

УДК 621.31:004.942

## Интерфейсы научных сервисов системы моделирования новых материалов на цифровой платформе

© 2020 г. В. А. Кондрашев<sup>1</sup>, С. А. Денисов<sup>1,§</sup>

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
Российской академии наук,  
ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, Москва, 119333, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы формирования системных интерфейсов цифровой платформы для управления процессом оказания научного сервиса, включающего, в том числе, интеграцию научных сервисов для решения комплексной исследовательской задачи, например многомасштабного моделирования свойств новых материалов или проведения междисциплинарных исследований. На основе приведенной в работе функциональной структуры интеграции научных сервисов цифровой платформы (применительно к многомасштабному моделированию) сформулированы требования к системному интерфейсу, а также предложена архитектура системного интерфейса интеграции научных сервисов цифровой платформы. Предложена модель системного интерфейса для информационного взаимодействия с сервисами и наборами данных цифровой платформы в процессах управления процессом оказания научных сервисов. Эта модель основывается на современных решениях управления виртуальной инфраструктурой, которая базируется на технологиях контейнерной обработки и микросервисов, а также средств оркестровки и коммуникации контейнеров (*service mesh*), технологиях гибкой (*agile*) интеграции. Основной функцией такой цифровой платформы является обеспечение процессов подготовки и проведения исследований за счет формализации сценариев взаимодействия исследователей, поставщиков (источников) исходных данных, потребителей результатов, наряду с инструментами поддержки системных интерфейсов цифровой платформы. В проекте предложены средства организации взаимодействия сервисов, зарегистрированных на платформе, с целью обеспечения выполнения научного исследования. Синхронизация процессов предоставления услуг, обеспечение передачи данных между сервисами и получение конечного результата также реализуются за счет процессов управления цифровой платформой, в основе которой лежит предложенный системный интерфейс. Впервые разработана модель системных интерфейсов. Предложенный интерфейс взаимодействия позволяет эффективно консолидировать высокопроизводительные вычислительные ресурсы и математические модели на основе технологий цифровой платформы. Это особенно актуально для организации решения задач многомасштабного моделирования как комплекса моделей, каждая из которых функционирует в одном пространственно-временном масштабе.

**Ключевые слова:** многомасштабное моделирование, научный сервис, цифровая платформа, облачные вычисления, система интеграции, системный интерфейс, междисциплинарные исследования

### Введение

Современные условия развития облачных цифровых платформ [1] создают предпосылки для эффективного многомасштабного моделирования свойств новых материалов [2, 3] в нескольких пространственно-временных масштабах за счет консолидированного комплекса облачных сервисов, каждый из которых выполняет моделирование в одном пространственно-временном масштабе [4]. Для этого единой информационной среде цифровой платформы требуется наличие инструментов сопряжения комплекса научных сервисов. Этот комплекс сервисов использует основные функции системного интерфейса информационного взаимодействия, с сервисами и наборами данных цифровой платфор-

мы для управления процессом оказания научного сервиса в ходе заказа и выполнения комплекса научных сервисов. Происходит обмен исходными данными и результатами выполнения научного сервиса для широкого круга комплексных исследований, включая многомасштабное моделирование,

**Кондрашев Вадим Адольфович**<sup>1</sup> — канд. техн. наук, заместитель директора, e-mail: vkondrashev@frccsc.ru; **Денисов Сергей Анатольевич**<sup>1,§</sup> — ведущий инженер, e-mail: sdenisov@frccsc.ru

§ Автор для переписки

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на II-й международной конференции «Математическое моделирование в материаловедении электронных компонентов», Москва, 19—21 октября 2020 г. (Кондрашев В.А., Денисов С.А. Интерфейсы научных сервисов системы моделирования новых материалов на цифровой платформе. М.: МАКС Пресс, 2020. С. 22—25. DOI: 10.29003/m1509.MMMSEC-2020/22-25)

междисциплинарные исследования, решение задач искусственного интеллекта. В соответствии с подходом, предложенным в работе [5], единая информационная среда цифровой платформы формируется как сервисно-ориентированный комплекс на основе технологии облачных вычислений, виртуализации (контейнеризации) вычислительных ресурсов, микросервисных архитектур. Такой комплекс обеспечивает системные интерфейсы для эффективной интеграции компонентов комплекса, включая пользовательские сервисы.

Учитывая, что цифровые платформы призваны алгоритмизировать взаимоотношения значимого количества пользователей в единой информационной среде, формирование системного интерфейса должно предусматривать эффективную интеграцию разнородных информационных систем, создаваемых в течение продолжительного времени в соответствии с широким спектром информационных технологий. Ниже на примере многомасштабного моделирования будут предложены подходы для решения проблем обеспечения взаимодействия разнородных информационных вычислительных систем для их эффективной интеграции в экосистему цифровых платформ для научных исследований.

#### **Функциональная структура интеграции научных сервисов основных исследовательских процессов цифровой платформы**

Функциональная структура интеграции научных сервисов основных исследовательских процессов цифровой платформы на примере многомасштабного моделирования представлена на рис. 1.

Основными функциональными компонентами платформы являются:

- каталог исследования;
- каталог заявок на участие в исследовании;
- каталог результатов;
- каталог услуг (научных сервисов).

Центральный компонент цифровой платформы научных исследований — это каталог исследований, хранящий информацию об исследованиях, в том числе моделировании (планируемых, проводимых, завершенных).

На основе каталога исследований обеспечивается выполнение следующих функций платформы, применительно к моделированию свойств новых материалов:

- управление поиском и отображением систематизированной информации о моделировании;
- управление процессом создания и обработки заявок на проведение моделирования от Заказчиков, включая поиск и предоставление списка текущих заявок на моделирование от Исполнителей, согласование требований заявок между заказчиком и исполнителем;

– согласование плана и условий проведения моделирования, включая использование научной инфраструктуры и научных сервисов;

– получение информации о ходе и результатах моделирования, а также оценка результатов моделирования;

– получение информации о потребленных ресурсах.

Ведение каталога заявок на участие в исследовании обеспечивает формирование и управление заявками на участие в работах по моделированию. Каталог содержит карточки заявок на участие в работах, создаваемые потенциальным исполнителем с указанием информации, требуемой Заказчиком для отбора Исполнителя.

Каталог результатов накапливает информацию о результатах моделирования для использования их в других работах, оценки результативности исследователей и автоматизации процессов отчетности по исследованию.

Каталог услуг содержит описание научных сервисов моделирования, выполняемых по квазидетерминированным параметризованным методикам (алгоритмам).

Процесс многомасштабного моделирования, описываемый инструментами платформы, содержит две основные стадии:

- подготовка модели;
- моделирование.

На стадии подготовки модели проводится:

- заказ моделирования — создается карточка исследования;
- подача заявок — потенциальные исполнители регистрируют заявки на проведение моделирования;
- экспертиза и отбор предложений исполнителей (конкурс);
- выбор исполнителей;
- согласование плана и условий выполнения моделирования.

На стадии выполнения моделирования проводится:

- выполнение исследовательских работ;
- размещение информации о ходе моделирования (промежуточных результатах и доступности ресурсов в соответствии с планом работ, корректировка плана при необходимости);
- размещение отчетов и окончательных результатов моделирования в каталоге результатов;
- расчет потребленных ресурсов, подведение итогов моделирования и его архивирование.

Платформа научных исследований предоставляет инструменты для совместной работы исследователей и интегрирует сервисы в единый цикл многомасштабного моделирования и других исследований, включая междисциплинарные исследо-

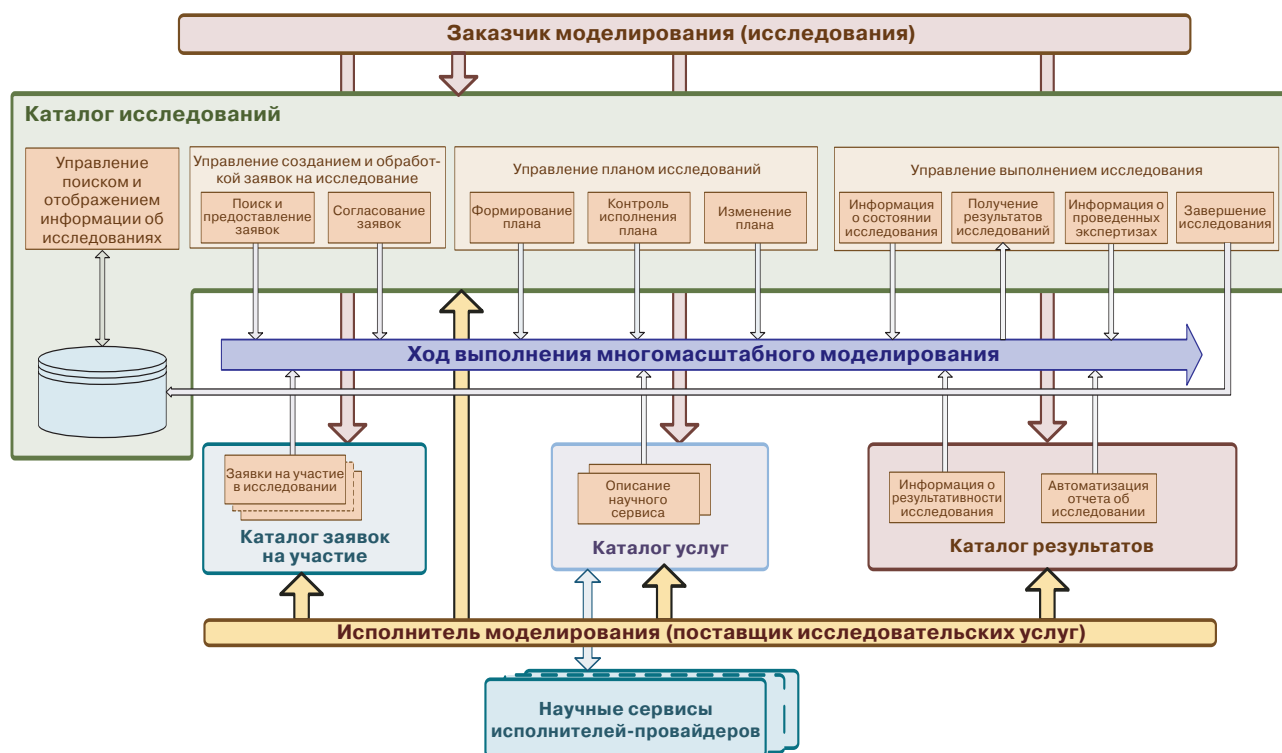


Рис. 1. Функциональная структура интеграции научных сервисов исследовательских процессов цифровой платформы применительно к многомасштабному моделированию

Fig. 1. Functional structure of the integration of scientific services of research processes of the digital platform in relation to multiscale modeling

вания, для которых цифровая платформа является эффективным средством организации комплексного исследования.

Описанные выше процессы автоматизируются сервисами цифровой платформы [6], реализуемыми в соответствии с методологией микросервисной архитектурой, обеспечивающей необходимый уровень масштабируемости и адаптируемости к динамично развивающимся информационным технологиям. Системный интерфейс платформы должен интегрировать описанные процессы между собой и информационными системами исполнителей, предоставлять исполнителям инструменты для описания своих научных сервисов и их интегрирования в среду платформы.

### Требования к системному интерфейсу по интеграции научных сервисов цифровой платформы

Основополагающим требованием к системному интерфейсу цифровой платформы является необходимость интеграции следующих типов взаимодействующих информационных систем:

- адресная (уникальная) интеграция информационных систем по технологии «точка–точка»;
- интеграция корпоративных информационных систем, взаимодействующих по технологии интеграционной шины;

– интеграция современных информационных сервисов, функционирующих в соответствии с парадигмой микросервисов, — гибкая (*agile*), ранее «легкая», или облегченная (*lightweight*) интеграция.

Основополагающие идеи технологии интеграции «точка–точка» закладывались в 1980—1990 гг. в семиуровневую эталонную модель взаимодействия открытых систем (OSI, *Open Systems Interconnection*) и появившуюся практически одновременно с ней парадигму вызова удаленных процедур (RPC, *Remote Procedure Call*) [7, 8]. Были определены понятия многоуровневого взаимодействия — протоколы и интерфейсы взаимодействия, протокольные блоки данных, сервисные элементы и точки доступа к сервисным элементам, а также ряд понятий объектно-ориентированного программирования, связанных с коммуникацией объектов, центральным из которых стало понятие «вызов удаленных процедур» (RPC). Несмотря на существенное методологическое продвижение в области интеграции слабосвязанных систем, работы по интеграции были трудоемкими и тесно связанными с парой взаимодействующих систем. Обычно в каждой паре взаимодействующих систем создавалась подсистема взаимодействия, которая по согласованному протоколу взаимодействовала с аналогичной подсистемой другой системы в режиме «точка–точка». Даже с учетом существования ряда стандартизованных протоколов и интерфейсов взаимодействия, решения по интеграции

были уникальны для каждой пары взаимодействующих систем [9]. Тем не менее, современная цифровая платформа должна иметь инструменты для создания сервиса, обеспечивающего взаимодействие с технологически устаревшей информационной системой пользователя платформы по согласованному протоколу.

Развитие технологии интеграции информационных систем привело к появлению на рубеже XX—XXI вв. парадигмы «промежуточного слоя» (*middleware*) и связанных с ним понятий: MOM (*Message-oriented middleware*, промежуточное программное обеспечение, ориентированное на обработку сообщений), «интеграционная шина» (ESB, *Enterprise Service Bus*, корпоративная сервисная шина), сервис-ориентированная архитектура (SOA, *Service-oriented architecture*) [10]. Появился ряд решений, унифицирующих интеграцию информационных систем на уровне предприятия за счет создания централизованных информационных брокеров, обеспечивающих передачу информации между системами. Для подключения к информационному брокеру создавался адаптер (коннектор), который преобразовывал информацию к согласованному виду для передачи ее адаптеру (коннектору) другой информационной системы. Промежуточный слой старались обременить задачами транзакционной гарантированной асинхронной доставки информации (обычно, в виде сообщений). На предприятии появились централизованные подразделения, занимающиеся интеграцией информационных систем предприятия, процессы интеграции стали унифицированы. Тем не менее, процедуры интеграции не были лишены недостатков, которые стали проявляться тем сильнее, чем больший поток информации, предназначенной для клиентов предприятия, стал циркулировать как внутри предприятия, так и за его пределами. Основным недостатком интеграционной шины связывают с ее централизованным характером, т. е. с тем, что на этапе ее становления было достоинством. Оказалось, что ряд модернизаций информационных систем и самой интеграционной шины временами существенно ухудшают непрерывное информационное обслуживание подразделений предприятия и его клиентов. Взаимодействие между подразделениями предприятий, занимающихся интеграцией, разработкой информационных систем, обслуживанием подразделений и клиентов предприятия, бюрократизировалось и не обеспечивало той скорости реакции на изменение информационных потоков, которая стала необходимой для конкурентоспособности предприятия. Это послужило одной из существенных предпосылок для перехода к парадигме микросервисов и гибкой интеграции. Однако в настоящее время в эксплуатации предприятий остаются интеграционные шины, возможности которых целесообразно, а следователь-

но, и необходимо использовать в сервисной модели цифровой платформы.

С развитием SOA, усовершенствованием веб-технологий и API (*Application Programming Interface*, программный интерфейс приложения) на основе веб, распространением стиля REST (*Representational State Transfer*, передача состояния представления) [11], формата обмена данными JSON (*JavaScript Object Notation*), фреймворка gRPC (система вызова удаленных процедур, разработанная компанией Google), появлением парадигмы микросервисной архитектуры [12] стал формироваться архитектурный подход облегченной (*lightweight*) интеграции. В работе [13] предлагается перейти от термина «облегченная интеграция» к термину «гибкая интеграция» (*agile integration*). К основным свойствам гибкой интеграции относятся следующие:

- контейнерная среда интеграции (каждая интеграция приложений использует преимущества многослойной архитектуры микросервисов, осуществляется 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).

Очевидно, что в основе цифровой платформы должны функционировать инструменты управления виртуальной контейнерной и гибкой интеграции, базирующиеся на технологии контейнерной обработки и микросервисов. В перечень инструментов контейнерной интеграции должны входить средства оркестровки контейнеров, коммуникации контейнеров (*service mesh*), а также управления бизнес-логикой.

### Архитектура системного интерфейса интеграции цифровой платформы

Предлагаемая архитектура системного интерфейса интеграции цифровой платформы научных исследований приведена на рис. 2.

Центральный компонент архитектуры — микросервисные приложения, гарантирующие решение целевых задач платформы и функционирующие в виртуальной контейнерной среде облачных вычислений. Основное взаимодействие компонентов платформы осуществляется в контейнерной среде исполнения гибкой интеграции с использованием элементов системного интерфейса API, обеспечивающей децентрализованную мелкогранулярную многокомпонентную интеграцию.



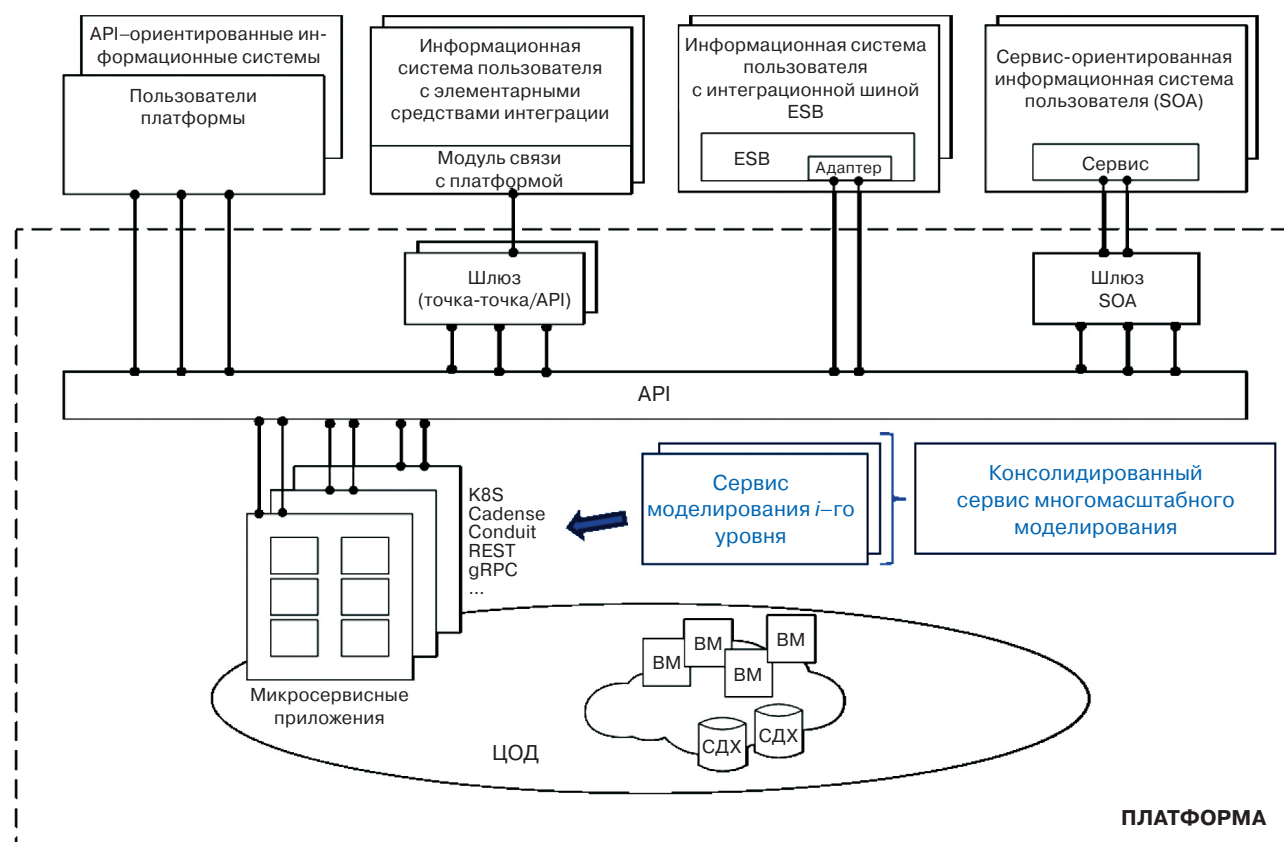


Рис. 2. Архитектура системного интерфейса интеграции цифровой платформы научных исследований для многомасштабного моделирования

Fig. 2. Architecture of the system interface for integrating a digital research platform for multi-scale simulation

Для взаимодействия с пользовательскими информационными системами, не работающими с веб-API в стиле REST или gRPC, предусматривается возможность шлюзования по технологии «точка-точка». Пользовательские информационные системы, функционирующие на основе интеграционных решений ESB, позволяют разработать адаптер для подключения к системному интерфейсу цифровой платформы. Также предоставляется возможность для сервис-ориентированных информационных систем получить доступ к системному интерфейсу цифровой платформы, разместив на средствах платформы специализированный шлюз, согласующий правила интеграции пользовательской системы и цифровой платформы.

Провайдером услуг цифровой платформы могут выступать различные информационные системы, в том числе высокопроизводительные вычислительные комплексы, предоставляющие ресурсы как облачные сервисы. Особенностью функционирования вычислительного комплекса при предоставлении услуг на цифровой платформе является разноплановость вычислительных задач, обрабатываемых комплексом. Клиентами вычислительного комплекса становятся научные коллективы, использующие для решения задач разные типы программного обеспечения, интегрированных сред и вычислительных технологий. Современным решением этой проблемы

является создание индивидуальных программных сред, использующих технологию виртуализации на базе контейнеров [14–16]. Предлагаемый системный интерфейс позволяет обеспечивать доступ к этим услугам центра обработки данных (ЦОД) платформы для всех видов пользовательских информационных систем.

## Заключение

Основной функцией цифровой платформы научных сервисов применительно к задачам многомасштабного моделирования является обеспечение процессов подготовки и проведения моделирования за счет формализации сценариев консолидации однослойных математических моделей и предоставление инструментов для взаимодействия исследователей, поставщиков исходных данных и научных сервисов, потребителей результатов. Механизмы поддержки каталогов заявок, исследований, научных сервисов и результатов позволяют реализовывать бизнес-процессы взаимодействия ученых при выполнении широкого спектра научных исследований, включая многомасштабное моделирование.

Важнейшим процессом, реализуемым цифровой платформой, является организация взаимодействия сервисов, зарегистрированных на платформе, с целью обеспечения выполнения научного исследо-

вания. Синхронизация процессов предоставления услуг и передачи данных между сервисами, а также получение конечного результата обеспечиваются путем реализации бизнес-процессов цифровой платформы, в основе которой лежит предложенный системный интерфейс.

Предложенный интерфейс взаимодействия на основе подходов гибкой интеграции, облачных технологий и виртуализации позволит создавать цифровые платформы для научных исследований. На базе таких цифровых платформ ученые получают возможность организации исследований, создания научных коллективов, публикации собственных научных сервисов, доступа к сервисам других научных организаций, а также получения и публикации результатов с учетом существующих информационных систем и накопленной в них информации.

Применение предложенных подходов для создания системного интерфейса цифровой платформы при решении задач многомасштабного моделирования на цифровых платформах для научных исследований позволит эффективно консолидировать высокопроизводительные вычислительные ресурсы и математические модели, предоставляя широкому кругу научных коллективов следующие преимущества:

- единое информационное пространство научных исследований;
- консолидация научных коллективов для совместных исследований;
- эффективное использование вычислительных ресурсов за счет «эластичности» технологий облачных вычислений.

Эксперименты по интеграции приложений цифровой платформы для научных исследований проведены с использованием вычислительных ресурсов ЦКП «Информатика» ФИЦ ИУ РАН [17].

#### Библиографический список

1. Зацаринный А. А., Киселев Э. В., Козлов С. В., Колин К. К. Информационное пространство цифровой экономики России. Концептуальные основы и проблемы формирования / под общ. ред. А. А. Зацаринного. М.: ФИЦ ИУ РАН; ООО «НИПКЦ Восход-А», 2018. 236 с.
2. Абгарян К. К., Гаврилов Е. С. Интеграционная платформа для многомасштабного моделирования нейроморфных систем // Информатика и ее применения. 2020. Т. 14, № 2. С. 104—110. DOI: 10.14357/19922264200215
3. Абгарян К. К., Гаврилов Е. С. Информационная поддержка интеграционной платформы многомасштабного моделирования // Системы и средства информатики. 2019. Т. 29, № 1. С. 53—62. DOI: 10.14357/08696527190105
4. Зацаринный А. А., Кондрашев В. А., Сорокин А. А., Денисов С. А. Методы консолидации научных сервисов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2019. Т. 22, № 4. С. 302—307. DOI: 10.17073/1609-3577-2019-4-302-307
5. Кондрашев В. А. Архитектура системы предоставления сервисов цифровой платформы для научных исследований // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28, № 3. С. 131—140. DOI: 10.14357/08696527180310
6. Зацаринный А. А., Кондрашев В. А., Сорокин А. А. Алгоритмы управления сервис-ориентированными процессами детерминированных научных сервисов в гибридных вычислительных средах цифровых платформ // Системы высокой доступности. 2020. Т. 16, № 3. С. 5—17. DOI: 10.18127/j20729472-202003-01
7. Кондрашев В. А., Рождественский С. М. Архитектура сетевого обеспечения и средства распределенного программирования в мобильной операционной системе // В сб.: Машино-независимые операционные системы. М.: МЦНТИ, 1987. С. 31—49.
8. Ершов О., Кондрашев В., Рождественский С. Вызов удаленных процедур — модели, аспекты реализации // В сб.: Сети ЭВМ. Аппаратные и программные средства для сетевых процессоров, локальные вычислительные сети, распределенная обработка на базе сетевых средств / под общей ред. В. Д. Праченко. М.: ИПИ РАН, 1988. С. 80—97.
9. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С., Козлов С. В. Некоторые вопросы проектирования информационно-телекоммуникационных систем. М.: ИПИ РАН, 2010. 218 с.
10. Бондаренко Т. В., Бондаренко О. А., Волович К. И., Гринев С. А., Кондрашев В. А. и др. Аспекты использования парадигмы электронного сообщения для интеграции приложений в корпоративных информационных системах. М.: ИПИ РАН, 2006. 79 с.
11. Fielding R. T. Architectural styles and the design of network-based software architectures. Diss. Ph.D. University of California, 2000. URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (дата обращения: 15.01.2020).
12. Lewis J., Fowler M. Microservices. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (дата обращения: 15.01.2020).
13. Clark K. Moving to a lightweight, agile integration architecture. URL: <https://developer.ibm.com/articles/cl-lightweight-integration-2/> (дата обращения: 15.01.2020)
14. Волович К. И., Шабанов А. П., Мальковский С. И. Конвергентные вычисления в гибридном высокопроизводительном вычислительном комплексе // Системы высокой доступности. 2020. Т. 16, № 2. С. 22—32. DOI: 10.18127/j20729472-202002-02
15. Volovich K. I., Denisov S. A., Malkovsky S. I. Formation of an individual modeling environment in a hybrid high-performance computing system // Russian Microelectronics. 2020. V. 49, N 8. P. 580—583. DOI: 10.1134/S1063739720080107
16. 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
17. Положение о Центре коллективного пользования «Информатика». URL: <http://www.frccsc.ru/ckp> (дата обращения: 15.01.2020).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 18-29-03091 и № 19-29-03051).

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2020 г.

*Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki* = *Materials of Electronics Engineering*. 2020, vol. 23, no. 4, pp. 282—288.  
DOI: 10.17073/1609-3577-2020-4-282-288

## System interface of scientific services of a digital platform for multiscale modeling

V. A. Kondrashev<sup>1</sup>, S. A. Denisov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences,  
44–2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russia*

**Abstract.** The paper deals with the formation of system interfaces of a digital platform for managing the process of providing scientific services, including the integration of scientific services for solving a complex research problem, for example, multiscale modeling of the properties of new materials or conducting interdisciplinary research. On the basis of the functional structure of the integration of scientific services of a digital platform (in relation to multiscale modeling) presented in the work, requirements for the system interface are formulated, and the architecture of the system interface for the integration of scientific services of a digital platform is proposed. The proposed model of a system interface for information interaction with services and datasets of a digital platform in management processes for the provision of scientific services is based on modern solutions for managing virtual infrastructure, based on container processing technologies and microservices, as well as container orchestration and communication (service mesh), flexible technologies (agile) integration. Taking into account that the main function of the digital platform is to provide processes for the preparation and conduct of research by formalizing the interaction scenarios of researchers, suppliers (sources) of initial data, consumers of the results, along with tools for supporting system interfaces to the catalogs of the digital platform, the project offers means for organizing the interaction of services, registered on the platform in order to ensure the execution of scientific research. Synchronization of the processes of providing services, ensuring the transfer of data between services and obtaining the final result are also ensured by implementing the control processes of the digital platform, which is based on the proposed system interface. The developed model of system interfaces is new in the work. The proposed interaction interface allows you to effectively consolidate high-performance computing resources and mathematical models based on digital platform technologies. This is especially important for organizing the solution of multiscale modeling problems as a complex of models, each of which operates on the same space-time scale.

**Keywords:** multiscale modeling, scientific service, digital platform, cloud computing, integration system, system interface, interdisciplinary research

### References

1. Zatsarinnyy A. A., Kiselev E. V., Kozlov S. V., Kolin K. K. Information space of the digital economy of Russia. Conceptual foundations and problems of formation. Moscow: OOO “NIPKTs Voskhod-A”, 2018. 236 p. (In Russ.)
2. Abgaryan K. K., Gavrilov E. S. Integration platform for multiscale modeling of neuromorphic systems. *Informatics and Applications*. 2020, vol. 14, iss. 2, pp. 104—110. (In Russ.). DOI: 10.14357/19922264200215
3. Abgaryan K. K., Gavrilov E. S. Information support of the multiscale modeling integration platform. *Systems and Means of Informatics*. 2019, vol. 29, iss. 1, pp. 53—62. DOI: 10.14357/08696527190105
4. Zatsarinnyy A. A., Kondrashev V. A., Sorokin, A. A., Denisov S. A. Scientific services consolidation methods. *Russian Microelectronics*. 2020, vol. 49, no. 8, pp. 612—616. DOI: 10.1134/S1063739720080144
5. Kondrashev V. A. Architecture of the service delivery system for the research services digital platform. *Systems and Means of Informatics*. 2018, vol. 28, iss. 3, pp. 131—140. (In Russ.). DOI: 10.14357/08696527180310
6. Zatsarinnyy A. A., Kondrashev V. A., Sorokin A. A. Algorithms for managing service-oriented processes of determinate research services in hybrid computing environments of digital platforms. *Highly Available Systems*. 2020, vol. 16, no. 3, pp. 5—17. (In Russ.). DOI: 10.18127/j20729472-202003-01
7. Kondrashev V. A., Rozhdestvenski S. M. Networking architecture and distributed programming tools in a mobile operating system. In: *Machine-Independent Operating Systems*. Moscow: MTsNTI, 1987. P. 31—49. (In Russ.)
8. Ershov O., Kondrashev V., Rozhdestvenski S. Calling remote procedures – models, aspects of implementation. In: *Computer networks. Hardware and software for network processors, local area networks, distributed processing based on network facilities*. Moscow: IPI RAN, 1988. Pp. 80—97. (In Russ.)
9. Zatsarinnyy A. A., Ionenkov Yu. S., Kozlov S. V. Some issues of designing information and telecommunication systems. Moscow: IPI RAN, 2010. 218 p. (In Russ.)
10. Bondarenko T. V., Bondarenko O. A., Volovich K. I., Grinev S. A., Kondrashev V. A. et al. Aspects of using the electronic message paradigm for integrating applications in corporate information systems. M.: IPI RAN, 2006. 79 p. (In Russ.)
11. Fielding R. T. *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. Diss. Ph.D. University of California, 2000. URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (accessed: 15.01.2020).
12. Lewis J., Fowler M. Microservices. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (accessed: 15.01.2020).
13. Clark K. Moving to a lightweight, agile integration architecture. URL: <https://developer.ibm.com/articles/cl-lightweight-integration-2/> (accessed: 15.01.2020).
14. Volovich K. I., Shabanov A. P., Malkovsky S. I. Converged computing in a hybrid HPC cluster. *Highly Available Systems*. 2020, vol. 16, no. 2, pp. 22—32. (In Russ.). DOI: 10.18127/j20729472-202002-02
15. Volovich K. I., Denisov S. A., Malkovsky S. I. Formation of an individual modeling environment in a hybrid high-performance computing system. *Russian Microelectronics*. 2020, vol. 49, no. 8, pp. 580—583. DOI: 10.1134/S1063739720080107
16. Volovich K. I. Organization of calculations in a hybrid high-performance computing cluster for parallel execution of heterogeneous tasks. *Systems and Means of Informatics*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 98—109. (In Russ.). DOI: 10.14357/08696527180410
17. Regulations on the Center for Collective Use “Informatics”. (In Russ.). URL: <http://ckp.frccsc.ru> (accessed: 15.01.2020).

### Acknowledgments

*This work was supported in part by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 18–29–03091 and No. 19–29–03051).*

### Information about authors:

**Vadim A. Kondrashev<sup>1</sup>** — Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director, e-mail: [vkondrashev@frccsc.ru](mailto:vkondrashev@frccsc.ru); **Sergey A. Denisov<sup>1,\*</sup>** — Lead Engineer, e-mail: [sdenisov@frccsc.ru](mailto:sdenisov@frccsc.ru)

\* Corresponding author

Received November 12, 2020