtprom.2020.02.03.
19. Reference Architecture Model, Version 3, 2019. International Data Spaces Association. Germany. Электронный ресурс. URL: <https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0-2019.pdf> (дата обращения 11.07.2023).
20. О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации. Указ Президента РФ от 30 марта 2022 г. №166. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001> (опубликовано 30.03.2022).
21. Стороженко П.А., Скобелев Д.О., Малявин А.С., Костылева В.М., Попов А.Ю. Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 4. С. 37-43. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-4-37-43.
22. Almgren R., Skobelev D. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. V. 6. N 2. P. 22. DOI: 10.3390/joitmc6020022.
23. Сизова О.В., Махалкина Е.С. Известия Высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством». 2022. № 4(54). С. 140–151. DOI: 10.6060/ivecofin.20214701.527.
6. An overview of Honeywell's layered optimization solution. Electronic resource. URL: <https://www.digitalrefining.com/article/1001742/an-overview-of-honeywells-layered-optimisation-solution> (accessed 14.07.2023).
7. Bruskin S.N. Bulletin of the Russian University of Economics G.V. Plekhanov. 2017. N 5. P. 135-139. (in Russian). DOI: 10.21686/2413-2829-2017-5-135-139.
8. Nosyreva A.A., Abramov V.I. Predictive analytics is the basis for the digital transformation of companies. NRNU MPhI. Sci. Art. Coll. Int. Sci. Pract. Conf. "Actual problems of economics, accounting, audit and analysis in modern conditions" Kursk. 2021. P. 179-182. (in Russian).
9. Andreev E.B., Kutsevich N.A., Sinenko O.V. SCADA systems: A look from the inside. M: RT Soft. 2004. 176 p. (in Russian).
10. Rosenblum M., Garfinkel T. Monitors of virtual machines: modernity and trends. Open systems. N 06. 2005. 12 p. (in Russian translation). URL: <http://www.osp.ru/os/2005/05-06/185589/> (accessed 11.07.2023).
11. Kulentsan A. L., Marchuk N. A. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2021. V. 65. N 1. P. 116-121. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6531.
12. Demidov A.B. Laboratory Information Management Systems LIMS. M: MIT. 2006. 13 p. (in Russian).
13. Kulentsan A. L., Marchuk N. A. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2019. V. 62. N 11. P. 156-160. DOI:10.6060/ivkkt.20196211.6106.
14. Vladov R.A., Dozortsev V.M., Shaidullin R.A., Belousov O.Yu. Automation in industry. 2019. N 12. P. 44-52. (in Russian). DOI: 10.25728/avtprom.2019.12.09.
15. Grachev V.A., Skobelev D.O., Popov A.Yu. Ecology and industry of Russia. 2020. V. 24. N 10. P. 43-49. (in Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2020-10-43-49.
16. Meshalkin V.P., Skobelev D.O., Popov A.Y., Vocciante M., Gonzalez M. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2021. V. 55. N 4. P. 588-593. DOI: 10.1134/S0040579521040278.
17. Creative process of technical progress. Electronic resource. URL: https://www.kinef.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=470:2015-09-17-09-07-46 (accessed 20.07.2023).
18. Tselikanov D., Uteshev K. Program complex "Energy Management Platform" PJSC MMK. Automation in industry. N 2. 2020. P. 12-15. (in Russian). DOI: 10.25728/avtprom.2020.02.03.
19. Reference Architecture Model, Version 3, 2019. International Data Spaces Association. Germany. Electronic resource. URL: <https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0-2019.pdf> (accessed 11.07.2023).
20. On measures to ensure the technological independence and security of the critical information infrastructure of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation of March 30, 2022. N 166. (in Russian). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001> (published 30.03.2022).
21. Storozhenko P.A., Skobelev D.O., Malyavin A.S., Kostyleva V.M., Popov A.Yu. Ecology and industry of Russia. 2022. V. 26. N 4. P. 37-43. (in Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2022-4-37-43.
22. Almgren R., Skobelev D. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2020. V. 6. N 2. P. 22. DOI: 10.3390/joitmc6020022.
23. Sizova O. V., Makhalkina E. S. Ivecofin. 2022. N 4(54). P. 140–151. DOI: 10.6060/ivecofin.20214701.527.

Поступила в редакцию (Received) 14.08.2023

Принята к опубликованию (Accepted) 20.11.2023