

УДК 621

Методы консолидации научных сервисов*

© 2019 г. А. А. Зацаринный¹, В. А. Кондрашев^{1,§}, А. А. Сорокин², С. А. Денисов¹

¹ *Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук,*

ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, Москва, 119333, Россия

² *Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,*

ул. Ким Ю Чена, д. 65, Хабаровск, 680000, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются методы консолидации научных сервисов цифровой платформы для интеграции совокупности научных услуг из различных областей науки для проведения междисциплинарных исследований. Решения для создания консолидированных сервисов могут найти широкое применение для многоуровневого, многомасштабного моделирования в области материаловедения, предусматривающего комплексное моделирование на нескольких уровнях иерархии. В настоящее время эта задача решается созданием многокомпонентных иерархических программных комплексов на корпоративных вычислительных средствах. С появлением высокопроизводительных облачных вычислительных платформ появится возможность получать услуги по решению частных задач моделирования в виде научных сервисов. Задачи комплексного иерархического моделирования в этом случае будут решаться консолидированным сервисом — сервисом, обеспечивающим последовательно-параллельное выполнение компонентов комплексного моделирования в виде специализированных научных сервисов. Описание процессов выполнения научного сервиса основано на методике исследования и представляет собой план исследования (технологическую карту исследования), описывающий необходимый для выполнения сервиса взаимоувязанный по времени набор операций и перечень ресурсов для их выполнения. В современных условиях развития микросервисного подхода к созданию вычислительных систем, эволюции сервис-ориентированных архитектур и децентрализации корпоративных интеграционных шин проблемам эффективной интеграции платформенных сервисов уделяется особое внимание. В работе предлагается дополнить существующее описание научного сервиса возможностью заказа стороннего сервиса на основе механизмов гибкой (agile) интеграции. Этот подход позволит на современном этапе развития сервисных архитектур преодолеть недостатки централизованных систем типа корпоративных интеграционных шин и воспользоваться преимуществами эластичности облачных вычислений и микросервисного подхода к созданию информационно-вычислительных систем.

Ключевые слова: консолидированный сервис, многомасштабное моделирование, многоуровневое моделирование, цифровая платформа, облачные вычисления, научный сервис, интеграция сервисов

Введение

Концепция многомасштабного моделирования, интегрирующая разноуровневые методы моделирования поведения материалов, широко используется в материаловедении и технологии новых материалов [1]. Необходимость комплексного моделирования на нескольких уровнях иерархии требует создания многокомпонентных иерархических программных комплексов для решения задач многомасштабного компьютерного моделирования структурных свойств различных материалов. В комплексах ис-

пользуются различные программные инструменты, обеспечивающие эффективное моделирование свойств материалов на определенном уровне. Важной задачей в этих комплексах является развитие технологий связывания программных инструментов и комплексной интерпретации результатов моделирования [2]. Одновременно с процессом создания иерархических программных комплексов многомасштабного моделирования идет развитие технологии цифровых платформ, предлагающих сервисы, в том числе в области математического моделирования свойств материалов.

Зацаринный Александр Алексеевич¹ — доктор техн. наук, заместитель директора, e-mail: azatsarinny@frccsc.ru; **Кондрашев Вадим Адольфович**^{1,§} — канд. техн. наук, заместитель директора, e-mail: vkondrashev@frccsc.ru; **Сорокин Алексей Анатольевич**² — канд. техн. наук, главный научный сотрудник, e-mail: alsor@febras.net; **Денисов Сергей Анатольевич**¹ — ведущий инженер, e-mail: sdenisov@frccsc.ru

§ Автор для переписки

* Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на I-й международной конференции «Математическое моделирование в материаловедении электронных компонентов», Москва, 21—23 октября 2019 г.

Одним из способов комплексирования инструментов многомасштабного моделирования является использование свойств цифровой платформы в среде облачных вычислений. Платформенным подходом для интеграции совокупности научных услуг, направленных на комплексное решение научной задачи с использованием серии инструментов, является объединение научных сервисов в рамках одного консолидированного сервиса.

В целом, проблемам интеграции ресурсов для научных исследований и сервисов в рамках цифровой платформы, в частности, представлению процессов научного исследования в виде облачного сервиса цифровой платформы, не уделяется достаточного внимания. Большинство провайдеров предлагают несвязанные средства моделирования по технологии SAAS (*software-as-a-service*) для решения одной задачи моделирования. В настоящей работе предлагаются методы представления консолидированных сервисов в среде облачных вычислений на основе теоретической и практической проработки цифровой процессной модели представления процессов многомасштабного моделирования в виде научных сервисов цифровой платформы. В качестве основного инструмента интеграции сервисов моделирования предлагается гибкая (*agile*) интеграции сервисов [3], которая позволяет в современных условиях развития сервис-ориентированной модели взаимодействия программных компонентов преодолеть недостатки корпоративной шины предприятия и в полной мере воспользоваться достоинствами облачных вычислений [4].

Консолидированный научный сервис

Под научным сервисом цифровой платформы понимается совокупность процессов и ресурсов для выполнения работ научно-исследовательского характера путем предоставления потребителю оборудования, расходных материалов, информационно-коммуникационных и обеспечивающих ресурсов, продуктов интеллектуальной научной деятельности, человеческих ресурсов, результатом которых является научная (исследовательская) услуга [5].

Для описания процессов, связанных с выполнением научного сервиса, платформой предусматривается инструмент, обеспечивающий формирование технологической карты исследования с перечислением необходимых для выполнения сервиса операций, их длительности, последовательности выполнения и потребляемых ресурсов, а также информационные формы для оформления заявки на выполнение научного сервиса и его заказа. В простейшем случае процесс исследования описывается диаграммой Ганта (или ее аналогом) с указанием графика выполнения операций и необходимых для их выполнения ресурсов — оборудования, материа-

лов и трудозатрат. В настоящее время множество цифровых платформ этим и ограничивается. Однако, очевидно, что сложное исследование использует результаты работы нескольких коллективов исследователей, которые можно оформить в виде отдельных научных сервисов и интегрировать их в консолидированный сервис. Для этого предлагается предусмотреть в технологической карте исследования указание ссылок на используемые научные сервисы.

С развитием архитектур информационных систем от монолитных систем до микросервисных [6, 7] решениям для интеграции облачных сервисов и проблемам описания консолидации сервисов в информационной системе уделяется повышенное внимание. В современных условиях успех моделирования (и исследования в целом) зависит от способности информационной системы качественно и заданный срок обрабатывать объемные потоки информации эволюционирующей структуры. Модели извлекают информацию из множества источников, интегрируя ее для необходимой предметной обработки и получения требуемого результата. Вместе с развитием модели сервис-ориентированной архитектуры [8] развиваются инструменты интеграции информационных систем. В настоящее время наблюдается постепенный переход от концепции централизованной сервисной шины предприятия (ESB, Enterprise Service Bus) [9] к концепции гибкой интеграции [10].

Основу концепции гибкой интеграции составляет децентрализация ESB, использование современных инструментов интеграции сервисов на основе программных интерфейсов (API), применяемых в микросервисных архитектурах (REST, gRPC и др.) [11]. Среда интеграции при этом создается в соответствии передовыми контейнерными технологиями виртуализации и управления инфраструктурой облачных вычислений. Основными свойствами гибкой интеграции являются:

- контейнерная среда интеграции — каждая интеграция приложений использует преимущества многослойной архитектуры микросервисов, выполняется отдельными контейнерами со своей средой выполнения, настроенной на эту интеграцию;

- децентрализованная интеграция — интеграционные контейнеры функционируют независимо друг от друга, что повышает надежность функционирования комплексной системы интеграции;

- многокомпонентная интеграция — контейнер интеграции взаимодействует с множеством микросервисов, что повышает гибкость и масштабируемость информационной системы.

Используя свойства гибкой интеграции, облачная цифровая платформа должна обеспечить комплексные сетевые формы организации научной, научно-технической и инновационной деятельности. Цифровая платформа, в данном случае, это со-

вокупность автоматизированных процессов взаимодействия участников научно-технического процесса на основе использования научных сервисов и методов их консолидации, обеспечивающих повышение эффективности научных исследований за счет применения цифровых технологий, оптимизации и стандартизации данных процессов и обеспечения общего информационного пространства.

Система консолидации сервисов в цифровой платформе

По результатам анализа процессов многомасштабного моделирования можно предложить следующую методику для организации работ по созданию консолидированного научного сервиса.

Шаг 1. Разработка целевой функции для потребителя консолидированного научного сервиса, которая содержит описание того, что требуется от научного сервиса с точки зрения его потребителя. На этом этапе необходимо:

- определить основные цели потребителя моделирования (и исследования в целом);
- специфицировать задачи, требующие решения;
- сформулировать предложения по консолидации существующих облачных сервисов.

Шаг 2. Разработка модели организации работ для получения результата, структуры потребления ресурсов и затрат. Модель должна содержать решения по использованию основных ресурсов — персонала, используемых технологий, оборудования, информационных ресурсов, каналов взаимодействия с партнерами и потребителями и т.д. Помимо этого в модели должны быть представлены решения по ключевым процессам организации исследования, направленные на то, чтобы можно было постоянно в требуемом объеме предлагать научный сервис в соответствии с определенной системой функциональных показателей, правилами и нормами организации процессов.

Шаг 3. Анализ разработанной модели функционирования консолидированного научного сервиса, сравнение с существующей моделью проведения исследований. Обоснование решения о том, что научная услуга может быть оказана в существующей организационной структуре цифровой платформы, либо проработанная альтернатива формирования новой структуры в цифровой платформе для оказания консолидированной научной услуги.

В этих условиях комплексной обработки больших потоков информации в рамках цифровой платформы облачных вычислений для связывания одного или нескольких сервисов в один консолидированный научный сервис возможны два способа.

В первом случае процесс подачи заявки на оказание консолидированной услуги осуществляется

от имени ее потребителя по всем научным сервисам, входящим в состав консолидированного научного сервиса. Потребитель заполняет формы заказа и согласует план исследования с каждым из поставщиков услуг самостоятельно.

Второй способ предоставления консолидированного сервиса предусматривает разработку для него обобщенной формы заказа с тем, чтобы процесс согласования составляющих научных сервисов велся от имени поставщика консолидированного сервиса в рамках согласования плана исследования между потребителем и поставщиком консолидированного сервиса.

Первый способ консолидации научных сервисов не предполагает серьезных изменений в алгоритмах заказа, отслеживания процессов оказания услуг и получения результатов исследования. Однако, этот метод обеспечения выполнения консолидированного сервиса требует от потребителя обладания компетенциями для заказа всех научных сервисов, входящих в состав консолидированного сервиса и связывания их результатов в единое исследование. В этом случае достаточно просто решаются вопросы организации исследований и распределения ответственности между поставщиками и потребителем услуг консолидированного сервиса. Один потребитель консолидированного сервиса имеет организационные отношения со всеми поставщиками научных сервисов, входящих в состав консолидированного сервиса.

При втором способе организации предоставления консолидированного сервиса потребитель сервиса взаимодействует только с поставщиком этого сервиса. С поставщиками научных сервисов, входящих в состав консолидированного сервиса, взаимодействует поставщик консолидированного сервиса, который должен обладать компетенциями, необходимыми для заказа этих научных сервисов. Это метод организации консолидированного научного сервиса предполагает большую степень связывания консолидированного сервиса с сервисами, входящими в его состав в части анализа результатов предоставления этих сервисов и формирования исходных данных для их заказа.

Таким образом, каждый из способов интеграции научных сервисов имеет свои достоинства и недостатки. Для цифровой платформы научных исследований целесообразно использовать оба способа. Для обоих методов формирования консолидированных услуг цифровая платформа должна обладать адекватными инструментами описания консолидированного сервиса и управления процессом его предоставления.

Технологическая карта научного сервиса должна позволять включать в нее операции предоставления стороннего научного сервиса с указанием метода консолидации и атрибутов заказа сервиса

и получения его результатов, а также процессы использования этих результатов при выполнении консолидированного сервиса.

С учетом приведенных рассуждений цифровая платформа, консолидирующая научные сервисы, должна создаваться как иерархия микросервисов, функционирующих в среде облачной интеграционной платформы. Это позволяет использовать преимущества облачных вычислений, обеспечивая эластичность интеграционной информационной системы, высокую степень адаптивности к меняющимся условиям функционирования, для снижения сроков моделирования и повышения его эффективности.

С учетом вышеизложенных аспектов определим состав цифровой платформы многомасштабного моделирования как совокупности следующих компонентов:

- система описания научного сервиса;
- система публикации научного сервиса;
- система классификация научных сервисов;
- система поиска научного сервиса;
- система заказа научного сервиса;
- система планирования и учета ресурсов;
- система учета результатов и экспертных оценок;

- система доступа пользователей;
- интеграционная подсистема.

Система описания научного сервиса является основой системы предоставления научных сервисов и предназначена для спецификации шаблона научного сервиса, определяющей следующие его основные характеристики:

- идентификационные данные;
- данные поставщика сервиса;
- форму заказа сервиса;
- технологическую карту (методику, основные процессы) выполнения исследования с указанием потребляемых ресурсов и использования других научных сервисов;

– процедуры заказа сервиса и согласования изменений в технологической карте (методике) исследования.

Система публикации научного сервиса в рамках портала получает доступ к реестру научных сервисов, доступных для заказа, обеспечивает систематизацию «близких» научных сервисов.

Система классификации научных сервисов предназначена для группировки научных сервисов в соответствии с заданными критериями (область исследования, методики исследования, приборная база, территориальная и организационная принадлежность и т. д.) с целью обеспечения быстрого релевантного поиска и систематизации научных сервисов. С учетом динамичности научных исследований систему классификации целесообразно создавать с изменяемым списком критериев и динамически перестраиваемой системой группировки.

Система поиска научного сервиса предназначена для нахождения «близких» научных сервисов с использованием системы классификации научных сервисов и данных систем описания научного сервиса, учета результатов и экспертных оценок. В системе целесообразно спроектировать блоки поиска «близких» сервисов с использованием методов искусственного интеллекта с элементами самообучения.

Система заказа научного сервиса предназначена для оформления договорных отношений на оказание научной услуги в ходе выполнения процесса выбора и заказа научной услуги во взаимодействии с системами публикации, поиска, описания научного сервиса, планирования и учета ресурсов.

Система планирования и учета ресурсов предназначена для ведения реестра ресурсов (персонала, приборной базы, расходных материалов) и их состояния, а также календаря загрузки и резервирования ресурсов.

Система учета результатов и экспертных оценок предназначена для накопления научных результатов, получаемых пользователями платформы, а также для объективного расчета их наукометрических показателей.

Система доступа пользователей предназначена для учета, идентификации и авторизации пользователей.

Интеграционная подсистема предназначена для реализации сквозных бизнес-процессов в едином информационном пространстве цифровой платформы и, в том числе, для обеспечения функционирования консолидированных сервисов.

Последняя подсистема является базисом цифровой платформы, связывающим все ее системы, а также обеспечивающим функционирование цифровой процессной модели представления ряда процессов научного исследования в виде облачного сервиса или комплекса сервисов, интегрированного в консолидированный сервис. Предлагаемый механизм комплексирования научных сервисов обеспечивает, в частности, потребности многомасштабного моделирования в высокопроизводительной вычислительной среде цифровой платформы [12, 13]. Достоинством подхода является использование концепции гибкой интеграции, которая позволяет в современных условиях развития сервис-ориентированной модели взаимодействия программных компонентов в полной мере воспользоваться свойствами эластичности облачных вычислений.

Заключение

Предоставление консолидированного сервиса, предназначенного для решения научной задачи, требует комплексного подхода, который включает: описание атомарных микросервисов; метаданные,

описывающие способы получения сервисов и передачи результатов; средства оркестровки взаимодействия сервисов. Предложенная архитектура цифровой платформы и ее система интеграции сервисов может быть базовой основой для создания консолидированного сервиса. Использование единого реестра сервисов, средств управления интеграцией обработки и внутреннего обмена данными позволяют создавать цепочки сервисов. Такие цепочки или сети сервисов могут предоставлять принципиально новую услугу по обработке данных и получению научных результатов.

В частности, в области математического многомасштабного моделирования свойств материалов представленная технология позволяет проводить многоуровневые иерархические расчеты с использованием специализированных программных инструментов различными коллективами исследователей в индивидуальной среде исполнения производительных виртуальных вычислительных средств.

Библиографический список

1. Абгарян К. К. Информационная технология построения многомасштабных моделей в задачах вычислительного материаловедения // Системы высокой доступности. 2018. Т. 15, № 2. С. 9—15.
2. Абгарян К. К., Гаврилов Е. С., Марасанов А. М. Информационная поддержка задач многомасштабного моделирования композиционных материалов // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5, № 12. С. 24—28.
3. Kim Clark, Tony Curcio, Nick Glowacki. Agile integration architecture. IBM, 2018. 73 p. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/J7E0VLDY> (дата обращения: 11.03.2020).
4. Mell P., Grance T. NIST SP 800-145. The NIST definition of cloud computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, 2011. 7 p. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf> (дата обращения: 11.03.2020).
5. Зацаринный А. А., Горшенин А. К., Волович К. И., Колин К. К., Кондрашев В. А., Степанов П. В. Управление научными сервисами как основа национальной цифровой платформы «Наука и образование» // Стратегические приоритеты. 2017. № 2. С. 103—113.
6. Lewis J., Fowler M. Microservices. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (дата обращения: 11.03.2020).
7. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media, 2015. 262 p.
8. Kreger H., Brunssen V., Sawyer R., Arsanjani A., High R. The IBM advantage for SOA reference architecture standards // In: IBM developerWorks, 2012. 18 p. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-soa-ref-arch/ws-soa-ref-arch-pdf.pdf> (дата обращения: 01.03.2020).
9. Keen M. et al. Patterns: Implementing an SOA using an Enterprise Service Bus // IBM Redbooks, 2004. 386 p. URL: <https://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246346.pdf> (дата обращения: 11.03.2020).
10. Clark K. The fate of the ESB // IBM Developer, 2018. URL: <https://developer.ibm.com/articles/cl-lightweight-integration-1/> (дата обращения: 11.03.2020).
11. Clark K. Comparing web APIs with service-oriented architecture and enterprise application integration // IBM Developer, 2015. URL: <https://developer.ibm.com/technologies/web-development/articles/comparing-web-apis-with-service-oriented-architecture-and-enterprise-application-integration/> (дата обращения: 11.03.2020).
12. Волович К. И. Некоторые системотехнические вопросы предоставления вычислительных ресурсов для научных исследований в гибридной высокопроизводительной облачной среде // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28, Вып 4. С. 97—108. DOI: 10.14357/08696527180410
13. Федеральный исследовательский центр Информатика и управление РАН, ЦКП «Информатика». URL: <http://ckp.frccsc.ru> (дата обращения: 11.03.2020).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты №№ 18-29-03091, 19-29-03051) с использованием ресурсов гибридного высокопроизводительного вычислительного комплекса Центра коллективного пользования «Информатика» ФИЦ ИУ РАН.

Статья поступила в редакцию 11 марта 2020 г.

Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering. 2019, vol. 22, no. 4, pp. 302—307. DOI: 10.17073/1609-3577-2019-4-302-307

Scientific services consolidation methods

A. A. Zatsarinny¹, V. A. Kondrashev^{1,§}, A. A. Sorokin², S. A. Denisov¹

¹ *Federal Research Centre “Information and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44 Vavilov Str., Moscow 119333, Russia*

² *Computing Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 65 Kim Yu Chen Str., Khabarovsk 680000, Russia*

Abstract. The article discusses methods of consolidating scientific services of a digital platform for integrating a set of scientific services for various fields of science for conducting interdisciplinary research. Solutions for creating consolidated services can be widely used for multilevel, multiscale modeling in the field of materials science, which provides complex modeling at several levels of the hierarchy. Currently, this problem is being solved by creating multicomponent hierarchical

Information about authors:

Aleksandr A. Zatsarinny¹: Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Deputy Director (azatsarinny@frccsc.ru); **Vadim A. Kondrashev^{1,§}:** Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director (vkondrashev@frccsc.ru); **Alexey A. Sorokin²:** Cand. Sci. (Eng.), Chief Researcher (alsor@febras.net); **Sergey A. Denisov¹:** Lead Engineer (sdenisov@frccsc.ru)

§ Corresponding author

software systems on corporate computing systems. With the advent of high-performance cloud computing platforms, it will be possible to order services for solving particular modeling problems as a scientific service. In this case, the tasks of complex hierarchical modeling will be solved by a consolidated service - a service providing sequential-parallel execution of complex modeling components in the form of specialized scientific services. The description of the processes for the provision of scientific services is based on the research methodology and is a research plan (the work process mapping), which describes a set of operations related to time and includes a list of necessary resources for their implementation. In modern conditions of the development of a microservice approach to the creation of computing systems and the evolution of the Service Oriented Architecture and of the Enterprise Service Bus integration, special attention is paid to the problems of efficient integration of platform services. The paper proposes to supplement the existing description of a scientific service with the possibility of ordering a third-party service based on agile integration. This approach will allow at the present stage of development of service architectures to overcome the shortcomings of centralized systems such as Enterprise Service Bus and take advantage of the elasticity of cloud computing and a microservice approach to creating information and computing systems.

Keywords: consolidated service, multiscale modeling, multilevel modeling, digital platform, cloud computing, scientific service, service integration

References

1. Abgaryan K. K. Information technology is the construction of multi-scale models in problems of computational materials science. *Highly available systems*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 9–15. (In Russ.)
2. Abgaryan K. K., Gavrilov E. S., Marasanov A. M. Multiscale modeling for composite materials computer simulation support. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 24–28. (In Russ.)
3. Kim Clark, Tony Curcio, Nick Glowacki. Agile integration architecture. IBM, 2018, 73 p. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/J7E0VLDY> (accessed: 11.03.2020).
4. Mell P., Grance T. NIST SP 800–145. The NIST definition of cloud computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, 2011, 7 p. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf> (accessed: 11.03.2020).
5. Zatsarinny A. A., Gorshenin A. K., Volovich K. I., Kolin K. K., Kondrashev V. A., Stepanov P. V. Management of scientific services as the basis of the national digital platform “Science and Education”. *Strategicheskie priority = Strategic Priorities*, 2017, no. 2, pp. 103–113. (In Russ.)
6. Lewis J., Fowler M. Microservices. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (accessed: 11.03.2020).
7. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media, 2015, 262 p.
8. Kreger H., Brunssen V., Sawyer R., Arsanjani A., High R. The IBM advantage for SOA reference architecture standards. In:

IBM developerWorks, 2012, 18 p. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-soa-ref-arch/ws-soa-ref-arch-pdf.pdf> (accessed: 11.03.2020).

9. Keen M. et al. Patterns: Implementing an SOA using an Enterprise Service Bus. IBM Redbooks, 2004, 386 p. URL: <https://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg246346.pdf> (accessed: 11.03.2020).
10. Clark K. The fate of the ESB. IBM Developer, 2018. URL: <https://developer.ibm.com/articles/cl-lightweight-integration-1/> (accessed: 11.03.2020).
11. Clark K. Comparing web APIs with service-oriented architecture and enterprise application integration. IBM Developer, 2015. URL: <https://developer.ibm.com/technologies/web-development/articles/comparing-web-apis-with-service-oriented-architecture-and-enterprise-application-integration/> (accessed: 11.03.2020).
12. Volovich K. I. Organization of calculations in a hybrid high-performance computing cluster for parallel execution of heterogeneous tasks. *Sistemy i Sredstva Inform.*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 98–109. (In Russ.). DOI: 10.14357/08696527180410
13. Federal Research Center Computer Science and Control of Russian Academy of Sciences. (In Russ.). URL: <http://ckp.frccsc.ru> (accessed: 11.03.2020).

Acknowledgments. *This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects Nos. 18–29–03091, 19–29–03051) using the resources of the hybrid high-performance computing complex of the Federal Research Centre “Information and Control” of the Russian Academy of Science.*

Received March 11, 2020

* * *