

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНАЯ ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА В СФЕРЕ НАУКИ: ФУНКЦИОНАЛ И АРХИТЕКТУРА

Перескоков И. С.¹, Табаков К. В.²

(ФГБУН *Институт проблем управления*
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Кожевников Н.А.³

(ФГАОУВО *Московский физико-технический*
институт, Москва)

Петров А. О.⁴

(ФГБУН *Институт радиотехники и электроники им.*
В.А.Котельникова РАН)

В статье отмечается устойчивый рост спроса на инновационную продукцию, являющуюся результатом совместной научной, образовательной и производственной деятельности. Это предполагает необходимость создания соответствующего маркетингового функционала с целью обеспечения адекватности планирования научного творчества и проектирования научной продукции потребностям реального сектора экономики, для чего в создаваемых информационных системах акцентируется внимание на необходимости обеспечения взаимодействия научно-образовательных и производственных структур, а также органов государственной власти. Показано, что существующая технологическая гетерогенность и междисциплинарность создаваемых в сфере науки и образования информационных систем, объединяющих научный, технический и технологический потенциалы ученых и специалистов, академических и научно-исследовательских институтов, учреждений высшего и среднего профессионального образования, требует использования современных подходов к интеграции различных систем, обеспечения их семантической интероперабельности, разработки соответствующего аппаратного, информационного и лингвистического обеспечения, а также интерфейсов взаимодействия. Это, в свою очередь, нуждается в использовании опыта интеграции больших информационных систем и их компонентов в мировой цифровой практике. Предлагается использовать опыт архитектурного проектирования с учетом широкого спектра функционального наполнения интегрируемых информационных систем. Показан пример построения эталонной модели

¹ *Илья Сергеевич Перескоков, математик (pereskocov@phystech.edu).*

² *Кирилл Викторович Табаков, инженер (tabakov2002@mail.ru).*

³ *Никита Александрович Кожевников, ведущий аналитик (nikita.kozhevnikov@phystech.edu).*

⁴ *Александр Олегович Петров, инженер (alexandrpetrov291094@gmail.com).*

научной деятельности в соглашениях архитектурного подхода к проектированию цифровых систем.

Ключевые слова: архитектурный подход, научно-образовательная сфера, цифровые системы, эталонная модель.

1. Введение

Основными вопросами мирового инновационного развития, несмотря на пандемию и кризисные явления в экономике различных стран, остается с одной стороны, устойчивое повышение спроса на инновационные ресурсы, включая знания и компетенции, и, с другой стороны, попытки сгладить нехватку инновационных ресурсов за счет программ поддержки науки, развития среднего и высшего образования.

В поиске ответов на эти вопросы важную роль играет создание соответствующих информационно-аналитических инфраструктуры. Происходящие в последние годы изменения систем академической науки, среднего и высшего образования с намерением облегчить и упростить систему обучения, приблизить науку к практике, однако, несмотря на последовательное наращивание мощности цифровой экономики, в подавляющем большинстве стран не обеспечивает удовлетворения спроса на инновационные ресурсы.

Схожая ситуация наблюдается и в России. Вместе с тем, структура экономической и социальной системы нашей страны по-прежнему выдвигает на первый план крупные системы управления научными и образовательными организациями. Это нашло свое отражение в соответствующих позициях национальных, федеральных и ведомственных проектов, стратегиях и программах, например, Стратегии развития искусственного интеллекта в Российской Федерации.

Информационные системы в области науки и образования в России разрабатываются в нормативных правовых рамках, определяемых законодательством, национальными и федеральными программами и проектами, иными директивными документами. В качестве директивных документов принимаются действующие законы, регламентирующие деятельность в сфере науки и высшего образования Российской Федерации, соответ-

ствующие акты Правительства Российской Федерации, Минобрнауки России и др. органов государственной власти.

Директивные намерения страны требует адекватной научной и образовательной базы с учетом проблем и диспропорций, накопившихся в экономике страны в целом. Произошедший за последние годы качественный скачок в развитии цифровых технологий, наложившись на многократно ускорившиеся процессы смены поколений высокотехнологичной наукоемкой продукции, определил необходимость упреждающего развития ключевых областей цифровых знаний с динамичной сменой компетенций специалистов. Развивается конвергенция процессов научных и образовательных исследований, а также внедрения сквозных цифровых технологий в производство и государственное управления процессов.

Объектом цифровизации при этом является комплекс функциональных задач, решение которых в научной деятельности обеспечивает, прежде всего:

- содействие развитию инноваций;
- активизация потребностей рынков научной, научно-технической, инновационной продукции;
- информационное обеспечение научной и научно-технической деятельности.

При этом технологическая гетерогенность и междисциплинарность создаваемых в сфере науки и образования информационных систем постоянно характеризуется высоким уровнем актуальности проблемы их интеграции, обеспечения семантической интероперабельности взаимодействия. Это требует использования опыта подобных реализаций в мировой цифровой сфере с учетом складывающихся направлений реализации и создаваемых цифровых систем. При этом, с одной стороны, должны учитываться функциональное наполнение систем, а с другой, опыт проектирования системных архитектур.

2. Объекты и функционал цифровизации научных исследований

Основным направлением создания цифровых систем в научно-образовательной сфере, которая взаимодействует со

сферой производственной, является попытка интеграции различных систем в единую научно-образовательную сеть, ориентированную на широкий круг междисциплинарных применений. Интеграция различных систем ведется с учетом следующих системно-функциональных особенностей:

- объединение научного, технического и технологического потенциала российских специалистов, академических и научно-исследовательских институтов, учреждений высшего и среднего профессионального образования;
- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, реализация опытно-конструкторских работ, внедрения новых инновационных технологий;
- обеспечение взаимодействия научно-образовательных и производственных структур, а также органов государственной власти и др.

Это основное направление предполагают проведение теоретических исследований и внедрение интеллектуальных технологий в сфере науки и образования России. К ним относятся технологии искусственного интеллекта; системы машинного обучения, методы поддержки решений; консультирующие и обучающие системы; технологии автоматизированного формирования знаний; средства хранения и представления знаний; развитие математического аппарата и программных средств и др.

Объединение научного, технического и технологического потенциала российских специалистов, научно-исследовательских институтов и учреждений высшего и среднего профессионального образования предполагает обеспечение беспрепятственного внедрения новых информационно-вычислительных сервисов.

В настоящее время научно-технологическая инфраструктура в сфере науки и образования России объединяет в сеть ряд центров коллективного пользования научным оборудованием и уникальных научных установок [3]. Уже созданы и развиваются несколько информационных систем, например:

- единая цифровая платформа научного и научно-технического взаимодействия, организации и проведе-

ния совместных исследований в удаленном доступе, в том числе с зарубежными учеными;

- информационные системы для автоматизации деятельности, связанной с выделением грантов и проведением конкурсов на выполнение исследований;
- система учета сведений о научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работах гражданского назначения и др.

Функционал созданных систем покрывает широкий спектр ресурсных возможностей для поддержки научной деятельности, включая такие междисциплинарные аспекты, как:

- исследование потребностей рынка в научной продукции и услугах;
- управление процессами и проектами, включая целеполагание, планирование, контроль реализации;
- аналитическая обработка данных с применением искусственного интеллекта;
- ведение реестров научных продуктов, работ и услуг;
- формирования междисциплинарных больших данных;
- поиск и аналитическая обработка данных;
- публикационная активность;
- формирование отчетов о проведении экспериментов;
- экспертная поддержка проектов и др.

Междисциплинарность и гетерогенность создаваемых систем в сфере науки предъявляет особые требования к обеспечению семантической интероперабельности, построению лингвистического обеспечения, разработки интерфейсов.

3. Семантическая интероперабельность

Семантическая интероперабельность предназначена для установления соответствия между смыслами терминов, используемыми в передаваемых между участниками взаимодействия данных. Это требует морфологического, синтаксического и семантического анализа электронных документов и сообщений, установления формального и субъективного соответствия фор-

мы электронных документов и сообщений, а также характера и стиля взаимодействия их содержанию.

Вопросы обеспечения семантической интероперабельности при междисциплинарном электронном взаимодействии возникают в таких случаях, как:

- учет и использование научных публикаций;
- учет в реестрах публичных записей (регистрация ученых, экспертов, организаций и др.);
- учет сообщений виртуального сотрудничества;
- согласование научных позиций и решений;
- обсуждение актуальных аспектов научных проблем и др.

В научном электронном взаимодействии может сложиться две основные ситуации:

- взаимодействие predetermined, нормативно и технологически зафиксировано;
- взаимодействие формируется инициативно, спонтанно.

В первой ситуации особых затруднений во взаимопонимании ученых не возникает. Во второй ситуации требуется осуществление, как правило, сходящегося процесса диалогового согласования знаний и пониманий участников сетевого общения. Этот случай представляет наибольшую сложность. Именно здесь семантическая интероперабельность приобретает особую значимость.

Семантическая интероперабельность определяет, прежде всего, технологическую среду для ускорения процессов установления смыслового соответствия между терминами, используемыми различными участниками информационного обмена в условиях динамичного изменения понятийного аппарата, связанного, в частности, с постоянным изменением опыта и знаний.

Семантический уровень систем обеспечения семантической интероперабельности при электронном взаимодействии ученых выполняет роль смыслового посредника, интерфейса между ученым и компьютером, между несколькими территориально распределенными учеными и др. Для повышения эффективности взаимодействия людей и организаций при обмене информацией можно выделить протоколы семантического взаимодействия трех уровней сложности:

- первый уровень обеспечивает поддержку процессов взаимодействия административных органов при планировании научной деятельности, реализуемых с использованием стандартизованных электронных документов и простых сообщений (делопроизводство);
- второй уровень обеспечивает поддержку процессов взаимодействия, реализуемых с использованием содержательной, неструктурированной части документов и сообщений (поиск текстовых документов, тематическое классифицирование, анализ больших данных и др.);
- третий уровень обеспечивает поддержку сетевых коллаборативных процессов взаимодействия ученых при совместной работе в рамках проекта, согласовании приоритетов, решении проблем, управления знаниями и мотивациями.

Семантическая интероперабельность определяет осмысленные алфавит, лексику и грамматику межведомственного взаимодействия, используемые в контексте принятых протоколов обмена данными, языков разметки, представления и управления информационным взаимодействием.

Учитывая зарубежный опыт создания подобных систем обеспечение семантической интероперабельности может осуществляться на основе ряда принципов, например:

- доступность для всевозможных категорий ученых;
- мультиязычность (с охватом нескольких зарубежных языков);
- безопасность (национальная, финансовая, социальная, экологическая, информационная);
- субсидиарность (система обеспечения интероперабельности не должна мешать работе иных систем);
- открытые стандарты;
- трехуровневость протоколов взаимодействия: организационный и семантический, технический и др.

При создании системы обеспечения интероперабельности весомая роль отводится онтологиям и естественно-языковому интерфейсу.

4. **Онтологии**

Под онтологией понимается формализованное описание знаний и понятий, свойств каждого понятия, описывающих его атрибутов, а также ограничений. Онтология включает базу знаний.

Онтология определяет общий словарь взаимодействующих ученых, с помощью которого можно быстро приходиться к взаимопониманию. Онтология включает машинно-интерпретируемые формулировки понятий предметной области и отношения между ними. Онтологии необходимы для:

- совместного использования всеми участниками сетевого общения, учеными и интеллектуальными агентами общего понимания проблем и информации;
- возможности повторного использования знаний в предметной области;
- того чтобы сделать допущения в предметной области явными;
- отделения знаний в предметной области от оперативных данных;
- анализа знаний в предметной области.

Совместное использование людьми или программными агентами общего понимания структуры информации является одной из наиболее общих целей разработки онтологий. Если различные веб-сайты совместно используют и публикуют одну и ту же базовую онтологию терминов, которыми многие потребители услуг среды электронного взаимодействия пользуются, то компьютерные (автоматизированные) агенты могут извлекать информацию из этих различных сайтов и накапливать ее.

Онтологии обеспечивают возможность использования знаний предметной области. Например, для моделей многих различных предметных областей работы органов государственной власти необходимо сформулировать понятие времени. Это представление включает понятие временных интервалов, моментов времени, сроков для контроля, относительных мер времени и т.д. Онтологии помогают снять неоднозначность представления, и, соответственно, улучшить понимание терминов

различными потребителями информации и информационных услуг.

Онтология – это модель реальной ситуации и понятия в онтологии должны отражать эту реальность. После того, как определяется начальная версия онтологии, поводится ее оценка и отладка с привлечением экспертов, включая удаленных [6]. Далее онтология доводится до необходимого уровня качества в процессе эксплуатации.

5. Естественно-языковой интерфейс

Участниками взаимодействия могут быть как сами ученые, так и компьютерные приложения, интеллектуальные агенты, автоматически использующие формально представленные знания.

Среда электронного взаимодействия может обеспечиваться широким спектром «дружественных» интерфейсов, разрабатываемых как для отдельных ученых, так и коллективов, включая интерфейсы ориентированные на медийные, текстовые, табличные, динамические, статические стили восприятия.

При выборе интерфейса необходимо учитывать различные психологические особенности восприятия информации учеными; кто-то любит читать текст, кто-то смотреть график, а кто-то хорошо воспринимает информацию на слух.

Интерфейс может быть геоинформационным. Такой интерфейс предназначен преимущественно для справочной работы с картографическими и фактографическими базами данных. Их центральной частью может являться геоинформационный конструктор — в качестве генератора карт и диаграмм на них.

При этом под понятностью информации подразумевается синтаксическая, семантическая и прагматическая однозначность сведений, требующая, в частности, типового делового языка, общности знаний участников о проблеме, о себе и других ученых. Язык, тексты, так и общая ситуация должны иметь общую и понятную все репрезентацию. В противном случае участники общения не смогут в приемлемое время взаимопонимания.

Необходимо обеспечить, чтобы ученые имели детальные и однозначно понимаемые знания о ситуации, чтобы они помога-

ли им углублять понимание ситуации, в том числе чрезвычайную. Если участник не обладает необходимыми знаниями, то необходимо предусмотреть, чтобы для конструктивного научного взаимодействия инициализировалась смешанная инициатива, то есть инициатива, переходящая от одного участника к другому.

Разработка интерфейсов в среде электронного взаимодействия должно учитывать психосемантические аспекты поведения участников взаимодействия. Информационная технология должна предоставлять большую свободу для проектной самоорганизации, обмена знаниями и накопления опыта, рациональной оценки проблемно-научной ситуации, анализа имеющихся данных, опыта и составления прогноза.

Любое взаимодействие предполагает процессы свободного обмена мнениями, возникновения и разрешения конфликтов, утряски интересов, совместного обсуждения альтернатив и многое другое. Эти процессы происходят, как правило, при личном общении, при проведении научных совещаний и споров. В этом общении зачастую много личностного, латентного, непредсказуемого. Для поддержки эффективного виртуального сотрудничества ученых могут использоваться интеллектуальные информационные технологии, встраиваться в систему интеллектуальные помощники.

6. Аппаратное обеспечение

Аппаратная часть создаваемых систем в сфере науки может включать различные центры обработки данных, например, центр, оснащенный комплексом технических средств, обеспечивающих бесперебойное функционирование и эксплуатацию, а также вспомогательный вычислительный центр для обеспечения высокого уровня надежности функционирования системы.

Между такими центрами обеспечивается наличие высокопроизводительных каналов связи, а также применяются технологии резервирования и дублирования данных. Как правило, центр обработки данных подключен к Интернет.

Указанные центры обычно в состав комплекса технических средств включают такие элементы, как:

- локальные вычислительные сети;
- серверное оборудование;
- автоматизированные рабочие станции;
- телекоммуникационные подсистемы;
- системы гарантированного хранения и резервного копирования данных и др.

С учетом вышеизложенного формируется архитектура информационной системы в соответствии с международными стандартами.

7. Архитектура цифровых систем

Для плодотворного взаимодействия и взаимопонимания ученых в мультидисциплинарной среде требуется интеграция и синхронизированное функционирование используемых ими информационных систем. В мировой практике для такой интеграции и синхронизации используется архитектурный подход, под который разработаны стандарты и соответствующие концептуальные схемы [3,8].

Основная цель архитектурного подхода состоит в обеспечении взаимосвязи стратегий развития объектов управления любого уровня сложности (государство, регион, сектор экономики, научно-исследовательский институт и др.) со стратегией трансформации его деятельности на основе использования сквозных цифровых технологий. Примеры успешного применения этого подхода можно увидеть в органах власти Великобритании, США, Индии [5,7] и других стран, где утверждение основополагающих нормативных документов по внедрению этого подхода осуществляется на уровне первых лиц управления страной.

Архитектурный подход подразумевает декомпозицию информационной системы с определенной структуризацией. Например, может быть выделено четыре уровня декомпозиции: деятельности, системный, данных, технологический. Могут быть выделены также отдельные аспекты архитектуры, например, знаний, информации, данных, коллаборации, эффективности и результативности. Такая декомпозиция дает возможность

интегрированно увязать компоненты различных систем при проектировании [1]. Для каждого блока декомпозиции строится своя эталонная модель.

Для построения архитектуры интегрированной цифровой системы в области науки может быть использован опыт различных стран. Например, архитектурный подход к построению электронного правительства, приведенный в работе [7], в приложении к научной сфере, предполагает декомпозицию информационной системы, как показано на Рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная архитектура цифровой системы в области науки

Учитывая высокую неопределенность целеполагания в науке, особенно фундаментальной, большое влияние на исследовательские процессы элементов творчества построение архитектуры цифровой системы требует высокой гибкости. Здесь становится эффективным использование таких подходов, как Agile, SAFe, Kanban и др., которые обеспечивают высокую гибкость создания цифровых систем, малые сроки разработки и среднюю цену.

Архитектурный подход предполагает высокий уровень пользы для исследовательских коллективов от использования цифровой системы, для чего в его рамках формируется соответствующее лингвистическое обеспечение, стандартизирующее терминологию, которая понятна ученым и сформулирована на их языке, при условии, что система мультидисциплинарна и многоязычна. Эта польза может характеризоваться следующим:

- научные услуги предлагаются ученым понятно и единообразно;
- повышается производительность научного творчества;
- качество научных услуг постоянно растет и др.

Терминология, в контексте которой работают ученые, в архитектурном подходе представляется в эталонных моделях, например, эффективности и результативности или эталонной модели деятельности. Первая из перечисленных модель служит для разработки единого механизма для измерения эффективности и результативности различных видов научной деятельности в рамках междисциплинарного проекта в ходе достижения его целей. Вторая модель рассматривает исследовательскую концепцию и услуги, которые представляются на языке описания решаемой проблемы. Пример построения верхнего уровня эталонной модели научной деятельности при архитектурном подходе к проектированию информационной системы приведен на Рис. 2.



Рис. 2. Архитектурная эталонная модель научной деятельности.

Для всех блоков архитектуры создаваемой информационной системы в области науки (Рис. 1) требуется построение многоуровневой системы эталонных моделей, пример верхнего уровня которых показан на Рис. 2.

При построении архитектурных эталонных моделей должны быть учтены различные аспекты научной деятельности. Например, необходимо учесть возможность распространения и восприятия контентов, нарушающих информационную безопасность их пользователей в социальных сетях [2].

Для поддержки автоматизированного построения подобной архитектуры в мировой практике используются соответствующие архитектурные технологии, например, реализующие концептуальную модель TOGAF [9].

8. Заключение

Междисциплинарность, многофункциональность, многоязычность, хаотичность, нечеткость целей — примеры из множества характеристик научной деятельности, которые определяют сложность проектирования интегрированных информационных систем в области науки.

Для преодоления указанной сложности при интеграции различных информационных систем в этой области предлагается использовать стандарты архитектурного подхода, успешно зарекомендовавшего себя в мировой практике проектирования корпоративных цифровых систем и систем органов государственной власти.

Литература

1. ЕРШОВА Т.В., РАЙКОВ А.Н., ХОХЛОВ Ю.Е. *Система мониторинга потребностей отраслей экономики в цифровых платформах и технологиях* // Информационное общество. 2020. - № 2. - С. 2-17. [Электронный ресурс]: URL: <http://infosoc.iis.ru/article/view/460> (дата обращения 19.05.2021)
2. КАЛАШНИКОВ А.О., ОСТАПЕНКО А.Г., ОСТАПЕНКО Г.А., ОСТАПЕНКО О.А., ЧАПУРИН Е.Ю. *Социальные сети и риск-мониторинг*. - М.: Горячая линия - Телеком, 2020. – 266 с.
3. Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации. Центры коллективного пользования научным оборудованием и уникальные научные установки, [Электронный ресурс]: URL: <http://ckp-rf.ru/> (дата обращения: 19.05.2021).
4. *1 ISO 15704:2019 Enterprise modelling and architecture — Requirements for enterprise-referencing architectures and methodologies*. (дата обращения 19.05.2021)
5. *Federal Enterprise Architecture Framework (USA)*. Version 2, 2013, - 434 p. [Электронный ресурс]: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/omb/asets/egov_docs/fea_v2.pdf (дата обращения 19.05.2021)

6. GUBANOV D., KORGIN N., NOVIKOV D., RAIKOV A. *E-Expertise: Modern Collective Intelligence*. Springer. Series: Studies in Computational Intelligence, – Vol. 558, 2014, XVIII, – 112 p.
7. IndEA Framework (India Enterprise Architecture Framework) [Электронный ресурс]: URL: <http://egovstandards.gov.in/sites/default/files/IndEA%20Framework%201.0.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
8. *The TOGAF Standard, Version 9.2 Overview*. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.opengroup.org/togaf> (дата обращения 19.05.2021).
9. TOGAF ADM Tools. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.visual-paradigm.com/> (дата обращения 19.05.2021)

INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR COLLECTIVE SCIENTIFIC RESEARCH

Ilya Pereskokov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, mathematician (pereskokov@phystech.edu)

Alexander Petrov, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics, engineer (alexandrpetrov291094@gmail.com)

Kirill Tabakov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, engineer (tabakov2002@mail.ru)

Nikita Kozhevnikov, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Lead Analyst (nikita.kozhevnikov@phystech.edu)

Abstract: The paper notes a steady growth in demand for innovative products results from joint scientific, educational and industrial activities. This implies the need to create an appropriate marketing functionality to ensure the adequacy of the planning of scientific creativity and the design of scientific products to the needs of the real sector of the economy, for which, in the information systems being created, attention is focused on the need to ensure interaction between scientific, educational and industrial structures, as well as state bodies, authorities. It is shown that the existing technological heterogeneity and interdisciplinarity of information systems which have been creating in the field of science and education, combining the scientific, technical and technological potential of scientists and specialists, academic

and research institutes, institutions of higher and secondary vocational education, requires the use of modern approaches to the integration of various systems, ensuring their semantic interoperability, the development of appropriate hardware, information and linguistic support, as well as interaction interfaces. This, in turn, requires the use of the experience of integrating large information systems and their components in global digital practice. It is proposed to use the experience of an architectural approach to design digital systems, taking into account a wide range of functional content of integrated information systems. An example of building a reference model of scientific activity in the standards of an architectural approach to digital systems design is shown.

Keywords: architectural approach, scientific and educational sphere, digital systems, reference model.

УДК 004.8 + 004.9

ББК 30ф

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*