

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АДАПТЕРОВ**О. А. АБЫШЕВ^{1*}, У. М. ДЫЙКАНБАЕВА², У. К. ОМУРАЛИЕВ²¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

*abyшев.o@yandex.ru

² Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Киргизия

Аннотация. Предложена методика построения промышленных агентов с применением технологических адаптеров для интеграции физических объектов к производственной киберфизической системе. Рассмотрены возможности применения и реализации подключения объекта на примере муфельной электропечи. Произведен анализ текущего состояния исследуемого объекта и рассмотрен вариант состава комплектации технологического адаптера. Показан процесс построения промышленного агента — модульной ячейки „Melting Cell“, предоставляющей возможность проведения операций термообработки, плавления и спекания по запросу в качестве сервисного приложения экспериментальной Smart Factory.

Ключевые слова: технологический адаптер, автоматизация проектирования, дискретное производство, киберфизические системы, ICPS

Ссылка для цитирования: Абышев О. А., Дыйканбаева У. М., Омуралиев У. К. Методика построения промышленных агентов с применением технологических адаптеров // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 1. С. 34—42. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-1-34-42.

**METHOD FOR CONSTRUCTING INDUSTRIAL AGENTS
USING TECHNOLOGICAL ADAPTERS**O. A. Abyshev^{1*}, U. M. Dyikanbaeva², U. K. Omuraliev²¹ITMO University, St. Petersburg, Russia

*abyшев.o@yandex.ru

² I. Razzakov Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic,

Abstract. A method for constructing industrial agents using technological adapters for integrating physical objects into a production cyber-physical system is proposed. The possibilities of using and implementing the connection of an object are considered using the example of a muffle electric furnace. An analysis of the current state of the object under study is carried out and a variant of the technological adapter composition is described. The process of building an industrial agent - a modular cell "Melting Cell" is shown. The agent provides the ability to perform the heat treatment, melting and sintering operations on demand as a service application of the experimental Smart Factory.

Keywords: technological adaptor, design process automation, discrete production, cyber-physical systems, ICPS

For citation: Abyshev O. A., Dyikanbaeva U. M., Omuraliev U. K. Method for constructing industrial agents using technological adapters. *Journal of Instrument Engineering*. 2023. Vol. 66, N 1. P. 34—42 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-1-34-42.

Современные тенденции по внедрению цифровых технологий в процессы планирования, конструирования и изготовления продукции, а также управления производством определяют важную роль использования проектного метода как инструмента для успешной модернизации и оптимизации промышленных предприятий [1, 2].

Формируемые динамикой потребительских предпочтений изменения требований внешней среды обуславливают необходимость поиска новых средств и методов повышения конкурентоспособности предприятий на рынках. Такие свойства производственных систем, как

гибкость, скорость выполнения заказов, индивидуализация, неразрывно связаны с использованием современных производственных и информационных технологий [2—7].

Актуальна задача ускорения корпоративных процессов принятия решений, в том числе с учетом большого количества данных и взаимосвязанности между киберфизическими системами и людьми. Повышение качества и доступности информации, а также построение сквозных цифровых процессов на предприятии на всех этапах жизненного цикла „проектирование — изготовление — эксплуатация“ служат основой для быстрого принятия решений [2, 3]. Эффективное использование информации и управление ею, а также системная интеграция могут быть достигнуты только при условии, что указанные процессы обеспечивают управление и обмен данными по всей цепочке поставок и жизненного цикла продукции.

Модернизация существующих предприятий предполагает модернизацию значительной части текущего парка оборудования, которая была спроектирована и изготовлена в соответствии с требованиями иерархической модели организации производственных систем (ISA-95). Это, в свою очередь, требует переосмысления роли и места данного оборудования в концепции современного производства, в частности, определения необходимости разработки методики его интеграции в современные производственные киберфизические системы.

В контексте четвертой промышленной революции широко используется термин „умная фабрика“ (Smart Factory), однако общепринятого его определения на сегодняшний день не существует [8]. При этом объем публикаций по данной теме является подтверждением ее высокой привлекательности в академических и прикладных инженерных сообществах. Актуальность настоящей работы заключается в исследовании и совершенствовании методик подключения legacy-компонентов аппаратного и программного обеспечения для реализации концепции Smart Factory.

Цель настоящей статьи — разработка методики построения индустриального агента с использованием технологического адаптера на примере реализации подключения legacy-компонента к экспериментальной производственной киберфизической системе для повышения ее интероперабельности. В данном случае технологический адаптер выполняет функцию интерфейса для подключения, а legacy-компонент выступает в качестве основы для проектирования индустриального агента — модульной ячейки „Melting Cell“ как сервисного приложения экспериментальной Smart Factory.

В рамках данной статьи авторами рассматриваются следующие понятия.

Цифровое производство, или цифровая фабрика (Digital Factory) — гибкое переналаживаемое программно-управляемое производство, функционирующее на основе единой модели данных об объектах (изделиях), процессах и производственной системе в единой виртуальной среде и реализующее свой жизненный цикл [5].

Производственная киберфизическая система (ПКФС — Industrial (Production) Cyber-Physical System) — в общем плане под киберфизической системой понимается сетевая техническая система, состоящая из взаимодействующих друг с другом цифровых (виртуальных) и физических систем (компонентов); ПКФС является приложением понятия „киберфизическая система для промышленного производства“ [3, 9—11].

Умное, интеллектуальное производство, или умная фабрика (Smart Factory) — способ организации производства, основанный на использовании гибкой, адаптивной архитектуры его построения на базе технологий производственных киберфизических систем [12].

Legacy-компонент — объект аппаратного или программного обеспечения производственной системы, интеграционные и функциональные возможности которого не отвечают требованиям для прямой интеграции и взаимодействия данного объекта с другими компонентами производственной системы. Legacy-компоненты требуют применения специальных устройств для их интеграции в среду производственной системы.

Индустриальный агент, или И4.0-агент (Industrial Agent, I4.0 Agent) — компонент, представляющий физический или логический объект системы, обладающий способностью к взаимодействию с другими агентами для достижения своей цели, если он не способен достичь цели самостоятельно; может выступать в качестве оборудования, робота, продукта, ячейки, инструмента или человека [11, 13]. Индустриальные агенты инкапсулируют соответствующие операции и процедуры в открытой и свободно распространяемой среде, понижая степень гетерогенности программного и аппаратного обеспечения, расширяя при этом традиционный подход, ограничивающий гибкость и способность к реконфигурации производственной системы.

Сервис-ориентированный подход — подход к проектированию, основанный на представлении проекта в виде совокупности сервисов, каждый из которых является отдельным компонентом с фиксированными интерфейсами, выполняющими определенные функции. Архитектурные модели дискретных производственных систем, реализующих сервис-ориентированный подход к проектированию, предложены, например, в [13—15]. Сервис-ориентированная архитектурная модель производственной системы предлагает единую схему взаимодействия сервисов, что обеспечивает гибкость моделей и позволяет принимать своевременные управленческие решения. Одной из важнейших задач проектирования индустриальных агентов является их интеграция с сервис-ориентированной архитектурой.

Технологический адаптер — необходимый компонент для обеспечения интеграции отдельных компонентов, не имеющих собственных стандартизированных модулей для подключения к производственной системе. Технологический адаптер может применяться как для интеграции сторонних решений, так и в качестве интерфейса подключения legacy-компонентов аппаратного и программного обеспечения. Функция технологического адаптера заключается в преобразовании форматов и структуры данных legacy-компонентов для последующего подключения к стандартизированным интерфейсам индустриальной киберфизической системы. При этом синтезированный таким образом индустриальный агент, состоящий из legacy-компонентов и технологического адаптера, способен к реализации своей функции в рамках сервис-ориентированной архитектуры исследуемой производственной системы.

В зависимости от назначения выделяют три варианта технологических адаптеров [11]: 1) адаптеры для подключения одной устаревшей системы к другой, 2) адаптеры для устаревших систем, работающих в режиме реального времени и 3) адаптеры для устаревших человеко-машинных интерфейсов. Эти виды технологических адаптеров предназначены для бесшовной интеграции отдельных систем и компонентов посредством стандартизированных интерфейсов к сервисной шине предприятия (middleware). Требование по обеспечению работы в режиме реального времени является наиболее критичным, в частности в вопросах оперативного реагирования на изменения в технологическом процессе, такие как изменение режимов обработки или быстрой переналадки оборудования.

Методика построения индустриальных агентов является составной частью разрабатываемой методики автоматизированного проектирования производственных киберфизических систем. Теоретическая основа методики — аппарат теории принятия решений, теории множеств, теории графов и системной инженерии.

Процесс проектирования, заложенный в основу предлагаемой методики, строится таким образом, что на каждом его этапе формируется соответствующее проектное описание, увеличивающее объем информации. При этом процесс проектирования представляется в виде последовательности циклов (итераций) проектных операций на каждом уровне разработки проекта, характеризующихся степенью детализации объекта проектирования и его элементов.

Предлагаемая методика состоит из следующих этапов.

1. Анализ текущего состояния физического объекта и оценка его готовности к построению индустриального агента.

2. Определение граничных условий процесса проектирования индустриального агента.
3. Синтез множества альтернатив проектных решений.
4. Выбор и принятие проектного решения.
5. Анализ принятого проектного решения.
6. Разработка прототипа индустриального агента.
7. Функциональное тестирование прототипа.

Рассмотрим практические аспекты реализации предлагаемой методики проектирования индустриальных агентов с применением технологических адаптеров для подключения технологического оборудования. Исследуемая производственная киберфизическая система является экспериментальным полигоном для моделирования, симуляции и прототипирования объектов и технологий в рамках производственного процесса изготовления магнитных композиционных материалов на базе производственных лабораторий при поддержке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Бишкек, Киргизия). Объектом служит технологическое оборудование, которое является компонентом аппаратного обеспечения экспериментальной производственной киберфизической системы. В качестве объекта подключения выбрана камерная муфельная электропечь СНОЛ – 1,6.2,00,8/9-М1 У4.2.

На начальном этапе были произведены оценка и анализ возможностей реализации текущей комплектации объекта как индустриального агента — модульной ячейки „Melting Cell“, предоставляющей возможность проведения операций термообработки, плавления и спекания по запросу в качестве сервисного приложения рассматриваемой экспериментальной производственной киберфизической системы. Для этого была применена модель RAMI 4.0, в частности, было рассмотрено многоаспектное описание объекта в шести слоях нотации модели. Анализ текущего состояния показал, что оборудование не позволяет использовать текущую комплектацию объекта: для подключения и взаимодействия с сервисной шиной рассматриваемому объекту требуется встроенная система управления режимами нагрева и охлаждения, а также сетевой модуль для обеспечения передачи данных сетью промышленного интернета вещей. Было предложено разработать недостающий блок управления на основе одноплатного компьютера на базе Arduino Uno. Спецификация компонента представлена в таблице.

Элемент описания	Характеристика
Объект	Электропечь камерная муфельная
Модель	СНОЛ – 1,6.2,00,8/9-М1 У4.2
Назначение	Операции термообработки, плавления и спекания
Сервисное представление	Сервис „Термическая обработка“ (закалка, отжиг, отпуск, нормализация), сервис „Плавление“, сервис „Спекание“
Состав комплектации	Камерная муфельная электропечь СНОЛ – 1,6.2,00,8/9-М1 У4.2; магнитный пускатель П6 - III У4, 220 В 10 А; милливольтметр Ш4501 по ГОСТ 9736-80; термопара резистивная, шкала ХА (0—1100°C), 0—45,16 мВ
Интеграция: M2M, H2M	Аналоговый индикатор показателей Ш4501
Интерфейсы: физические, логические	—
Протоколы: подключаемость к сети, интероперабельность	—
Датчики и параметры: открытые данные	Датчик температуры в камере — термопара резистивная; милливольтметр — преобразует данные (напряжение термопары; 0—45,16 мВ) в показания температуры рабочей камеры (0—1100 °C)
Синтаксис и семантика	—
Сбор, хранение и обработка данных	Данные отображаются на аналоговом индикаторе показателей
Форматы данных: экспорт / импорт	—

Продолжение таблицы

Элемент описания	Характеристика
Операционное окружение	—
Система управления объектом	Объект управляется магнитным пускателем через управляющее реле (распределитель напряжения АЕ 2046V, 660 В);
Автономность	Электропитание: переменный ток, 220 В, 50 Гц, 2,9 кВт
Гибкость и переналадка	Обеспечивается оператором
Сервисные приложения	—

Граничными параметрами процесса проектирования являются заданные требования к стоимости, срокам и объему работ; дополнительные требования — информация о подключаемости. Так, прототип индустриального агента должен быть реализован с учетом текущей материальной и цифровой инфраструктуры экспериментальной производственной системы.

Модель индустриального агента для камерной муфельной электропечи СНОЛ — 1,6.2,00,8/9-M1 У4.2 приведена на рис. 1. Физический уровень, представленный объектом, обеспечивает взаимодействие индустриального агента с материальными потоками. Интеграционный уровень, представленный технологическим адаптером, обеспечивает подключение физического объекта к цифровой инфраструктуре экспериментальной производственной системы. Административная оболочка обеспечивает коммуникацию и взаимодействие индустриального агента в цифровой среде, а также реализацию требований и функций, соответствующих вышестоящим уровням (коммуникационному, информационному, сервисному, бизнес-описаний) референсной модели RAMI. На рис. 2 представлено многоаспектное описание — спецификация в нотации референсной модели RAMI для модернизированного индустриального агента с использованием предлагаемого технологического адаптера.

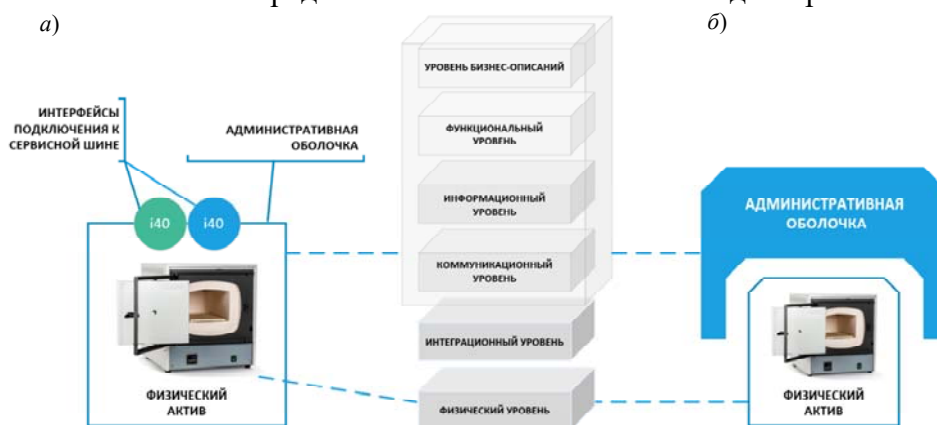


Рис. 1

Рассмотрим вариант реализации индустриального агента с использованием технологического адаптера (рис. 3). Состав комплектации технологического адаптера: одноплатный управляющий компьютер Arduino Uno, Wi-Fi-модуль ESP8266, индукционный датчик положения, линейный двигатель, силовое реле и преобразователь сигналов. Индукционный датчик необходим для формирования управляющего сигнала для задания и контроля целевой температуры нагрева рабочей камеры. Датчик устанавливается на направляющую, ориентированную параллельно аналоговому индикатору показателей Ш4501. Положение датчика управляется с помощью линейного двигателя (вылет — 100 мм). Управляющий сигнал на перемещение поступает от компьютера на двигатель согласно заданному режиму. Датчик перемещается в заданное положение относительно шкалы температур Ш4501. Металлический индикатор перемещается в процессе нагрева камеры и при достижении заданной температуры должен войти в контакт с датчиком (при совмещении в датчике индуцируется ЭДС, преобразуемая в сигнал). Полученный сигнал свидетельствует о достижении объектом заданного показателя температуры данного технологического режима.

Бизнес-уровень	Управление металлургическими процессами плавления и спекания		Управление процессом термической обработки
Функция / Сервис	Спекание порошковой смеси	Термическая обработка	Плавление шихтовой смеси
Информация	Управляющие команды и программы	Основные данные процесса: T, v, t, status	Прочие данные процесса: энергопотребление, обслуживание
Коммуникация	Интернет-протоколы: Wi-Fi, TCP / IPv6	Протокол HART Токовая петля	Протокол ModBus Петля напряжения
Интеграция	Wi-Fi модуль Интерфейс в сеть	Силовое реле	Преобразователь сигналов
Физический уровень	Arduino UNO Управляющий компьютер	П6 – Ш У4 Магнитный пускатель	Аналоговый дисплей
	Индукционный датчик	ТЭН-элемент Источник тепловой энергии	Ш4501 Милливольтметр
	Линейный двигатель	Рабочая камера муфельная	Ш4501 Термометр резистивный ХА (0-1100°C)

Рис. 2

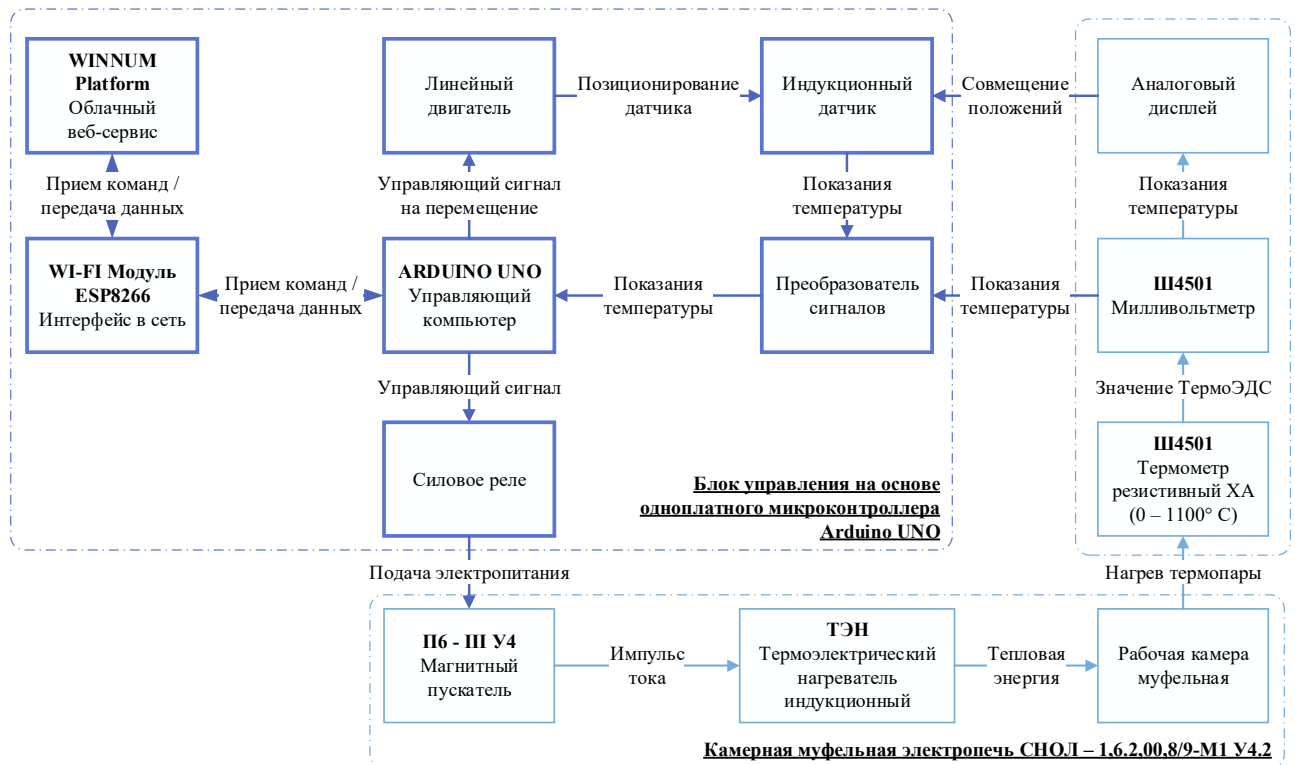


Рис. 3

Управление нагревом рабочей камеры обеспечивается магнитным пускателем, силовым реле и рабочим нагревательным элементом (ТЭН). Компьютер формирует управляющий сигнал в формате протокола HART (управление токовой петлей) согласно технологическому режиму обработки. Сигнал достигает силового реле, встроенного в цепь электропитания оборудования. Силовое реле формирует режим тока и напряжение передается на магнитный пускатель, обеспечивающий подачу импульсов тока на ТЭН. В свою очередь, нагревательный элемент обеспечивает генерацию тепловой энергии.

Моделирование индустриального агента производилось с использованием Autodesk Fusion 360. Разработка прототипа индустриального агента и технологического адаптера производилась с использованием мощностей производственной лаборатории FabLab Bishkek. Прототип технологического адаптера представлен на рис. 4.



Рис. 4

С использованием встроенных средств отладки управляющего блока было проведено функциональное тестирование. Также был произведен мониторинг состояния индустриального агента (рис. 5) — запись рабочих параметров (температуры в рабочей камере).

```
COM4

Industrial Agent - Melting Cell
Initialization ...
Receive a Request datasheet from the Manufacturing Service Bus

Processing ...
Service - Melting
  Material - Copper alloy
  Melting temperature = 900C
  Weight = 0.3kg

Calculating target parameters
Setting the regime parameters
  Target Temperature = 900C
  Start Temperature = 21C
Setting the sensor to target position

Starting the melting process

Current temperature = 25C
Current temperature = 26C
Current temperature = 27C
Current temperature = 28C
Current temperature = 29C
Current temperature = 30C
Current temperature = 31C
Current temperature = 32C
Current temperature = 33C
Current temperature = 34C
Current temperature = 35C
Current temperature = 36C
Current temperature = 37C
Current temperature = 38C
Current temperature = 39C
Current temperature = 40C
```

Рис. 5

Данные о состоянии передавались в систему облачного мониторинга Winnum Platform. Тестирование подключаемости физического объекта с использованием технологического адаптера было пройдено успешно.

Итак, реализация предложенной методики позволяет обеспечить способность физического объекта выступать как индустриальный агент — модульная ячейка „Melting Cell“, предоставляющая возможность проведения операций термообработки, плавления и спекания по запросу в качестве сервисного приложения экспериментальной Smart Factory.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schumacher A., Erol S., Sihn W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises // *Procedia CIRP*. 2016. N 52. P. 161—166.
2. Eppe U. A Reference Architectural Model for Industrie 4.0. Aachen, Germany: RWTH Aachen Univ., 2016.
3. Monostori L., Kádár B., Bauernhansl T., Kondoh S., Kumara S., Reinhart G., Sauer O., Schuh G., Sihn W., Ueda K. Cyber-physical systems in manufacturing // *CIRP Annals*. 2016. Vol. 65, iss. 2. P. 621—641. DOI: [org/10.1016/j.cirp.2016.06.005](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005).
4. Боровков А. И., Лысенко Л. В., Биленко П. Н. и др. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии: Рабочий доклад Департамента корпоративного обучения Московской школы управления Сколково, 2017 [Электронный ресурс]: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf.
5. Демкович Н. А., Абаев Г. Е., Яблочников Е. И. Многоуровневое моделирование цифровых производств // Ритм машиностроения. 2019 [Электронный ресурс]: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf.
6. Yablochnikov E. I., Chukichev A. V., Timofeeva O. S., Abyshov O. A., Abaev G. E., Colombo A. W. Development of an industrial cyber-physical platform for small series production using digital twins // *Philosophical Trans. of the Royal Society A*. 2021. N 379(2207). P. 20200370.
7. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review // Working Pap. 2015.
8. Radziwon A., Bilberg A., Bogers M., Madsen E. S. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions // *Procedia Engineering*. 2014. N 69. P. 1184—1190.
9. Manzei C., Schleupner L., Heinze R., Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Berlin: VDE Verlag, 2017.
10. Lee E. A. Cyber Physical Systems: Design Challenges Oriented Real-Time Distributed Computation // 11th IEEE Intern. Symp. on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computation. 2008. P. 363—69.
11. Digitalized and Harmonized Industrial Production Systems: The PERFoRM Approach / A. W. Colombo, M. Gepp, J. B. Oliveira, P. Leitao, J. Barbosa, J. Wermann. CRC Press, 2019. 332 p.
12. Zuehlke D. Smart Factory—Towards a factory-of-things // *Annual Reviews in Control*. 2010. N 34(1). P. 129—138.
13. Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems: The IMC-AESOP Approach / A. W. Colombo, T. Bangemann, S. Karnouskos, J. Delsing, P. Stluka, R. Harrison, F. Jammes, J. L. Lastra. Springer Science & Business Media, 2014. 245 p.
14. Boyd A., Noller D., Peters P., Salkeld D., Thomas T., Gifford C., Pike S., Smith A. SOA in manufacturing guidebook // *MESA Intern*. 2018. N 27. P. 24—29.
15. Kannengiesser U., Müller H. Towards viewpoint-oriented engineering for Industry 4.0: A standards-based approach // *IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*. 2018. May. P. 51—56.

Сведения об авторах

Оман Аскарбекович Абышев

— аспирант; Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий; E-mail: abyshov.o@yandex.ru

Урпия Маматкадыровна Дыйканбаева

— Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, кафедра технологии машиностроения; ст. преподаватель; E-mail: urpia71@gmail.com

Усен Касымович Омуралиев

— канд. техн. наук, профессор; Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, кафедра технологии машиностроения; руководитель кафедры;
E-mail: d.zakoldaev@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2022; одобрена после рецензирования 07.09.2022; принята к публикации 30.11.2022.

REFERENCES

- Schumacher A., Erol S., Sihn, W. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 52, pp. 161–166.
- Epple U. *A Reference Architectural Model for Industrie 4.0*, RWTH Aachen University, 2016.
- Monostori L., Kádár B., Bauernhansl T., Kondoh S., Kumara S., Reinhart G., Sauer O., Schuh G., Sihn W., Ueda K. *CIRP Annals*, 2016, no. 2(65), pp. 621–641, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005>.
- http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf. (in Russ.)
- Demkovich N.A., Abaev G.E., Yablochnikov E.I. *Ritm mashinostroyeniya*, 2019, https://beepitron.com/files/content/abaev_demkovich_yablochnikov_-_mnogourovnevnoe_modelirovanie_cifrovyyh_proizvodstv.pdf. (in Russ.)
- Yablochnikov E.I., Chukichev A.V., Timofeeva O.S., Abyshev O.A., Abaev G.E. and Colombo A.W. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2021, no. 379(2207), pp. 20200370.
- Hermann M., Pentek T., Otto B. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, Working Pap., 2015.
- Radziwon A., Bilberg A., Bogers M., Madsen E.S. *Procedia Engineering*, 2014, vol. 69, pp. 1184–1190.
- Manzei C., Schleupner L., Heinze R. *Industrie 4.0 im internationalen Kontext*, Berlin, VDE VERLAG, 2017.
- Lee E.A. *11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computation*, 2008, pp. 363–369.
- Colombo A.W., Gepp M., Oliveira J.B., Leitao P., Barbosa J., Wermann J. *Digitalized and Harmonized Industrial Production Systems: The PERFoRM Approach*, CRC Press, 2019, 332 p.
- Zuehlke D. *Annual Reviews in Control*, 2010, no. 1(34), pp. 129–138.
- Colombo A.W., Bangemann T., Karnouskos S., Delsing J., Stluka P., Harrison R., Jammes F., Lastra J.L. *Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems: The IMC-AESOP Approach*, Springer Science & Business Media, 2014, 245 p.
- Boyd A., Noller D., Peters P., Salkeld D., Thomas T., Gifford C., Pike S., Smith A. *SOA in manufacturing guidebook*, MESA International, IBM Corporation and Capgemini co-branded white paper, 2008, pp. 24–29.
- Kannengiesser U., Müller H. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, IEEE, 2018, May 15, pp. 51–56.

Data on authors

- Oman A. Abyshev** — Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Secure Information Technologies; E-mail: abyshev.o@yandex.ru
- Urpia M. Dyikanbaeva** — I. Razzakov Kyrgyz State Technical University, Department of Industrial Engineering; Senior Lecturer; E-mail: urpia71@gmail.com
- Usen K. Omuraliev** — PhD, Professor; I. Razzakov Kyrgyz State Technical University, Department of Industrial Engineering; Head of the Department; E-mail: d.zakoldaev@mail.ru

Received 22.08.2022; approved after reviewing 07.09.2022; accepted for publication 30.11.2022.