

Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук»
(ФИЦ ИУ РАН)

На правах рукописи

Кондрашев Вадим Адольфович

Методы представления научного сервиса в среде облачных вычислений

Специальность: 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы и компьютерные
сети

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор А.А. Зацаринный

Москва – 2019

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАУЧНОГО СЕРВИСА В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	13
1.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ РФ... 13	13
1.2 АНАЛИЗ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ..... 18	18
1.3 АНАЛИЗ ВИДОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В НАУЧНОМ ИНТЕРНЕТ- ПРОСТРАНСТВЕ РФ	30
1.4 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 35	35
1.5 АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	42
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ НА ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2 МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАУЧНОГО СЕРВИСА В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	50
2.1 МЕТОД ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ	50
2.2 МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ НАУЧНЫХ СЕРВИСОВ В СРЕДУ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	60
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	73
3 ОБОСНОВАНИЕ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО АРХИТЕКТУРНЫМ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	75
3.1 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АРХИТЕКТУРНЫМ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЧАСТИ СИСТЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЕРВИСОВ	75
3.2 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СЕРВИСОВ	80
3.2.1 ОПИСАНИЕ НАУЧНЫХ СЕРВИСОВ В МАКЕТЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ СЕРВИСАМИ.....	80

3.2.2 ОПИСАНИЕ НАУЧНЫХ СЕРВИСОВ В ИНФОРМАЦИОННОМ АДАПТЕРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦКП ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МСЦ РАН	87
3.2.3 ОПИСАНИЕ НАУЧНЫХ СЕРВИСОВ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЦКП ФИЦ БИОТЕХНОЛОГИИ РАН С СИСТЕМОЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ.....	96
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	108

Введение

Современные информационные технологии играют существенную роль в жизни общества и человека, вызывая коренные преобразования во всех сферах человеческой деятельности [125]. Взаимосовершенствование экономической модели цифровых платформ и информационных технологий облачных вычислений, развитие стратегии «Everything-as-a-Service» (EaaS/XaaS «Все как сервис») являются основой современных бизнес-моделей в различных отраслях экономики [7, 18].

Научно-технологическое развитие России и развитие информационного общества ориентировано на широкое внедрение цифровых технологий, развитие фундаментальной науки, исследовательской инфраструктуры, IT-индустрии, ведение собственных передовых разработок [108-110]. Программой цифровой экономики РФ [106], национальным проектом «Наука» [111], предусматривается создание современных цифровых платформ как инфраструктурной основы цифровой экономики России.

Российская наука обладает всеми необходимыми компонентами для рассмотрения ее в качестве отрасли цифровой экономики: наличие развитой инфраструктуры, организационных структур, нормативной базы, высокого уровня компетенций и высококвалифицированных научных коллективов. При этом все перечисленные компоненты становятся «цифровыми» и наука, как отрасль экономики, также становится «цифровой».

Научные и образовательные организации России обладают широкой, распределенной по территории страны, сетью центров коллективного пользования и уникальных научных установок, обладающих колоссальным спектром научных услуг в различных областях науки. Необходима систематизация этих услуг и повышение эффективности их использования на основе создания современной исследовательской инфраструктуры, которая предоставляла бы широкий спектр возможностей по научным сервисам не только для научных организаций, но и для внешних пользователей.

Достижения информационных технологий и использование их в широком спектре научных областей, глобализация науки, междисциплинарность исследований, стремление к высокой степени эффективной загрузки уникального научного оборудования – основные предпосылки для появления цифровых платформ для научных исследований. Ключевым понятием такой платформы является научный сервис – 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 [81]. Научный сервис как цифровое представление процессов научного исследования в облачной среде цифровой платформы становится ключевым компонентом в новых «цифровых» отношениях между научным коллективом и другими субъектами экономики (в том числе между научными коллективами).

Эффективное цифровое представление научной услуги цифровой платформой помимо создания инновационной основы исследовательским коллективам для использования научных сервисов может обеспечить учет и распределение ресурсов, систематизацию и оптимизацию затрат на проведение научных исследований. Накапливая информацию об оказании научных услуг, цифровая платформа создает условия для объективной оценки актуальности, важности, результативности научных сервисов, а также распределения ресурсов с использованием принципов состязательности, целесообразности и оптимальности, а также принятых методов наукометрии.

Центральным элементом цифровой платформы для научных исследований является система представления сервисов. Ее назначение – описание научных сервисов, их публикация на платформе, предоставление инструментов ведения каталога научных сервисов, заказа и учета процессов научных исследований.

Методы представления процессов научных исследований, логически структурированные в архитектуру информационной системы облачных

вычислений для цифровой платформы, позволяющие предоставлять, заказывать, учитывать, оценивать и планировать научные сервисы требуют научной разработки и являются востребованными для создания современных цифровых платформ.

Проблемам научного обоснования роли и места информационных систем и технологий в различных сферах деятельности общества, созданию различных информационных систем (репозиториев) для эффективного накопления, хранения и обработки информации и управления ресурсами, посвящен ряд исследований отечественных и зарубежных ученых. Среди работ по данной тематике необходимо отметить публикации известных советских и российских ученых: В.М.Глушкова [62-63], Н.Н.Моисеева [97-98], И.С.Брука [46-47], Б.Н.Наумова [99-101], И.А.Мизина [95-96], И.А.Соколова [85, 94, 115], Л.А.Калиниченко [86-89], А.А.Зацаринного [73-79], В.Н.Захарова [69-72], В.И.Будзко [48-49, 113], А.П.Сучкова [116-118]. В указанных работах авторами рассматриваются различные аспекты создания автоматизированных систем управления, информационных и информационно-управляющих систем для обработки и накопления информации, оптимизации управления.

В целом проблемам интеграции ресурсов для научных исследований в рамках отраслевой цифровой платформы, в частности, представлению процессов научного исследования в виде облачного сервиса цифровой платформы, не уделяется достаточного внимания. В связи с этим, исследования в области разработки методов представления научных сервисов в среде облачных вычислений на основе теоретической и практической проработки цифровой процессной модели представления процессов научного исследования в виде научных сервисов цифровой платформы являются **актуальными**.

Объектом исследования являются цифровые платформы для научных исследований.

Предмет исследования: методы представления научных сервисов для цифровых платформ в среде облачных вычислений.

Целью работы является исследование и разработка методов представления процессов научных исследований в облачной среде, а также обоснование рекомендаций по архитектурным решениям для информационной системы отраслевой цифровой платформы для научных исследований.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие **научные задачи**:

– анализ и обоснование задач отраслевой цифровой платформы для научных исследований, подходов к описанию бизнес-моделей и бизнес-процессов для научных исследований, архитектурных решений интеграционной информационной системы в среде облачных вычислений;

– разработка методов и алгоритмов представления процессов научного исследования как бизнес-процессов и облачных сервисов цифровой платформы для научных исследований;

– обоснование научно-практических рекомендаций по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований на основе разработанного комплекса методов и алгоритмов.

В качестве **методов исследований** в работе используются методы теории систем, дискретной математики, системного анализа, теории управления и исследования операций.

Научная новизна диссертационного исследования определяется следующими результатами:

1) методом описания процессов научного исследования в виде двухуровневой циклической процессной модели, позволяющей систематизировать существующие и перспективные научные сервисы цифровой платформы в среде облачных вычислений;

2) методикой планирования сервиса цифровой платформы как ключевой ценности бизнес-модели научного сервиса, опирающейся на ключевые ресурсы, ключевые процессы и структуру затрат;

3) методом глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы;

4) комплексом алгоритмов обеспечения теоретических исследований и экспериментов инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов.

Достоверность результатов исследования подтверждается:

- выбором моделей, методов и алгоритмов, адекватно отражающих процессы научного исследования в цифровой экономике;

- достоверностью исходных данных о проводимых исследованиях на приборной базе центров коллективного пользования и уникальных научных установок организаций Российской академии наук, входивших в действующий макет системы управления научными сервисами [121];

- положительными результатами апробации методов и алгоритмов представления процессов научного исследования в системе описания научных сервисов действующего макета системы управления научными сервисами [121].

Диссертационное исследование соответствует требованиям **паспорта специальностей ВАК Минобрнауки России 05.13.15** в части пунктов 1 и 3 паспорта:

- разработки научных основ архитектурных, структурных, логических и технических принципов создания вычислительных комплексов, исследования общих свойств и принципов функционирования вычислительных комплексов;

- разработки научных методов и алгоритмов организации логической обработки данных.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии методических подходов к представлению процессов научного исследования как сервисов цифровой платформы и разработке методов и алгоритмов для анализа процессов научного исследования с целью систематизации научных сервисов.

Практическая значимость результатов работы определяется возможностью использования комплекса разработанных методов и алгоритмов для представления

процессов научного исследования как сервиса цифровой платформы при создании отраслевых цифровых платформ для научных исследований.

Разработка методов представления процессов научного исследования в среде облачных вычислений цифровой платформы определяется следующими факторами:

- нормативными документами цифровой экономики (определения, классификация цифровых платформ в цифровой экономике РФ);
- процессными подходами к созданию бизнес-моделей инновационной деятельности;
- существующими информационными ресурсами для научной деятельности в интернет пространстве;
- системотехническими подходами к созданию информационных систем;
- методическими подходами к оценке архитектурных решений для информационных систем.

Анализ указанных факторов проводится в первой главе диссертационной работы, которая завершается обоснованной постановкой задачи на проведение исследования.

Во второй главе анализируется, разрабатывается и обосновывается комплекс методов и алгоритмов представления процессов научного исследования в облачной среде цифровой платформы по следующим направлениям:

- описание процессов научного исследования как бизнес-процессов цифровой платформы;
- представление процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы;

Третья глава содержит обоснование научно-практических рекомендаций по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований на основе рассмотренного во второй главе комплекса методов. Глава завершается описанием практический применений разработанных методов:

– в макете системы управления научными сервисами НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО» [121];

– в информационном адаптере системы управления ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН;

– в системе обеспечения взаимодействия информационной системы ЦКП ФИЦ Биотехнологии РАН с системой взаимодействия с клиентами.

Основные научные результаты, представленные в данной работе, **опубликованы** в 22 печатных работах [33, 36-43, 57-60, 67, 80-84, 90-92], в том числе в 15 публикациях [36-43, 57, 59, 67, 80, 83-84, 92] в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России («Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»).

Апробация основных результатов диссертационной работы выполнена на ряде конференций и семинаров. Наиболее значимые из них:

- Междисциплинарный научно-практический семинар по проблеме «Математическое моделирование в материаловедении электронных компонентов», ВЦ РАН имени А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, 23 ноября 2018 г.;

- XIII Международный симпозиум «Intelligent Systems», INTELS'18, 22-24 октября 2018, Санкт Петербург;

- Международная научная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях», Воронежский государственный университет, Воронеж, 03-06 сентября 2018 г.;

- XXIV международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация и связь», Воронеж, 17-19 апреля 2018 г.;

- III научно-практическая конференция «Проблемы управления научными исследованиями и разработками – 2017», Москва, ИПУ РАН, 25 октября 2017;

- XXIII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация и связь», Воронеж, 18-20 апреля 2017 г.;

- Китайско-российский форум инженерных технологий, КНР, Ханчжоу, 2015.

Результаты диссертационной работы реализованы:

– в системе описания научных сервисов в макете системы управления научными сервисами НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО» [121];

– в информационном адаптере системы управления ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН;

– в системе обеспечения взаимодействия информационной системы ЦКП ФИЦ Биотехнологии РАН с системой взаимодействия с клиентами.

На защиту выносятся **основные положения:**

1) метод описания ряда процессов научного исследования как бизнес-процессов цифровой платформы позволяет определить и систематизировать совокупность существующих и перспективных научных сервисов цифровой платформы;

2) методы и алгоритмы представления ряда процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы позволяют обеспечить снижение транзакционных издержек за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными;

3) метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления ряда процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы позволяет интегрировать ресурсы, необходимые для выполнения исследования, в единой информационной среде;

4) комплекс алгоритмов обеспечения экспериментальных и теоретических исследований инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов позволяет использовать классические механизмы управления интеграционной шины платформы (оркестровки) как детерминированными научными сервисами (сервисы, предоставляемые по готовым утвержденным

методикам), так и поисковыми исследованиями с изменением методики исследования.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации — 122 стр., в том числе 11 иллюстраций, 2 таблицы. Список литературы состоит из 128 наименований.

1 Предпосылки для разработки методов представления научного сервиса в среде облачных вычислений

Разработка методов представления научного сервиса в среде облачных вычислений определяется следующими факторами:

- нормативными документами цифровой экономики (определения, классификация цифровых платформ в цифровой экономике РФ);
- современными подходами к созданию бизнес-моделей инновационной деятельности;
- существующими информационными ресурсами для научной деятельности в интернет пространстве;
- современными технологиями информационных систем;
- современными подходами к оценке архитектурных решений для информационных систем.

1.1 Классификация цифровых платформ цифровой экономики РФ

Появление понятия цифровой экономики принято связывать с американскими учеными Доном Тапскоттом [30] и Николасом Негропonte [23] (1994-1995г.г.) До настоящего времени нет общепринятого определения понятия «цифровая экономика» и связанного с ним понятия «цифровая платформа». Описание инноваций, связанных с цифровой экономикой и цифровыми платформами, к моменту появления программы цифровой экономики России [106] достаточно подробно приведено в известной работе [28], включенной в список 16 обязательных к прочтению деловых книг 2016 года по версии журнала Forbes.

В апреле 2018 года появились подходы к определению и типизации цифровых платформ для программы цифровой экономики России [123], одобренные подкомиссией по цифровой экономике Правительственной комиссии по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности. В соответствии с ними

цифровая платформа – «это система алгоритмизированных взаимовыгодных взаимоотношений значимого количества независимых участников отрасли экономики (или сферы деятельности), осуществляемых в единой информационной среде, приводящая к снижению транзакционных издержек за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными и изменения системы разделения труда».

Отличительной особенностью этого определения является одновременное наличие следующих сущностных критериев:

- 1) система алгоритмизированных взаимовыгодных взаимоотношений;
- 2) значимое количество независимых участников отрасли экономики (или сферы деятельности)»;
- 3) единая информационная среда;
- 4) снижение транзакционных издержек;
- 5) применение цифровых технологий работы с данными;
- б) изменение системы разделения труда.

В том или ином виде перечисленные выше критерии явно или не явно используются в других определениях цифровой платформы. Существенные характеристики понятия цифровой платформы в цифровой экономике России, отличающие его от альтернативных определений [4, 8, 11] и используемые далее, выделены подчеркиванием.

Платформы цифровой экономики России в соответствии с рассматриваемыми подходами классифицируются по следующим характеристикам:

- основной вид деятельности, организуемый на платформе;
- участники платформы, бенифициар существования и использования платформы, его требования к платформе;
- уровень обработки информации для получения эффекта цифровой платформы;
- инфраструктура цифровой платформы («единая информационная среда»).

Предусмотрены следующие уровни обработки информации:

- а) агрегация ряда технологических операций процесса обработки информации (получение информации для выполнения технологического процесса);

б) агрегация применения ряда технологий для автоматизации бизнес-процесса субъекта экономики (получение информации для принятия решения);

в) агрегация применения ряда отдельных бизнес-процессов (получение бизнес — эффекта от предоставления товара/услуги потребителю).

В таблице 1 представлены основные типы цифровых платформ и их характеристики [123].

Приведенные в таблице типы платформ в соответствии с рассматриваемыми подходами могут образовывать иерархию в рамках экосистемы цифровых платформ, при которой:

- инструментальные платформы создают инструменты и обеспечивают технологическую работу с данными;

- инфраструктурные платформы сочетают средства технологической обработки данных и источники данных, обеспечивая функционирование ИТ-сервисов, предоставляющих обработанные (прикладные) данные для принятия решения;

- прикладные цифровые платформы обрабатывают прикладные данные на уровне потока бизнес-процессов, что позволяет за счет объединения таких потоков фиксировать транзакции между участниками обмена.

В подходах к определению и типизации цифровых платформ Цифровой экономики РФ [123] также дается характеристика отраслевой цифровой платформы как подтипа прикладных платформ, создаваемых по инициативе и под контролем государственных регуляторов. В этом случае платформа не только объединяет в одном информационном пространстве спрос и предложение на товары и услуги, но и используется для порождения и структурирования информационных потоков между участниками, которыми могут быть как субъекты экономической деятельности, так и контрольно-надзорные органы.

Таблица 1. Основные типы цифровых платформ

	Инструментальная цифровая платформа	Инфраструктурная цифровая платформа	Прикладная цифровая платформа
Основной вид деятельности платформы	Разработка ПТС	Предоставление ИТ-сервисов и информации для принятия решений	Обмен определёнными экономическими ценностями на заданных рынках
Результат деятельности платформы	Продукт (ПТС) для обработки информации, как инструмент	ИТ-сервис и результат его работы – информация, необходимая для принятия решения в хозяйственной деятельности	Транзакция. Сделка, фиксирующая обмен товарами/услугами между участниками на заданном рынке
Группы участников	Разработчик платформы, разработчики решений	Поставщики информации, оператор платформы, разработчик платформы, разработчики ИТ-сервисов, потребители ИТ-сервисов	Участники экономической деятельности: поставщики товаров/услуг и производственных ресурсов; потребители. Оператор платформы и регуляторы
Уровень обработки информации	Технологические операции обработки информации	Выработка информации для принятия решений на уровне хозяйствующего субъекта	Обработка информации о заключении и выполнении сделки между несколькими субъектами экономики
Основной бенефициар и его требования	Разработчик прикладных программных или программно-аппаратных решений, технические требования	Заказчик ИТ-сервиса для потребителя (продуктолог), функциональные требования, требования к составу информации	Конечный потребитель на рынке, решающий бизнес-задачу, бизнес-требования. Регулятор (опционально) – требования законодательства

Поэтому отраслевая цифровая платформа может быть, в том числе, инструментом регулятора для объективного мониторинга информационного пространства отрасли и управления организационно-экономическими процессами в отрасли.

В технологическом плане анализируемые подходы определяют отраслевую цифровую платформу как информационную систему для накопления, обмена и управления данными в структурированном виде, в том числе для вызова бизнес-функций с сопряженными с ними через технологические API-интерфейсы информационные системы участников.

Таким образом, отраслевая цифровая платформа обеспечивает интеграцию информационных систем участников в определенной отрасли экономики с учетом того, что в качестве информационных систем участников могут выступать также прикладные цифровые платформы, агрегирующие информационные потоки значительного числа независимых участников рынка.

Далее цифровая платформа для научных исследований будет рассматриваться как отраслевая цифровая платформа в виде иерархической экосистемы, включающей инструментальные, инфраструктурные и прикладные цифровые платформы и представляющей собой интеграционную информационную систему, которая:

- а) обеспечивает накопление, обмен и управление данными, а также интеграцию с информационными системами участников и цифровыми платформами;
- б) обслуживает значимое количество участников трех категорий:
 - поставщики услуг и ресурсов для научных исследований;
 - потребители услуг и ресурсов для научных исследований;
 - регуляторы цифровой платформы для научных исследований, включая оператора платформы и его эксплуатационные подразделения.

1.2 Анализ бизнес-моделей инновационной деятельности

В [53] понятие бизнес-модели определяется как «концептуальное описание предпринимательской деятельности». В то же время английский вариант статьи «Business model» [50] определяет бизнес-модель как описание логики того, как организация создает, поставляет и получает ценность в экономическом, социальном, культурном или других контекстах (A business model describes the rationale of how an organization creates, delivers, and captures value, in economic, social, cultural or other contexts). Для работы с бизнес-моделью научных исследований следует признать аутентичным англоязычную трактовку бизнес-модели как логического описания процесса создания ценности в самом широком смысле, в том числе нового знания как основной ценностью научного исследования.

Область описания и разработки бизнес-моделей является достаточно динамичной. Появляются новые работы о методах описания и создания бизнес-моделей. На текущий момент общепризнанные стандартизованные де-юре термины и определения для описания бизнес-моделей отсутствуют. Также нет унифицированного стандартизованного множества готовых бизнес-моделей, покрывающего все многообразие научных исследований как в России, так и за рубежом.

Широко известен подход Остервальдера [26, 105], который рассматривает бизнес-модель как описание хозяйственной деятельности в структуре из девяти блоков (Business Model Canvas, далее шаблон, рисунок 1).

Ключевые партнеры (8)	Ключевые виды деятельности (7)	Ценностные предложения (2)	Взаимоотношения с клиентами (4)	Потребительские сегменты (1)
	Ключевые ресурсы (6)		Каналы сбыта (3)	
Структура издержек (9)		Потоки поступления дохода (5)		

Рисунок 1 – Шаблон бизнес-модели Остервальдера

Блок «потребительские сегменты» определяет группы клиентов организации. Группы клиентов (потребительские сегменты) различаются, если:

- запрашивают разные ценностные предложения, либо привлекают разные аспекты предложения;
- взаимодействуют по разным каналам сбыта;
- используются разные правила взаимоотношений с клиентами, в том числе различается выгодность взаимоотношений.

В [105] приводятся следующие примеры бизнес-моделей, ориентированные на разные типы потребительских сегментов:

- «массовый рынок» - потребительский сегмент не делает различий для клиентов, в такой модели ценностные предложения, каналы сбыта, взаимоотношения с клиентами ориентированы на большую группу клиентов, объединенных сходными потребностями;
- «нишевый рынок» - ценностные предложения, каналы сбыта и отношения с клиентами ориентированы на особые потребительские сегменты;
- «дробное сегментирование» - незначительное отличие групп клиентов, порождающие отличия в ценностных предложениях, каналах сбыта и других блоках (например, банковские продукты для состоятельных клиентов и клиентов экономного класса);

- «многопрофильные предприятия» - обслуживание нескольких существенно разных групп пользователей с различными потребностями (например, розничные продажи в интернет-магазине и хостинг);

- «многосторонние платформы» («многосторонние рынки») – обслуживание нескольких взаимосвязанных групп клиентов (например, эмиссия кредитных карт и поддержка торговых точек, принимающих эти карты).

Блок «ценностные предложения» определяет товары и услуги, удовлетворяющие потребности клиентов. Каждое ценностное предложение является совокупностью товаров (услуг), которые запрашивает группа клиентов определенного потребительского сегмента.

В [105] приводятся следующие примеры бизнес-моделей, ориентированных на разные виды ценностных предложений:

- «новизна» - ценностное предложение, ориентированное на удовлетворение новых потребностей;

- «производительность» - ценностное предложение, ориентированное на предложение, обеспечивающее повышение производительности (эффективности);

- «изготовление на заказ» - ценностное предложение товаров (услуг), удовлетворяющих индивидуальные запросы клиентов;

- «делать свою работу» - ценностное предложение товара (услуги) в составе другого товара (услуги);

- «дизайн» - ценностное предложение товара с продуманным дизайном;

- «бренд/статус» - ценностное предложение статусного товара известного бренда;

- «цена» - ценностное предложение похожих товаров, услуг по более низкой цене;

- «уменьшение расходов» - ценностное предложение, помогающее клиентам снижать их расходы;

- «снижение риска» - ценностное предложение, снижающее уровень риска клиента при покупке товаров (услуг);

- «доступность» - ценностное предложение, обеспечивающее доступ к товарам (услугам) для групп клиентов, которые ранее не имели к ним доступ;

- «удобство/применимость» - ценностное предложение, обеспечивающее комфорт при использовании товара (услуги).

Блок «каналы сбыта» описывает как организация взаимодействует с потребительскими сегментами. Основные их функции:

- повышение степени осведомленности о ценностных предложениях (включая как технические, так и стоимостные характеристики);

- приобретение товаров (услуг);

- обеспечение постпродажного обслуживания.

В [105] классифицируются основные виды каналов сбыта по признаку собственности (собственные или партнерские) и управляемости (прямые или не прямые), а также декларируются пять этапов продвижения товара (услуги) потребителю:

- «информационный этап» - повышение осведомленности потребителя о товаре (услуге);

- «оценочный этап» - возможность клиенту оценить ценностное предложение;

- «продажный этап» - возможность приобретения товара (услуги);

- «доставка» - услуги по доставке товара (услуги);

- «постпродажный» - обеспечение постпродажного обслуживания.

Блок «взаимоотношения с клиентами» описывает отношения организации и клиентов, поддерживаемые всеми службами по работе с клиентами, для:

- приобретения клиентов;

- удержания клиентов;

- увеличения продаж.

В [105] выделяются следующие основные типы взаимоотношений с клиентами:

- «персональная поддержка» - тип отношений, основанный на личных контактах клиента с представителем организации (в офисе, по телефону, электронной почте, социальных сетях и пр.);

- «особая персональная поддержка» - «персональная поддержка» с прикреплением постоянного консультанта;

- «самообслуживание» - тип отношений, при котором организация обеспечивает клиента инструментами, необходимыми для самостоятельного обслуживания;

- «автоматизированное обслуживание» - сложная форма «самообслуживания» с автоматизацией ряда процессов (например, формирование рекомендаций по профилю клиента);

- «сообщества» - управление клиентами через общение в коллективе (интернет-сообщества, клубы по интересам и т.д.);

- «совместное создание» - создание ценности совместно с потребителем

Блок «потоки поступления доходов» определяет плату, получаемую от каждого потребительского сегмента. Возможны несколько потоков поступления доходов от каждого потребительского сегмента. Каждый поток может иметь свой механизм ценообразования (таблица 2) и тип дохода (доход от разовой сделки или регулярный доход от периодических платежей).

В [105] выделяется несколько способов создания потоков доходов:

- «продажа активов» - доход от продажи прав собственности на товар (продукт);

- «плата за использование» - доход от оплаты за пользование определенной услугой;

- «оплата подписки» - доход от продажи продолжительности доступа к услуге;

- «аренда/рента/лизинг» - доход от передачи клиенту временных прав на пользование активом в течении определенного времени;

- «лицензия» - доход за счет передачи прав на пользование защищенной интеллектуальной собственностью;

- «брокерский процент» - доход от посреднических услуг;

- «реклама» - доход от оплаты за рекламу.

Таблица 2. Механизмы ценообразования.

Фиксированные цены		Свободные цены	
Цена по прейскуранту	Фиксированные цены на товары (услуги)	Договор между партнерами (торги)	Цена устанавливается в ходе переговоров сторон
Зависимость от характеристик	Цена зависит от числа и качества потребительских характеристик	Управление доходами	Цена зависит от имеющихся ресурсов и сроков покупки
Зависимость от потребительского сегментов	Цена зависит от особенностей потребительского сегмента	Торговля в реальном времени	Цена определяется уровнем спроса и предложения
Зависимость от объема закупки	Цена меняется в зависимости от количества приобретаемого товара (услуги)	Аукцион	Цена определяется торгами

Блок «ключевые ресурсы» описывает активы, необходимые для создания и доставки до потребителей ценностных предложений, взаимодействия с потребителями и получения дохода. Организация может использовать свои ресурсы, брать их в наем или получать от ключевых партнеров, которые можно классифицировать на следующие категории:

- «материальные ресурсы» (оборудование, производственные мощности, здания и т.п.);
- «интеллектуальные ресурсы» (интеллектуальная собственность - торговые марки, патенты, базы данных и т.п.);
- «персонал» (людские ресурсы);
- «финансы» (финансовые гарантии, кредитные линии и т.п.).

Блок «ключевые виды деятельности» описывает действия организации, необходимые для процесса создания и реализации ценностных предложений, поддержания взаимоотношений с клиентами и получения доходов, которые можно классифицировать на следующие категории:

- «производство» - разработка, создание и вывод на рынок продукта в требуемом объеме и заданном качестве;

- «разрешение проблем» - поиск и оптимальное решение проблем клиента;

- «платформы/сети» - деятельность, основанная на платформе как ключевом ресурсе (управление платформой, сервисное обеспечение, развитие и продвижение платформы);

Блок «ключевые партнеры» описывает отношения с сетью поставщиков и партнеров, привлекаемых к созданию ценностных предложений, которые классифицируются по четырем типам:

- «стратегическое сотрудничество» - отношения между неконкурирующими организациями;

- «соконкуренция» («стратегическое партнерство») - отношения между конкурирующими организациями;

- «совместные предприятия» - отношения между учредителями одной организации;

- «заказчик-поставщик» - отношения с поставщиками для гарантии получения в заданные сроки необходимого количества комплектующих требуемого качества.

В [105] выделяются три основных мотива для партнерства:

- «оптимизация и экономия в сфере производства» - получение ключевых ресурсов с оптимальными издержками;

- «снижение риска и неопределенности» - формирование союзов с подрядчиками, обладающими высоким профессионализмом в требуемой области;

- «поставки ресурсов и совместная деятельность» - формирование союзов владельцев ресурсов со специализированными организациями для выполнения действий по обработке и продвижению ресурсов.

Блок «структура издержек» описывает расходы, связанные с созданием и продвижением ценностных предложения (включая расходы на ключевые ресурсы и ключевые виды деятельности), взаимоотношениями с клиентами, получения доходов.

Структура издержек оптимизируется между двумя альтернативами:

- «преимущественное внимание к издержкам» - дешевые ценностные предложения, максимальная автоматизация в обслуживании клиентов, широкое привлечение сторонних дешевых ресурсов;

- «преимущественное внимание к ценности» - высококлассные ценностные предложения, высокий уровень сервиса, ориентированного индивидуально на клиента.

В структуре издержек присутствуют фиксированные (не зависящие от объема продукции) и переменные (зависящие от объема продукции) издержки.

В [105] рассматриваются следующие подходы к снижению издержек:

- «экономия на масштабе» - увеличение объема выпуска продукции и снижение расходов организации в пересчете на единицу продукции;

- «эффект диверсификации» - использование одних и тех же видов маркетинговой деятельности или каналов сбыта для разнообразных продуктов.

Описание бизнес-модели на основе шаблона и стилей бизнес-моделей типа «разделение», «длинный хвост», «многосторонние платформы», «FREE», «открытые бизнес-модели», представленных в [105], достаточно популярны, бизнес-модели этих стилей могут использоваться при организации научных исследований.

Подход стал практически классическим для анализа существующей деятельности организации и создания новых бизнес-моделей с учетом указанных стилей.

Изложенный выше подход [105] для разработки бизнес-моделей не единственный. Для модернизации существующих бизнес-моделей, особенно, в динамичной области инноваций популярен подход «прорывных инноваций» [17].

Это подход, предлагая решения для динамичной перестройки бизнес-моделей «прорывных инноваций», укрупняет шаблон бизнес-модели Остервальдера (рисунок 1), структурируя бизнес-модель четырьмя взаимосвязанными блоками:

- ценностное предложение клиенту;
- формула прибыли;
- ключевые ресурсы;

- ключевые процессы.

Блок «ценностное предложение клиенту» формирует понимание что нужно целевому потребителю и описывает:

- 1) целевого потребителя;
- 2) потребность целевого потребителя;
- 3) предложение, направленное на удовлетворение потребности, (что и как будет сделано).

Блок «формула прибыли» формирует план, который определяет, как компания создает ценность для себя, одновременно обеспечивая ценность для клиента. В нем описывается:

- 1) модель получения дохода (цена, объем рынка, частота реализации, дополнительные продажи и т.д.);
- 2) структура издержек (стоимость ключевых ресурсов, прямые и косвенные затраты, экономия на масштабе и т.д.);
- 3) модель предельной прибыли (расчет величины каждой «чистой» финансовой транзакции с учетом объема и структуры затрат)
- 4) оборот ресурсов (скорость оборота, время производства, производительность, товарооборот, коэффициент использования ресурсов и т.д.)

Блок «ключевые ресурсы» формирует понимание какие ресурсы (персонал, технологии, оборудование, информация, каналы поставок, партнерства и т.д.) становятся ключевыми при создании предлагаемой ценности.

Блок «ключевые процессы» формирует понимание какие нужны процессы и как их следует организовать, чтобы можно было предлагать необходимую потребителю ценность с учетом масштабирования и повторяемости. Блок описывает:

- 1) операционные и управленческие процессы, создающие ценность так, чтобы процессы мог повторяться и увеличиваться в масштабе (разработка, комплектование, аренда, производство, продажи, обслуживание, обучения и т.д.);
- 2) правила и определения (требования инвестиций, условия кредитования, время производства, правила снабжения и т.д.);

3) нормы (возможность необходимого размера инвестиций, взаимодействие с клиентами, каналы сбыта и т.д.)

В приведенной структуре ценностное предложение клиента и формула прибыли определяют стоимость для клиента и компании соответственно, а ключевые ресурсы и ключевые процессы описывают, как эта ценность появится у клиента и компании.

В [17] авторы декларируют успех описываемого подхода к реновации бизнес-модели компании согласно следующей дорожной карты:

- осознать, что успех начинается с проработки возможности удовлетворить потребность реального клиента;
- разработать план создания ценности для компании и клиента («формулу прибыли»), определить какие ресурсы и процессы потребуются;
- сравнить новую бизнес-модель с существующей, оценить необходимость изменений в компании для создания нового ценностного предложения.

Рассмотрим еще один подход к декомпозиции хозяйственной деятельности для описания бизнес-моделей, предложенный в [126], который может быть полезен для формирования методов представления процессов научного исследования в цифровой платформе.

Анализируя феномен вертикальной дезинтеграции отраслевых цепочек, возникшей в конце XX века, и различия бизнес-моделей Дитера Хойскеля (интегрированная модель, модель игрока, действующего на определенном уровне, - Layer Player, модель дирижера - Orchestrator, модель маркетмейкера - Market Maker) [14], в [126] предлагается характеризовать бизнес-модель следующими критериями:

- место компании в отраслевой цепочке создания ценности;
- источник конкурентного преимущества (инновационная деятельность, обладание необходимыми комплементарными активами или доступом к ним);
- схема генерирования дохода, включая определения клиента и способа взаимодействия с ними.

С учетом предлагаемой схемы характеристик в [126] определяются следующие бизнес-модели компаний в условиях дезинтеграции отраслевых цепочек создания ценностей.

Интегрированная модель – компания охватывает всю отраслевую цепочку создания ценности, обладает высоким потенциалом генерирования дохода и доступом ко всем важным комплементарным активам внутри организации. «Интегратор» должен обладать преимуществом на каждом звене цепочки создания ценности в конкуренции с «игроком, действующим на определенном уровне», а также его возможности по координации звеньев цепи должны быть сравнимы с возможностями «дирижера». Источником ее конкурентного преимущества, в основном, является владение комплементарными активами.

Модель дирижера (Orchestrator) – компания специализируется на одном или нескольких участках отраслевой цепочки создания ценности, обладает высоким потенциалом генерирования дохода и доступом ко всем важным комплементарным активам путём сотрудничества с другими компаниями. «Дирижеры» концентрируют усилия на одном или нескольких ключевых участках цепочки создания ценности, привлекая сторонних исполнителей к вспомогательным видам деятельности (аутсорсинг), координируя их деятельность. Для устойчивости компании необходимо оптимальное соотношение между гибкостью (стоимостью) сети соисполнителей и уверенностью в надежности ее членов, т.к. конкурентное преимущество достигается за счет высокой степени координации и доступа ко всем необходимым комплементарным активам. Участие в полной цепочке создания ценности обеспечивает высокий потенциал генерирования дохода.

Модель игрока, действующего на определённом уровне (Layer Player) – компания специализируется на одном звене отраслевой цепочки создания ценности, обладает относительно небольшим потенциалом генерирования дохода и, как новатор, высоким уровнем конкуренции, создавая спрос на свои услуги. Для возникновения и сохранения этой модели важно существование новаторской технологии, обеспечивающей высокую компетенцию компании, в сочетании с надежным «режимом присвоения» (владения) этой технологией (правовая защита

– патенты, копирайт и т.д., либо «глубина» знаний, которые трудно получить другой компанией). «Игроки» пытаются специализироваться на существенных звеньях отраслевой цепочки, максимально используя экономию от масштаба и уникальные знания, чтобы как новаторы получить необходимую «рыночную власть» над владельцами комплементарных активов, охватывая подобные цепочки создания ценности в нескольких отраслях.

Модель маркетмейкера (Market Maker) – компания создаёт новое звено в отраслевой цепочке создания ценности, обычно, направленное на повышение степени «прозрачности» рынка (создания новых рынков) за счет инновационного формирования необходимых информационных ресурсов, обладает относительно «небольшим» потенциалом генерирования дохода и, как новатор, высоким уровнем «рыночной власти», создавая тем самым спрос на свои услуги. После создания рынка в одной отрасли компания пытается распространить его на несколько областей.

Таким образом, рассмотренные подходы к описанию бизнес-моделей указывают на их актуальность для формирования характеристик и функций составных частей цифровой платформы как информационной системы, в том числе системы представления процессов научных исследований в облачной среде цифровой платформы. На цифровой платформе для научных исследований целесообразно поддерживать функционирование предприятий с самым широким спектром бизнес-моделей, описание для которых представлено шаблоном Business Model Canvas, предложенным Остервальдером [105]. Модель создания научных сервисов цифровой платформы для скорейшее освоение новых потребностей клиента, обуславливающих применение новых технологий и методик в исследованиях, предлагается разрабатывать на основе подхода «прорывных инноваций» Кристенсена [17].

Спецификацию процессов научных исследований с высокой степенью специализации работ, выполняемых инструментами отраслевой цифровой платформы как экосистемы, в том числе в междисциплинарных областях,

необходимо формировать с учетом результатов проведенного анализа, включая подходы к классификации бизнес-моделей, предложенные Швайцером в [126].

1.3 Анализ видов информационных ресурсов в научном интернет-пространстве РФ

Публичное, доступное широкому кругу исследователей, российское информационное научное интернет-пространство появилось практически одновременно с глобализацией сети Интернет как «всемирной паутины» в 90 г.г. XX века [93, 127].

К настоящему времени в сети Интернет представлены информационные системы следующих категорий:

- 1) сайты научных электронных библиотек, журналов, хранилищ и агрегаторов научных публикаций, поисковые службы для научных публикаций;
- 2) сайты научных организаций с информацией о проводимых исследованиях (в том числе на дорогостоящем оборудовании), организуемых научных мероприятиях, научных публикациях;
- 3) сайты с доступом к облачным вычислительным ресурсам;
- 4) сайты типа «научные социальные сети»;
- 5) сайты с репозиториями «больших данных» научных экспериментов;
- 6) сайты интернет-проектов, содержащие тематические научно-технические публикации, форумы, репозитории программного обеспечения и данные научных экспериментов;
- 7) сайты научных фондов.

Основной функцией сайтов научных электронных библиотек, журналов, хранилищ и агрегаторов научных публикаций, поисковых служб для научных публикаций является предоставление данных о научных публикациях по заданным критериям. В качестве примера к этой категории сайтов можно отнести такие известные электронные библиотеки как Научная Электронная Библиотека eLIBRARY (<https://elibrary.ru>), Научная Электронная Библиотека Киберленинка

(<https://cyberleninka.ru>), электронная библиотека диссертаций disserCat (<http://www.dissercat.com>), реферативные базы данных типа Web of Science (<https://webofknowledge.com>), Scopus (<https://scopus.com>), базы данных научно-технической информации: arXiv (<https://arXiv.org>, около 1,5 млн. публикаций по естественным наукам), БД по американским патентам (<https://uspto.gov>), БД по международным патентам (<https://wipo.int>), база данных ВИНИТИ РАН (<http://www.viniti.ru>), электронный каталог ГПНТБ России (<http://gpntb.ru>) и др.

Качество услуг, представляемых подобными сайтами, определяется объемом источников информации, качеством поиска и ведением индексов цитирования. Соответственно, в этих направлениях продолжается их развитие:

- увеличивается база источников информации;
- развиваются поисковые алгоритмы релевантного поиска научной информации, разрабатываются системы предоставления исследователю реферативных сборников по заданной тематике, в том числе на основе современных методов анализа текста с элементами искусственного интеллекта;
- развитие аналитических систем оценки качества публикаций и рейтинга авторов на основе индекса цитируемости.

Сайты с информацией о проводимых исследованиях (в том числе на дорогостоящем оборудовании), организуемых научных мероприятиях, научных публикациях в настоящее время есть у большинства научных организаций России. Относительно недавно появился аналитический сайт-агрегатор этой информации в части научно-технологической инфраструктуры коллективного пользования (Центры коллективного пользования научным оборудованием, Уникальные научные установки, установки класса «Megascience»), функционирующей на базе научных организаций [124]. Информация о проводимых исследованиях в научной организации позволяет привлечь потенциальных клиентов и заинтересованные научные коллективы к выполнению совместных исследований, либо коммерческому использованию дорогостоящей научно-технологической инфраструктуры научной организации, увеличивая время полезного использования дорогостоящего научного оборудования.

Сайты с доступом к облачным вычислительным ресурсам позволяют научным коллективам на определенных этапах исследования увеличить мощность необходимой для расчетов вычислительной инфраструктуры, арендуя их в соответствии с технологией облачных вычислений. Примерами таких сайтов могут быть сайты суперкомпьютера «Ломоносов» (<https://parallel.ru/cluster>), Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (<http://old.jssc.ru/scomputers.html>), программы «Университетский кластер» (<http://www.unicluster.ru/about.html>), ЦОД компаний Ростелеком (https://moscow.old.rt.ru/b2b/service_cloudy/virtual_cod) и КРОК (<https://www.croc.ru/solution/services/cod-outsourcing>). По сути назначение этих сайтов аналогичное предыдущим сайтам с информацией о проводимых исследованиях в части привлечения потенциальных клиентов для эффективной загрузки дорогостоящего оборудования.

Сайты типа «научные социальные сети» - это относительно новые агрегаторы, основной задачей которых является поиск новых форм научного сотрудничества посредством индивидуальных коммуникаций. Примерами таких агрегаторов могут быть международные сети ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>), SSRN (<https://www.ssrn.com/en/>), Elsevier (<https://www.elsevier.com>), русскоязычные сети SciPeople (<http://scipeople.ru/>), Science-Community (<https://www.science-community.org/ru/>). Отличительным свойством социальных сетей является формирование профиля участника. Научные социальные сети на основе сформированного профиля участника осуществляют подбор новостей, публикаций, проектов для участника. Первоначальное формирование профиля проводится на основе информации предоставленной участником, а далее профиль дополняется по результатам семантического анализа социальной и профессиональной деятельности участника в сети (рейтинг публикаций, участия в дискуссиях и других мероприятиях социальной сети, оценки коллег). Полученные рейтинги и оценки являются основанием для рекомендации привлечения участника к новым научным проектам, публикуемым в сети, влияют на авторитет оценок, выставяемых участником. Тем самым на основе информации, циркулирующей в

сети, появляются новые возможности для ранжирования исследователей, и интеграции их в совместной творческой деятельности. Такие возможности ранжирования в научном сообществе в свою очередь позволяют создавать новые конкурсные механизмы поиска требуемых в данный момент исследователей, способных решить необходимые задачи. В результате в научном сообществе существенно меняется механизм оценки профессиональной деятельности и способ представления исследователя профессиональному сообществу.

Сайты с репозиториями «больших данных» научных экспериментов позволяют научным коллективам проводить исследования по анализу данных, не имея возможность провести сам эксперимент. С помощью таких репозиториях появляется возможность разработки алгоритмов и методов анализа «сырых» данных эксперимента, разработки технологий искусственного интеллекта. Сайты реализуют современные алгоритмы хранения «больших данных» и предоставления их по запросу.

Примерами таких сайтов могут быть:

- Connectome Coordination Facility (<https://www.humanconnectome.org>): данные в области нейрофизиологии (данные магнитно-резонансной томографии мозга человека - структурные изображения; изображения, полученные в состоянии покоя субъекта; изображения, полученные при выполнении субъектом заданий и т.п.), объем – десятки ТБ;

- The National Center for Biotechnology Information (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>): данные в области биомедицины, геномики (Литература - книги, отчеты, статьи, онтологии, списки цитирований; Здравоохранение - генетическое тестирование, отчеты клинической эффективности лекарств, изучения генотипа и фенотипа; Геномы - архив последовательностей ДНК и РНК, геномные последовательности организмов, изучения структурных различий генома, сборки геномов; Гены - коллекции обработанных последовательностей нуклеотидов; Белки - белковые последовательности и структуры и пр.), 37 баз данных с 2.1 миллиардами записей;

- Vizier (<http://vizier.u-strasbg.fr/>): данные в области астрономии (данные более 50 астрономических миссий - инструментов, проектов наблюдений; направления: сейсмология астероидов, двойные и кратные звезды, черные дыры, кластеры галактик, скопления, эфимериды, экзопланеты, галактики, гравитационные линзы, гравитационные волны, вспышки гамма-излучения, межгалактическая среда, межзвездная среда, мазеры, новые звезды, фотометрия, собственные движения, пульсары, красное смещение, спектроскопия, звезды), 18000 астрономических каталогов.

Сайты интернет-проектов, содержащие тематические научно-технические публикации, форумы, репозитории программного обеспечения и данные научных экспериментов позволяют в соответствии с интересами исследователя участвовать в выбранном проекте. В Интернет есть сайты-интеграторы открытых проектов, например, SourceForge (<https://sourceforge.net>), есть тематические сайты, например, проект Open Graph Viz (<https://gephi.org/>), проект Fedora (<https://getfedora.org/>).

Сайты научных фондов, занимающихся организацией научных исследований, обычно содержат информацию о проведении конкурсов, а также инструменты для проведения экспертиз заявок и публикации результатов проектов, получивших гранды. Примерами могут быть сайты Российского фонда фундаментальных исследований (<http://www.rfbr.ru>) и Российского научного фонда (<http://rscf.ru>).

В результате анализа можно определить следующие группы задач, решаемых в современном информационном интернет-пространстве:

- поиск публикаций, получение реферативных обзоров для анализа текущего состояния научной проблемы, существующих методов и алгоритмов решения задач;

- поиск и использование приборной базы, вычислительных ресурсов (программного обеспечения), данных экспериментов для проведения исследования, а также предоставления перечисленных видов ресурсов для использования сторонним исследователям;

- участия в научных проектах, обсуждения, апробация и публикация научных результатов, организации исследовательских коллективов для совместной

творческой деятельности, формирования индивидуального профессионального рейтинга.

Заметим, что в информационном интернет-пространстве отсутствуют интеграционные информационные системы отраслевых цифровых платформ для научных исследований с характеристиками, определенными подходами к типизации цифровых платформ для программы цифровой экономики России.

Таким образом, проведенный анализ Интернет-ресурсов и сервисов указывает на необходимость учета их на различных стадиях научных исследований при формировании экосистемы отраслевой цифровой платформы для научных исследований.

1.4 Анализ технологий интеграционных информационных систем

В современной технической литературе достаточно много обсуждают различные подходы к созданию информационных систем, декларируя при этом структурные, функциональные, процессные подходы и различные их комбинации, обсуждают их достоинства и недостатки.

В [2] представлен системный подход, который предлагает описывать систему как совокупность взаимодействующих объектов, составляющих единое целое. К настоящему времени уточнены концепции, принципы и определения системного подхода [44, 51, 52, 54]. В соответствии с ними система рассматривается комплексно с учетом разных аспектов, в том числе элементных, процессных, структурных, функциональных, целевых, ресурсных, интеграционных, коммуникационных, исторических.

Компьютерные информационные системы можно представлять «открытыми системами», функционирующими в окружающей среде, имеющими свои границы, входы, выходы информационного обмена, выполняющими процессы трансформации входной информации в выходную.

Понятие процессного подхода относят к теории управления [112]. Этот подход широко применяется в управлении качеством предприятия в классических

контрольных картах Шухарта и статистических методах управления качеством [29, 27].

Использование формальных нотаций для описания бизнес-процессов в современной информационной системе многократно обосновано и популярно. Считается, что первая формальная спецификация для описания бизнес-процессов с целью их формализации в автоматизированных системах появилась в 80 г.г. XX века в США в составе комплекса стандартов IDEF (Integration Definition Metodology) [15].

С развитием архитектур информационных систем от моносистем до микросервисных [18, 19], появлением архитектурной концепции интеграционной шины (сервисная шина предприятия) [4] проблемам описания бизнес-процессов и их реализации в информационной системе уделяется особое внимание. В настоящее время в рамках международной группы Object Management Group разрабатывается нотификация для управления бизнес-процессами (BPMN – Business Process Model And Notation). Текущая версия спецификаций – BPMN 2.0 [24]. Ожидается, что эта спецификация займет доминирующее положение в современных интеграционных информационных системах [35].

В современных условиях успех предприятия зависит от способности информационной системы качественно и заданный срок обрабатывать объемные потоки информации эволюционирующей структуры. Системы извлекают информацию из множества источников, интегрируя ее для необходимой предметной обработки и получения требуемой ценности. От скорости обработки и качества (полноты, целостности, достоверности) интегральной информации зависит ценность информационной системы.

Архитектура интеграционной информационной системы должна позволить эффективно (эволюционно) развивать систему для решения новых задач обработки данных. Компоненты архитектуры современной интеграционной информационной системы должны с оптимальными затратами модернизироваться с учетом следующих изменений:

- появление новых источников данных;

- изменение структуры старых данных;
- появление новых данных;
- совершенствование старых алгоритмов обработки данных, появление новых;
- появление новых бизнес-процессов и ролей пользователей.

В [120] предлагается рассматривать эволюцию архитектур информационных систем с точки зрения расслоения ее трех фундаментальных компонентов:

- «представление» (отображения данных и обработка событий интерфейса с пользователем);
- «домен» (бизнес-логика приложения, вычисления на основе вводимых и хранимых данных, обработка команд и т.п.);
- «источник данных» (обращение к базе данных, обмен сообщениями т.п.).

Работа допускает дальнейшие расслоения компонентов. Предлагаемые подходы к послойной декомпозиции информационной системы позволяют перейти от моно, двух-, трехзвенных архитектур [55-56] к многослойным, в том числе к четырехуровневой [9-10] и микросервисной [102] архитектуре.

Концепция микросервисной архитектуры информационных систем в настоящее время очень популярна. Ее популярность тесно связана с парадигмой облачных вычислений и бурным развитием средств контейнерной виртуализации.

Облачные вычисления [22] - это модель, обеспечивающая сетевой доступ «по требованию» к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сети, серверы, хранилище, приложения и сервисы), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены при минимальных управляющих усилиях. Облачная модель включает пять основных характеристик:

1) самообслуживание по требованию: потребитель по необходимости может самостоятельно задействовать вычислительные ресурсы, такие как серверное время или сетевое хранилище данных, в автоматическом режиме без необходимости взаимодействия с провайдером услуг;

2) широкий сетевой доступ: ресурсы доступны по сети через стандартные механизмы, предоставляемых гетерогенными платформами тонких или толстых

клиентов (например, мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки и рабочие станции);

3) объединение ресурсов: вычислительные ресурсы провайдера объединены для обслуживания нескольких потребителей, используя принцип множественной аренды (различные физические и виртуальные ресурсы динамически назначаются и переназначаются в соответствии с потребительским спросом); возникает ощущение независимости от местоположения, когда потребитель не контролирует и не знает о точном расположении предоставленных ресурсов, хотя может быть в состоянии определить местоположение на более высоком уровне абстракции (например, страна, штат или центр обработки данных); примеры ресурсов: хранилища, вычислители, память, каналы связи;

4) высокая «эластичность» (адаптация, масштабирование): ресурсы могут быть оперативно предоставлены и освобождены, обычно, автоматически, чтобы быстро адаптироваться к спросу; для потребителя доступные ресурсы часто выглядят не ограниченными и могут быть заказаны в любом количестве в любое время;

5) измеримость услуги: облачные системы автоматически контролируют и оптимизируют использование ресурсов, используя возможность измерения некоторых абстракций, соответствующих типу услуги (например, хранилище, процессинг, передача данных, активные учетные записи пользователей); использование ресурса отслеживается, контролируется, формируются отчеты, что обеспечивает прозрачность информации для поставщика и для потребителя об использовании услуги.

В модели облачных вычислений предусмотрены три классические модели сервисов:

- Software as a Service (SaaS) – программное обеспечение как сервис, при которой потребителю предоставляется возможность использовать приложения провайдера, работающие в облачной инфраструктуре; приложения доступны с различных клиентских устройств через интерфейс тонкого клиента (например, веб-браузер) или программный интерфейс; потребитель не управляет и не контролирует базовую облачную инфраструктуру, включая сеть, серверы, операционные

системы, хранилище или даже возможности отдельных приложений, за возможным исключением ограниченных пользовательских настроек конфигурации приложения;

- Platform as a Service (PaaS) – платформа как сервис, при которой потребителю предоставляется возможность развертывания в облачной инфраструктуре приложений, созданных (приобретенных) потребителем; облачная инфраструктура - это совокупность аппаратного и программного обеспечения, которая обеспечивает пять основных характеристик облачных вычислений; облачная инфраструктура может содержать как физические (аппаратные ресурсы, необходимых для поддержки предоставляемых облачных сервисов - сервер, хранилище и сетевые компоненты), так и нематериальные ресурсы (например, программное обеспечение, развернутое на физических ресурсах); потребитель не управляет базовой облачной инфраструктурой, включая сеть, серверы, операционные системы или хранилище, но контролирует развернутые приложения и, возможно, параметры конфигурации для среды размещения приложений;

- Infrastructure as a Service (IaaS) – инфраструктура как сервис, при которой потребителю предоставляются ресурсы вычислителя, хранилища, телекоммуникаций и других основных вычислительных ресурсов, где потребитель может развертывать и запускать произвольное программное обеспечение, которое может включать в себя операционные системы и приложения; потребитель не управляет базовой облачной инфраструктурой, но контролирует операционные системы, хранилище и развернутые приложения; и, возможно, ограниченно управляет отдельными сетевыми компонентами (например, брандмауэрами хоста).

Микросервисный подход к созданию программных систем основан на парадигме сервис-ориентированной архитектуры [20], предусматривающей проектирование информационной системы как комплекса слабо связанных программных компонентов (сервисов), взаимодействующих друг с другом на основе обмена сообщениями. Среда передачи сообщений, обеспечиваемая первоначально, так называемыми, системами промежуточного слоя (МООМ - message oriented middleware), в настоящее время, обычно, включает средства управления сервисами

и бизнес-процессами обработки предметной области (Broker/Брокер, Orchestrator/Оркестратор). Брокер маршрутизирует взаимодействие сервисов. Оркестратор по спецификациям (оркестровкам) бизнес-процессов, обеспечивающих прикладную обработку, выполняет хореографию сервисов. Объединение этих компонентов (среды передачи сообщений и средств управления сервисами) составляют классическое понятие сервисной шины предприятия (ESB - Enterprise Service Bus) – интеграционной основы взаимодействующих прикладных сервисов бизнес-процессов предприятия.

В системах управления облачными вычислениями унаследованы основополагающие подходы сервис-ориентированной архитектуры – управление взаимодействием слабосвязанных сервисов на основе передачи сообщений и оркестровок. Далее этот инструмент будет называться интеграционной шиной.

Основным отличием микросервиса от классического сервиса прикладной системы – сокращение его функций, обычно, до обработки одного источника данных (базы данных). Это, с одной стороны, сокращает расходы на сопровождение меняющихся источников данных, а с другой – увеличивает расходы на управление программной средой. В микросервисном подходе к разработке информационных систем важно соблюдать баланс приведенных альтернатив.

Тем не менее, высокая степень адаптивности систем с микросервисной архитектурой совместно с современными системами мониторинга и управления облачной инфраструктуры делают это направление в создании интеграционных информационных систем очень перспективным.

Расслоение информационной системы, появление иерархических компонентов, обеспечивающих проверенные (рекомендованные) решения для создания каждого из слоев (подслоев) иерархии, решения по взаимодействию между слоями, компонентами одного слоя, между системами способствует эволюции информационной системы сообразно изменениям в окружающей среде, оптимизируя совокупную стоимость владения системой.

В настоящее время для интеграционных информационных систем общепризнаны концепции сервис-ориентированных и микросервисных

архитектур, «тонких http-клиентов», архитектур с интеграционной шиной и средствами управления бизнес-процессами на основе оркестровок и брокеров.

Это направление в настоящей работе выбирается основным для отраслевой цифровой платформы для научных исследований.

Для управление облачной инфраструктурой активно создаются и развиваются соответствующие программные средства. Передовые рубежи в этом направлении занимает проект OpenStack [25].

OpenStack – это комплекс технологических проектов с открытым исходным кодом, пользующийся широкой спонсорской поддержкой обширной группы ведущих компаний отрасли, таких как AT&T, IBM, Intel, Cisco, HP, Rackspace, Huawei, ZTE (всего более 600 компаний). OpenStack предоставляет операционную платформу для оркестровки крупномасштабных облачных решений. Технологии OpenStack независимы от гипервизора и содержат программные средства для инициализации виртуальных машин на стандартных аппаратных средствах. Кроме того, OpenStack предлагает распределенное хранилище объектов и широкий диапазон дополнительной функциональности, включая сетевой контроллер, менеджер аутентификации, инструментальную панель управления и блочное хранилище. В апреле 2019 года планируется выход очередной сборки OpenStack с названием Stein, включающей 16 программных проектов. Основные направления развития проекта: поддержка виртуальных графических сопроцессоров, контейнерной виртуализации, оркестровки контейнерной виртуализации.

Отметим, что в общем случае облачные сервисы позволяют предоставить практически любые услуги из области информационных технологий.

Таким образом, проведенный анализ технологий показал, что для создания единого информационного пространства отраслевой цифровой платформы для научных исследований с высокой степенью масштабирования, эластичности и адаптируемости необходимо ориентироваться на технологии виртуализации (контейнеризации) вычислительных ресурсов, облачных вычислений, решения сервис-ориентированных, микросервисных архитектур и интеграционных шин.

1.5 Анализ подходов к оценке архитектурных решений для информационных систем

Несмотря на широкое признание того, что архитектурные решения для информационных систем имеют существенное влияние на эффективность функционирования информационной системы общепризнанных методик сравнения и выбора архитектурных решений нет. Исследования в данной области продолжаются.

Можно определить три направления в подходах для выбора лицом принимающим решение (ЛПР) того или иного архитектурного предложения:

- на основе оценки качества информационной системы;
- на основе оценки рисков функционирования информационной системы;
- на основе пошагового аргументированного выбора архитектурной опции для решения задач информационной системы.

Основой оценки качества информационной системы и оценки рисков ее функционирования являются методы многокритериального анализа. Суть метода заключается в том, что ЛПР определяет множество характеристик и критерии их оценки, а также метод интегральной оценки.

В работах [3, 6, 13, 21, 32, 45, 122, 128] для оценки качества информационной системы и программного обеспечения рассматриваются варианты использования набора характеристик, основанных на ГОСТ ИСО/МЭК 25010-2015 [66], моделях МакКола, Боема, Гилба, Дроми.

В работах предусматривается экспертный анализ характеристик, для которых объективное количественное сравнение затруднено. В основном это методы попарного сравнения с последующим шкалированием и ранжированием объектов сравнения по полезности, базирующиеся на законе сравнительных суждений [31].

Современное качество продукции [66] включает четыре компонента:

- соответствие техническим условиям;
- конкурентоспособность продукции;

- системное качество конструкции;
- соответствие требованиям потребителя.

Это означает, что качество продукции определяется как комплексное понятие, характеризующее эффективность всех сторон деятельности. Важнейшей составляющей качества информационной системы является программное обеспечение. Методической особенностью комплексной оценки качества информационной системы состоит в наличии экспертного оценивания ряда характеристик качества достаточно произвольного набора, что требует согласования методик оценок у ЛПР.

Современная тенденция повышению объективности оценки - сравнительный анализ с привлечением экспертов в оценке прямого качества информационных систем на соответствие требованиям к ней и косвенного качества информационных систем для выбора альтернативных решений обработки информации.

К недостаткам подхода можно отнести не соразмерные затраты на организацию экспертиз с очевидностью субъективной экспертной оценки группы экспертов на ранних стадиях жизненного цикла, повторяемостью оценок группы, основанных на опубликованных популярных мнениях авторитетных исследователей.

Математическая оценка рисков функционирования информационной системы строится на оценке технических рисков на основе статистики ошибок, возникающих в анализируемой информационной системе, или информационных системах, подобных анализируемой, возможно, в компонентах подобных компонентам анализируемой системы (например, ошибки ввода-вывода, ошибки связующего программного обеспечения, системные ошибки и т.д.) на различных этапах жизненного цикла [64, 65] (большинство работ оценивают риски на всех этапах жизненного цикла).

Обычно ошибки классифицируют по серьезности наносимого ущерба, например:

- критические ошибки - ошибки, приводящие к отказу информационной системы;

- серьезные ошибки – ошибки, приводящие к значительному снижению функциональности информационной системы, в том числе снижению производительности;

- несущественные ошибки – ошибки, приводящие к невозможности выполнения одной или нескольких функций системы, существенно не влияющие на функционирование системы, возможно не заметные для пользователя.

В результате для анализа принимается матрица, строки которой соответствуют типам ошибок (ошибки ввода-вывода и пр.), а столбцы – серьезности ошибки, в пересечении число ошибок данного типа и серьезности.

Далее, используя, различные методы ранжирования и многокритериального анализа (пороговое агрегирование, максиминная свертка, линейная свертка и др.) получается комплексная оценка риска, на основании которой ЛПР осуществляет выбор решения.

Недостаток подхода заключается в сложности нахождения аргументированного функционирующего аналога системы по решениям, принимаемым на ранних стадиях жизненного цикла без учета реализационных аспектов системы.

Пошаговый аргументированный выбор архитектурных решений на ранних стадиях жизненного цикла является вырожденным случаем экспертной оценки качества информационной системы. Экспертная оценка в этом случае выполняется относительно небольшой группой экспертов, которые с учетом своего авторитета и авторитета исследователей, публикующих свои результаты в научной печати, на основе попарного сравнения совершают выбор между возможными альтернативами. На начальных стадиях жизненного цикла систем такой подход оценки их качества популярен и используется в настоящей работе.

Выводы по главе 1. Постановка задач на проведение исследования

1. В условиях отсутствия общепринятого международного (стандартизованного) определения термина «цифровая платформа» в рамках текущей работы принимаются подходы документа «Цифровые платформы: подходы к определению и типизации цифровых платформ» [123] с учетом:

- Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030гг. [108];
- Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [109];
- Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [106];
- Требований к центрам коллективного пользования научным оборудованием и уникальным научным установкам [107];
- Паспорта национального проекта «Наука» [111].

2. Цифровая платформа для научных исследований рассматривается как отраслевая цифровая платформа в виде иерархической экосистемы, включающей инструментальные, инфраструктурные и прикладные цифровые платформы и представляющей собой интеграционную информационную систему:

а) обеспечивающую накопление, обмен и управление данными, а также интеграцию с информационными системами участников и цифровыми платформами;

б) обслуживающую значимое количество участников трех категорий:

- поставщики услуг и ресурсов для научных исследований;
- потребители услуг и ресурсов для научных исследований;
- регуляторы цифровой платформы для научных исследований, включая оператора платформы и его эксплуатационные подразделения.

3. На текущий момент общепризнанная терминология для описания и определения бизнес-моделей, в том числе унифицированное стандартизованное множество готовых бизнес-моделей, покрывающих многообразие научных исследований как в России, так и за рубежом, окончательно не сформирована.

4. На цифровой платформе для научных исследований целесообразно поддерживать функционирование предприятий с самым широким спектром бизнес-моделей, описание для которых представлено шаблоном Business Model Canvas, предложенным Остервальдером [105].

5. Создание научных сервисов цифровой платформы для скорейшего удовлетворения новых потребностей клиента, обуславливающих применение новых технологий и методик в исследованиях, предлагается описывать бизнес-моделями на основе подхода «прорывных инноваций» Кристенсена [17].

6. Спецификацию процессов научных исследований с высокой степенью специализации работ, выполняемых инструментами отраслевой цифровой платформы как экосистемы, в том числе в междисциплинарных областях, необходимо формировать с учетом результатов проведенного анализа, включая подходы к классификации бизнес-моделей, предложенные Швайцером в [126].

7. Современное информационное интернет-пространство используется для решения следующих задач исследования:

- поиск публикаций, получение реферативных обзоров для анализа текущего состояния научной проблемы, существующих методов и алгоритмов решения задач;

- поиск и использование приборной базы (научной инфраструктуры коллективного пользования), вычислительных ресурсов (программного обеспечения), данных экспериментов для проведения исследования, а также предоставления перечисленных видов ресурсов для использования сторонним исследователям;

- участия в научных проектах, обсуждения, апробация и публикация научных результатов, организации исследовательских коллективов для совместной творческой деятельности, формирования индивидуального профессионального рейтинга.

8. Для современных интегрирующих информационных систем используются следующие архитектурные решения:

а) концепция, принципы и определения системного подхода к «открытым системам»;

б) концепция многослойной иерархической архитектуры информационной системы, в частности решения для сервис-ориентированных и микросервисных архитектур;

в) концепция интеграционной шины (сервисной шины предприятия) с элементами управления бизнес-процессами с использованием их формальных спецификаций;

г) концепция облачных вычислений и виртуализации вычислительных ресурсов.

9. Для выбора решений на ранних стадиях жизненного цикла информационных систем в условиях отсутствия накопленной статистики функционирования системы или ее обоснованного аналога целесообразно использовать пошаговый аргументированный выбор архитектурных решений как вырожденный случай экспертной оценки попарного сравнения альтернатив.

10. В информационном интернет-пространстве отсутствуют интеграционные информационные системы отраслевых цифровых платформ для научных исследований с характеристиками, определенными подходами к типизации цифровых платформ для программы цифровой экономики России.

Существующие решения для цифровых платформ автоматизируют детерминированные бизнес-процессы поставщика и потребителя ценностного предложения.

Вместе с тем, надо учитывать, что процесс научного исследования не носит детерминированный характер и включает в себя циклы интуитивного поиска, в котором научные сервисы выполняют вспомогательные функции. В связи с этим, актуальной является научная задача совершенствования и развития методологической базы представления научных сервисов облачной цифровой платформы.

В формализованном виде **постановка задачи диссертационного исследования** представлена на рисунке 2 и состоит в следующем:

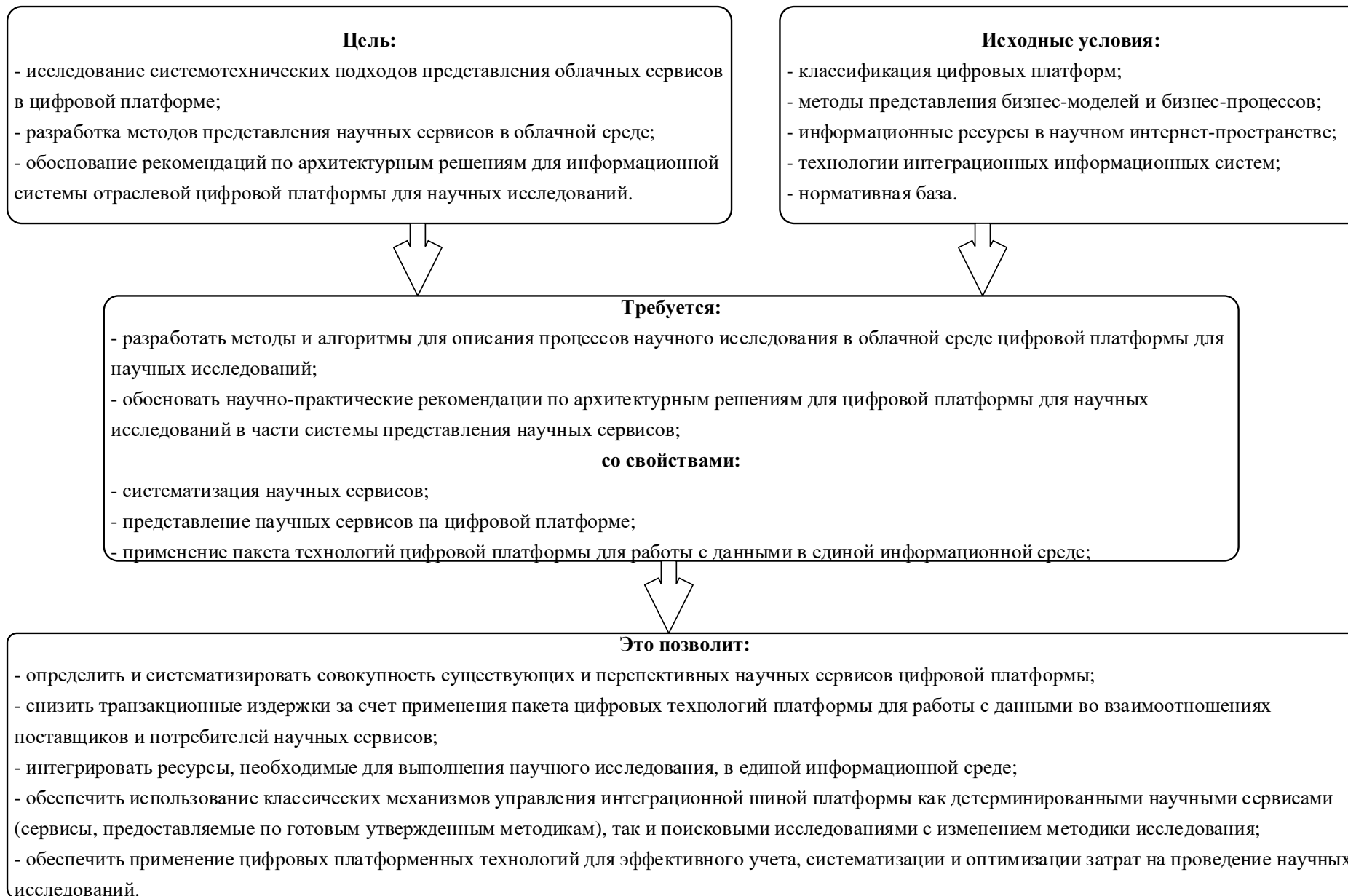


Рисунок 2 – Постановка задачи диссертационного исследования

1) необходимо разработать такие методы и алгоритмы представления процессов научного исследования в виде бизнес-процессов и облачных сервисов цифровой платформы для научных исследований, которые обеспечат:

- систематизацию научных сервисов;
- представление научных сервисов на цифровой платформе;
- применение пакета технологий цифровой платформы для работы с данными в единой информационной среде;

2) обосновать научно-практические рекомендации по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований в части системы представления научных сервисов на основе разработанного комплекса методов и алгоритмов.

Разработанные методы, алгоритмы, рекомендации должны позволить:

- определить и систематизировать совокупность существующих и перспективных научных сервисов цифровой платформы;
- снизить транзакционные издержки за счет применения пакета цифровых технологий платформы для работы с данными во взаимоотношениях поставщиков и потребителей научных сервисов;
- интегрировать ресурсы, необходимые для выполнения научного исследования, в единой информационной среде;
- обеспечить использование классических механизмов управления интеграционной шиной платформы как детерминированными научными сервисами (сервисы, предоставляемые по готовым утвержденным методикам), так и поисковыми исследованиями с изменением методики исследования;
- обеспечить применение цифровых платформенных технологий для эффективного учета, систематизации и оптимизации затрат на проведение научных исследований.

2 Методы представления научного сервиса в среде облачных вычислений цифровой платформы

2.1 Метод описания процессов научного исследования в среде облачных вычислений цифровой платформы

Эффективность отраслевой цифровой платформы для научных исследований во многом зависит от ее полноты и целостности, что обусловлено широтой охвата платформенными научными сервисами всех видов научной деятельности. Полноту и целостность системы научных сервисов может дать системный анализ методологии научных исследований и выявление на этой основе всей совокупности процессов ее обеспечивающей.

В современном представлении научное исследование – взаимоувязанная совокупность процессов, включающая ряд типовых компонентов, состав которых можно с некоторым приближением вычленить из неформальных философских рассуждений [119]:

- формулировка научной проблемы;
- предварительный анализ доступной научно-технической информации (факты, теории, гипотезы);
- формулировка и сравнительный анализ исходных гипотез;
- планирование научных исследований (формирование программы научных исследований);
- организация и проведение эксперимента;
- анализ и обобщение полученных результатов;
- проверка исходных гипотез, принятие решений;
- формулирование фактов и положений, их обоснование и описание (публикация продукта знаний).

Объединение этих компонентов в последовательности взаимосвязанных процессов позволяет выделить два основополагающих цикла в модели научных

исследований: «Целеполагание» и «Исследование», а также входящие в них компоненты и связи между ними (рисунок 3, здесь и далее нотация BPMN 2.0 [24]).

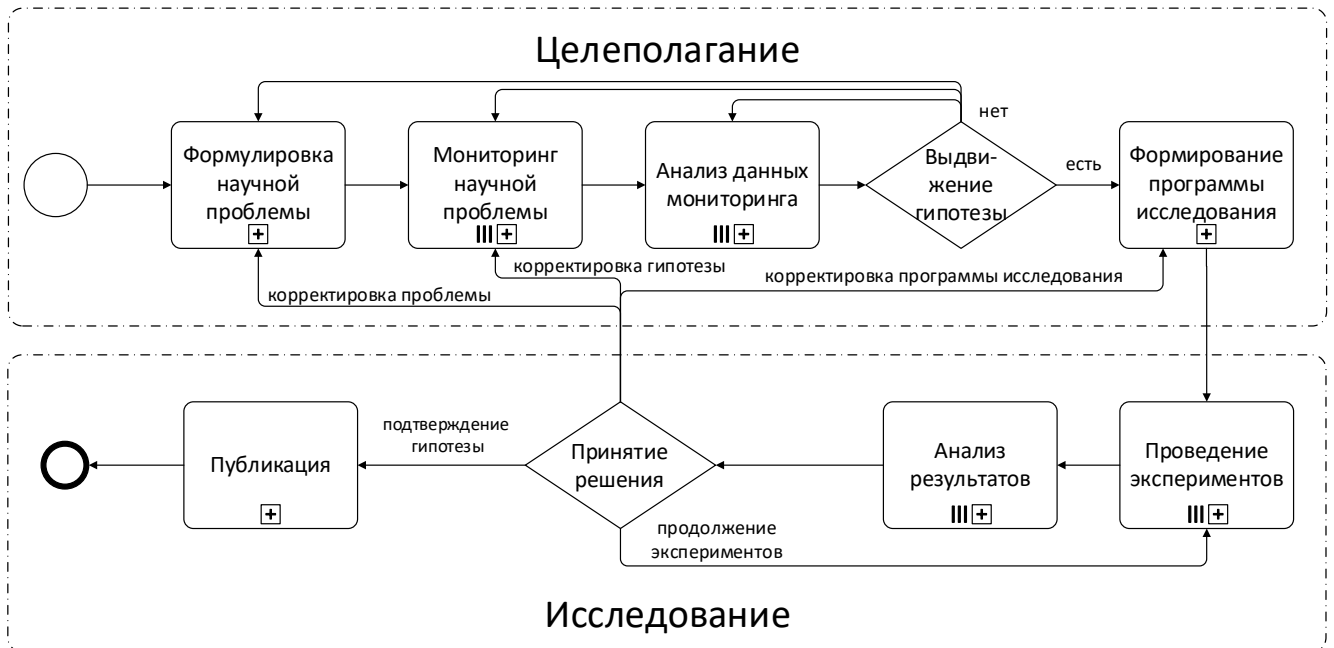


Рисунок 3 – Схема процессов модели научного исследования

Группа процессов «Целеполагание» представляет собой цикл из пяти базовых процессов (формулировка научной проблемы, мониторинг научной проблемы, анализ данных мониторинга, выдвижение новой гипотезы, формирование программы исследований), обеспечивающих осмысление и формулировку целей исследования в виде научной гипотезы и плана исследований.

Группа процессов «Исследование» (проведение экспериментов, анализ результатов, принятие решения, оформления результатов) осуществляется реализации плана исследования с целью получения положительного результата (новое знание) или отрицательного результата (возврат к стадии «Целеполагание» для корректировки целей исследования).

Рассмотрим подробнее содержание процессов представленной двухуровневой модели с точки зрения их реализации и обеспечения с помощью научных сервисов.

Научная проблема — это суждение (или система суждений), содержащее в себе теоретически осознанный вопрос, при этом не существует известного алгоритма

его разрешения, а решение этого вопроса должно иметь существенную новизну [119].

Формулировка, осмысление и обсуждение научной проблемы осуществляется в научном сообществе и становится его достоянием путем опубликования этих процессов в научной печати, на различных научных форумах и в ходе неформального общения. Таким образом, сервисная поддержка этих процессов на цифровой платформе может выражаться в форме наукометрического анализа публикаций, интеллектуального анализа информации в научных социальных сетях и в других средствах научных коммуникаций.

Предварительный анализ доступной научно-технической информации выполняется в результате мониторинга научно-технической информации – сбора данных об изучаемой научной проблеме и ее окружении, что влечет необходимость предоставления платформой соответствующих сервисов для решения ряда серьезных информационных проблем анализа неструктурированной информации:

- классификация и рубрикация документов;
- извлечение фактов, понятий, связей (feature extraction);
- построение семантических сетей;
- аннотирование, суммаризация (summarization);
- тематическое индексирование (thematic indexing);
- создание таксономий и тезаурусов;
- анализ фронта исследований;
- интеллектуальный поиск;
- анализ эмоциональных оценок.

Основу процесса извлечения структурированной информации из неструктурированного текста (text mining) составляет определение и идентификация сущностей из текста на естественном языке и выявление связей между этими сущностями. Данная проблема позволяет решить ряд прикладных задач в интересах исследователя: систематизация информации, выявление новых сведений об объектах мониторинга в условиях отсутствия единых форматов обмена данными, выявление тенденций и аномалий в потоках публикаций. Как

правило, такие методы анализа опираются на формализованные, в том или ином виде, знания о предметной области и специализированные методы обработки информации, реализованные в виде наукоемкого программного обеспечения, которое должно быть доступно через сервисы платформы.

Формулировка и сравнительный анализ исходных гипотез выполняется в ходе анализа данных мониторинга. Под гипотезой будем понимать научное утверждение (систему утверждений) [119], которое:

- 1) по своей логической характеристике имеет статус предположения;
- 2) по своему содержанию представляет собой (в случае подтверждения) некоторое новое знание;
- 3) по своей цели должно существенно продвинуть научное познание (либо предложить решение проблемы, либо существенно способствовать этому).

Исходя из определения, выдвижение научной гипотезы является интуитивным актом познания, плодом умственной работы исследователя и в текущей модели принципиально выполняется человека.

В содержание процесса планирования научных исследований входит разработка исследовательского проекта, что связано не только с теоретико-методологическим рассмотрением подходов к проблеме, но и с институционально предписанными действиями по планированию и подготовке будущих исследований. Прежде всего, это касается процесса обоснования темы исследования и представления исследовательского проекта научному сообществу и его административно-организационным инстанциям. Обобщенно процесс обоснования темы состоит в доказательстве наличия важной нерешенной научной (научно-практической) проблемы и описании того как планируемое исследование должно решить те или иные вопросы исходной проблемы, возможно, с обоснованием необходимого обучения и получения дополнительных компетенций. С точки зрения использования сервисов платформы здесь возможна автоматизация подготовки и обмена электронными документами, а также сервисы сетевого планирования, управления проектами, обучения.

Эксперимент представляет собой исследовательское изучение явления в специально создаваемых, контролируемых условиях, позволяющих активно управлять ходом данного процесса. В [119] приводятся следующие разновидности экспериментов:

- 1) по условиям проведения — естественные и искусственные (включая моделирующие – натурные, вычислительные, мысленные и пр.);
- 2) по целям исследования — преобразующие, контролирующие, констатирующие, поисковые и др.;
- 3) по количеству факторов исследования — однофакторные и многофакторные;
- 4) по степени контролируемости факторов — активные и пассивные (регистрирующие).

Большой массив существующих научных сервисов лежит в экспериментальной области и связан с Центрами коллективного пользования и Уникальными научными установками [124, 107], генерирующих в том числе необработанные данные эксперимента для широкого круга научных коллективов.

Стадия организации и проведения эксперимента для ряда исследований (особенно в области наук с интенсивным использованием данных) может быть проведена в рамках других исследований. В этом случае исследовательский проект, направленный на анализ данных, пропускает стадию организации и проведения эксперимента и использует доступные необработанные данные, ранее накопленные в другом проекте.

Цель анализа данных — выявить тенденции, общие принципы, стоящие за единичными данными, изучить те или иные отношения между индивидуальными феноменами, описать структуру области данных. Для наук с интенсивным использованием данных этот процесс исследования является центральным [88].

Наличие массовых явлений и процессов, развивающихся во времени, дает возможность применять различные статистические методы анализа и интеллектуальной подготовки данных:

- анализ временных рядов, характеризующих изменение количественных и качественных атрибутов узлов и связей наблюдаемых объектов (анализ трендов, сезонных колебаний, тенденций и аномалий);

- предобработка данных (восстановление пропущенных данных, снижение размерности массивов данных, выделение главных компонентов);

- прогнозирование изменения параметров с учетом выявленных трендов и анализируемых сценариев;

- статистическая оценка количественных и качественных характеристик потоков событий.

Дискретная структура наблюдаемых данных позволяет применять следующие методы и технологии:

- выделение фактов и формализация фактографических данных на основе лингвистического анализа слабоструктурированной информации;

- идентификация и регистрация объектов, слияние подсетей;

- поиск подобных пространственно-временных конфигураций методами теории графов (изоморфизм и изоморфное вложение графов);

- логические выводы (поиск решения) на семантической сети;

- поиск прямых и ассоциативных связей (путей на графе);

- расчет интегральных и целевых показателей на графах.

Наблюдается большая востребованность научных сервисов (например, [68, 70, 71, 103, 104]), реализующих специальные методы анализа по отраслям науки, с использованием систем, основанных на знаниях, различных методов численного моделирования, методов оптимизации, машинного обучения, искусственного интеллекта.

Востребованы также методы визуализации научных данных в виде таблиц, графиков, диаграмм и других графических объектов (в том числе анимированных).

Несомненно, что указанные научные сервисы должны быть доступны в отраслевой цифровой платформе для научных исследований.

Проверка исходных гипотез, принятие решения. В ходе этой процедуры стоит необходимость выбора наиболее адекватной гипотезы из множества

конкурирующих предположений, т.к. с одними и теми же эмпирическими данными могут неплохо согласовываться сразу несколько гипотез. Внутри совокупности альтернативных гипотез возможна только сравнительная оценка их приемлемости, и не существует какой-либо абсолютной шкалы, пользуясь которой как универсальным критерием можно ранжировать любые гипотезы на предмет их правдоподобности. Гипотезы можно сравнивать между собой в относительных бинарных терминах (лучше подтверждена — менее подтверждена, более приемлема — менее приемлема и т.п.). Причем сравнение гипотез осуществляется на основе экспертных заключений по содержательным критериям, учитывающих специфику конкретной предметной области и не задаваемых заранее извне. Как правило, оценка качества гипотезы определяется авторитетом исследователя, который может учитываться платформой в соответствии с наукометрическими методиками.

После осуществления проверки гипотезы на основе данных эксперимента осуществляется принятие решения из следующих альтернатив:

1) в случае подтверждения гипотезы осуществляется переход к процессам формулированию фактов и положений, их обоснование и описание (получение продукта знаний);

2) если эмпирических данных не хватает принимается решение о продолжении экспериментов;

3) если гипотеза опровергнута, то необходимо возвратиться к циклу «Целеполагание» для:

- корректировки плана исследования;
- корректировки научной гипотезы;
- корректировки научной проблемы.

Формулирование фактов и положений, их обоснование и описание (публикация продукта знаний). Продукт знаний обычно оформляется в виде научно-технического отчета, научной публикации, либо публичного доклада на научных собраниях. Существующие технологии в этой области позволяют говорить о возможности использования следующих сервисов:

- улучшения качества публикации (адаптация по требованиям оформления, рецензирование, семантический анализ текстов, услуги по написанию и продвижению публикаций);

- автоматизированного перевода;

- проверка и оформление текстовых заимствований;

- анализ редакционных политик и выбор издания.

Проведенная систематизация процессов научного исследования позволяет сформировать классы научных сервисов отраслевой цифровой платформы для научных исследований (рисунок 4).

Реализация системы широкодоступных научных сервисов должна осуществляться с использованием сетевых форм организации научной, научно-технической и инновационной деятельности на базе цифровых платформ. Цифровая платформа в данном случае это совокупность автоматизированных процессов взаимодействия участников научно-технического процесса на основе использования научных сервисов, обеспечивающих повышение эффективности научных исследований за счет применения цифровых технологий, оптимизации и стандартизации данных процессов и обеспечения общего информационного пространства. Представленная систематизация научных сервисов на основе сформулированной обобщенной модели процессов научного исследования способствует полноте и целостности функционала создаваемых цифровых платформ.

научные сервисы (сервисы отраслевой цифровой платформы для научных исследований)		
сервисы интеллектуального поиска информации и мониторинга НТИ	<ul style="list-style-type: none"> - доступ к реферативным и полнотекстовым ресурсам НТИ; - интеллектуальный поиск информации; - наукометрический анализ публикаций; - интеллектуальный анализ научных социальных сетей и других средств научных коммуникаций; 	
аналитические сервисы	сервисы статистического анализа	<ul style="list-style-type: none"> - анализ временных рядов, характеризующих изменение количественных и качественных атрибутов узлов и связей наблюдаемых объектов (анализ трендов, сезонных колебаний, тенденций и аномалий); - прогнозирование изменения параметров с учетом выявленных трендов и анализируемых сценариев; - статистическая оценка количественных и качественных характеристик потоков событий;
	сервисы дискретного анализа	<ul style="list-style-type: none"> - выделение фактов и формализация фактографических данных на основе лингвистического анализа слабоструктурированной информации; - идентификация и регистрация объектов, слияние подсетей; - поиск подобных пространственно-временных конфигураций методами теории графов (изоморфизм и изоморфное вложение графов); - логические выводы на семантической сети; - поиск прямых и ассоциативных связей (путей на графе); - расчет интегральных и целевых показателей на графах;
	сервисы извлечения фактов и знаний	<ul style="list-style-type: none"> - классификация и рубрикация документов; - извлечение фактов, понятий, связей; - построение семантических сетей; - аннотирование, суммаризация; - тематическое индексирование; - создание таксономий и тезаурусов; - анализ фронта исследований; анализ эмоциональных оценок;
	сервисы специальных методов анализа по отраслям науки	<ul style="list-style-type: none"> - методы управления данными, машинного обучения и искусственного интеллекта (системы, основанные на знаниях); - моделирование (непрерывных физических процессов, дискретных систем, имитационное моделирование); - методы решения экстремальных задач, исследования операций и оптимального управления;
	сервисы визуализации научных данных	
сервисы доступа к исследовательской инфраструктуре	<ul style="list-style-type: none"> - сервисы доступа к научной приборной базе (в том числе ЦКП и УНУ); - сервисы хранения и извлечения данных экспериментов (в том числе «большие данные»); 	
сервисы научных коммуникаций	<ul style="list-style-type: none"> - научные социальные сети; - сервисы подготовки и обмена электронными сообщениями и документами; 	
сервисы подготовки публикаций	сервисы улучшение качества публикаций	<ul style="list-style-type: none"> - адаптация по требованиям оформления; - рецензирование; - семантический анализ текста; - услуги по написанию и продвижению публикаций;
	<ul style="list-style-type: none"> - автоматизированные переводы; - проверка и оформление текстовых заимствований; - анализ редакционных политик и выбор изданий; 	
сервисы планирования и организации научной деятельности	<ul style="list-style-type: none"> - сервисы сетевого планирования; - сервисы управления проектами; - сервисы организации экспертиз; - сервисы управления рейтингами исследователей; - сервисы обучения; 	
технологические сервисы платформы	<ul style="list-style-type: none"> - описание и публикация сервисов; - поиск и заказ сервисов; - наукометрическая аналитика востребованности сервисов; - обеспечение бизнес-процессов платформы и интеграция сервисов; - поддержка пользователей платформы; - взаимодействие с другими платформами и информационными системами; - управление платформой 	

Рисунок 4 – Структура научных сервисов

По результатам анализа бизнес-моделей инновационной деятельности (раздел 1) можно предложить следующую методику для организации работ по созданию научного сервиса (рисунок 5).

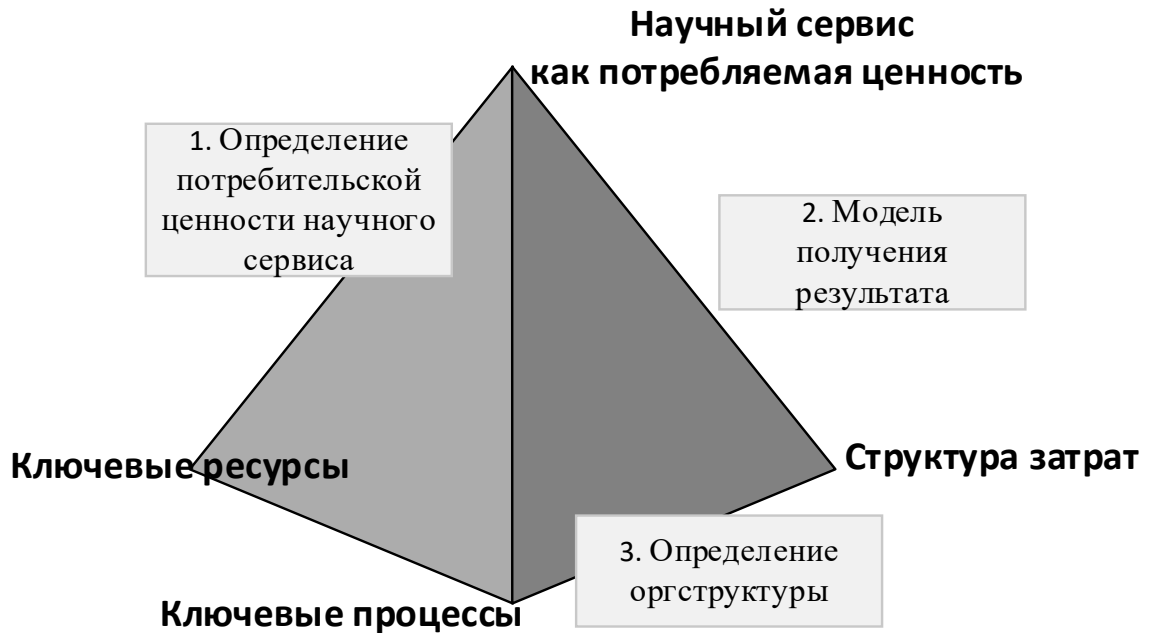


Рисунок 5 – Бизнес-модель научного сервиса цифровой платформы

Шаг 1. Создание ценностного предложения для потребителя научного сервиса, которое содержит описание того, что требуется от научного сервиса с точки зрения его потребителя. На этом этапе надо:

- определить основные характеристики потребителя исследования;
- специфицировать потребности, требующей удовлетворения;
- сформулировать предложения исследовательского коллектива по оказанию научной услуги.

Шаг 2. Составление модели получения результата, описывающей модель получения результата, структуру затрат, скорость обращения ресурсов:

- определение источников финансирования;
- решения по использованию ключевых ресурсов – персонала, используемым технологиям, оборудованию, информационным ресурсам, каналам взаимодействия с партнерами и потребителями и пр.;

- решения по ключевым процессам, дающие понимание того, как должны быть организованы исследования, 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 создания научного сервиса, сравнение с существующей моделью проведения исследований. Обоснование решения о том, что научная услуга может быть оказана в существующей организационной структуре, либо проработанная альтернатива формирования новой структуры для оказания научной услуги.

2.2 Методы интеграции научных сервисов в среду облачных вычислений цифровой платформы для научных исследований

Основываясь на анализе раздела 1 и развивая положения работ [78-81], можно определить три основных структурных элемента цифровой платформы для научных исследований (рисунок 6):

- комплекс научных сервисов, связанный единой системой управления научными сервисами;
- центр компетенций, функционирующий как консолидированный орган, поставщиков научных сервисов;
- сеть центров обработки данных, обеспечивающих инфраструктуру облачных вычислений.

Рассмотрим научный сервис, как услугу, предоставляемую научным коллективом в рамках своей области знаний и опыта, возможно, с использованием уникального научного оборудования, в среде облачных вычислений (рисунок 7).



Рисунок 6 – Структура отраслевой цифровой платформы для научных исследований

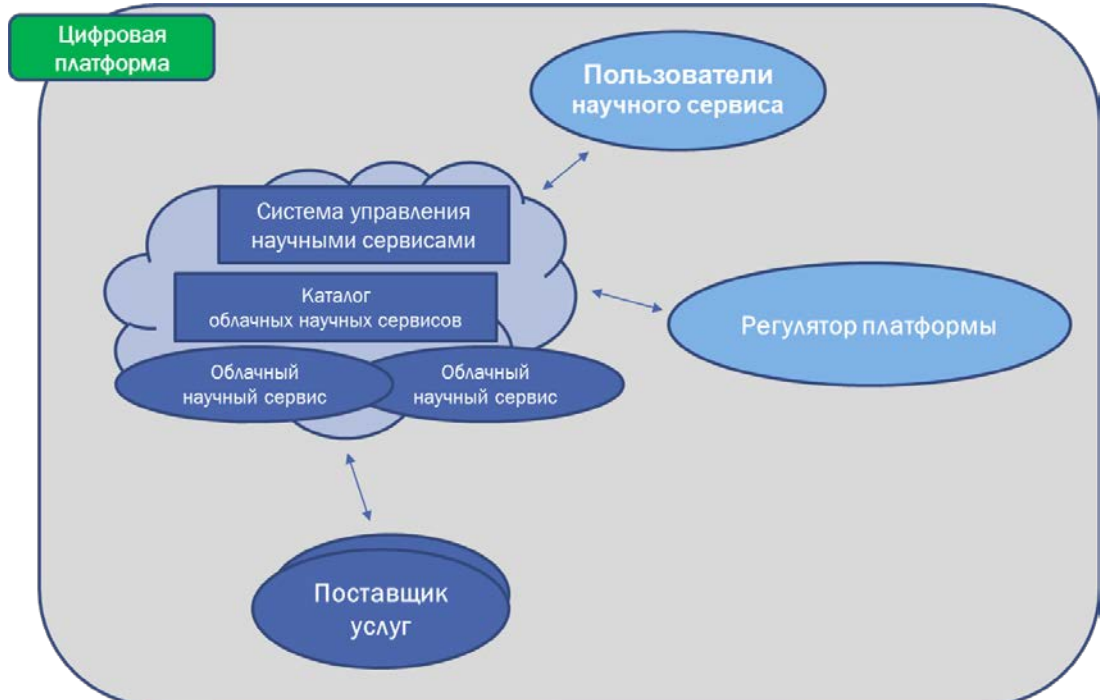


Рисунок 7 – Научный сервис в среде облачных вычислений цифровой платформы

Отметим, что научный сервис в общем случае не является классическим сервисом облачных вычислений (далее В-сервис – сервис облачных вычислений типа IaaS, PaaS, SaaS, раздел 1), поскольку не обязательно базируется на средства вычислительной техники, но, безусловно, является информационным, т.к. в конечном итоге результатом любого научного исследования является информация: о постановке задачи, о методах ее решения, о конкретных методиках, о полученных результатах, об их практическом применении, о сравнительной оценке с другими результатами и т.п. В совокупности эта информация приводит к появлению новых знаний.

Процедуры предоставления и учета использования вычислительных В-сервисов (сервисов типа SaaS, PaaS, IaaS) достаточно широко изучены и описаны, поскольку на протяжении практически всего времени существования средств вычислительной техники (СВТ) существует понятие их коллективного использования (в том числе в многопользовательском режиме).

В условиях глобализации рыночной экономики возникает очевидная потребность распространить опыт предоставления В-сервисов на область оказания научных сервисов и учета результатов интеллектуальной деятельности. При этом также очевидно, что научные сервисы имеют разнородную природу и в общем случае не являются В-сервисами.

Применение модели облачных вычислений для предоставления В-сервисов обеспечивает выделение и предоставление ресурсов вычислительной техники и программного обеспечения по требованию потребителя на необходимый ему период времени из динамически распределяемого пула ресурсов, обеспечивающего централизованную обработку и хранение данных, с высокой степенью их сохранности (информационной безопасности) [73]. Подобная централизация обеспечивает как снижение стоимости предоставления услуги со стороны провайдера, так и удешевление услуги для потребителя.

Услуги в модели облачных вычислениях традиционно разделяют на три категории, характеризующиеся предоставляемым пользователю ресурсом.

В первой главе показано, что подходы обеспечения облачных вычислений как сервисов типа IaaS, PaaS, SaaS достаточно проработаны и теоретически, и практически. Классические сервисы IaaS, PaaS, SaaS предоставляют ресурсы СВТ.

Самой распространенной категорией является так называемая «программа как услуга» (SaaS – Software as a Service). Данная категория услуг предполагает предоставление пользователю собственного экземпляра программного обеспечения, выполняемого на вычислительных средствах облачного провайдера. В этом случае пользователь получает удаленный доступ к интерфейсу прикладного программного обеспечения, позволяющего решать конкретные задачи пользователя. Заметим, что задача, решаемая пользователем, может не относиться напрямую к области информационных технологий (компьютерные вычисления и т.п.), а принадлежать к любой сфере человеческой деятельности. Например, услуга предоставления площадки интернет-магазина, услуг по учету и распределению товаров на складе и т.д., или же иметь более тесное отношение к области информационных технологий, например, электронная почта, редактор документов, удаленное хранение данных, различного рода сервисы обмена данным и пр. В любом случае SaaS предполагает выделение для пользователя некоторого вычислительного ресурса (включая прикладное программное обеспечение), обеспечивающего информационную поддержку решения задач данного пользователя, в связи с чем появляется понятие aPaaS (Application Platform as a Service) [12].

Что касается предоставления научных сервисов с точки зрения SaaS, то в этом случае также производится выделение вычислительных ресурсов и программного обеспечения для решения исследовательских задач. Задачи могут быть связаны как непосредственно с проведением расчетов, требующих загрузки вычислительных ресурсов, так и сопутствующих задач, связанных с поиском информации, обработкой и визуализацией результатов научных исследований (например, [61]).

Другой распространенной категорией услуг в рамках облачных технологий является предоставление вычислительной платформы как услуги (PaaS – Platform as a Service). Данная модель предусматривает предоставление пользователю

вычислительных ресурсов и системного программного обеспечения с целью развертывания собственного прикладного программного обеспечения, сервисов и иных программных комплексов.

Услуга PaaS очень удобна для коллективов разработчиков (научных и коммерческих) по развертыванию и эксплуатации собственного программного обеспечения на платформе, услуги по поддержанию которой берет на себя облачный провайдер.

В качестве примеров использования PaaS в области информационных технологий можно привести примеры создания и эксплуатации крупных web-порталов коммерческих структур.

В области предоставления научных сервисов ярким примером PaaS является предоставление услуг суперкомпьютеров для выполнения расчетов, требующих больших вычислительных мощностей. Такие расчеты используются во многих областях современной науки и услуги суперкомпьютерных центров востребованы со стороны научных коллективов самых разных областей знания. Оговоримся, что в общем случае услугу суперкомпьютерного центра по предоставлению вычислителей нельзя в явном виде считать PaaS именно в терминах облачных вычислений. Алгоритмы распределения ресурсов, выделения вычислителей и обслуживания пользователей суперкомпьютеров отличаются от классической работы облачных провайдеров. В частности, для ускорения процессов вычислений в суперкомпьютерах не используется виртуализация и параллельная работа одного вычислительного блока в интересах группы пользователей. Используется пакетная обработка заданий, очереди заданий и другие методы организации вычислительного процесса, позволяющие оптимизировать работу супервычислителя.

Однако, если не рассматривать специфику организации вычислительного процесса, то в определенных терминах можно считать, что суперкомпьютерный центр предоставляет платформу, на которой пользователь выполняет собственное программное обеспечение, т.е. PaaS [34]. Отметим, что суперкомпьютерные

центры также могут предоставлять ряд дополнительных услуг класса SaaS, например, для визуализации результатов научных исследований.

Третьим типом услуги, предоставляемой облачными технологиями является инфраструктура как услуга (IaaS – Infrastructure as a Service). В рамках данной услуги пользователь получает вычислительные ресурсы в виде виртуальных машин, виртуального сетевого оборудования и прочих ресурсов (обычно виртуальных), позволяющих создать любую собственную ИТ-инфраструктуру, отвечающую интересам деятельности пользователя. Развертывание операционных систем, серверного и прикладного программного обеспечения, конфигурирование вычислительных сетей, управление доступом и пр. осуществляется силами потребителя услуг [1].

Услуга IaaS востребована со стороны коммерческих и научных структур для развертывания информационных систем, однако со стороны индивидуальных пользователей спрос на такую услугу меньше в силу больших трудозатрат на поддержание такой инфраструктуры.

Очевидно, что невозможно поставить знак равенства между научным сервисом и В-сервисом. Однако, имеет смысл сопоставить их между собой с целью унификации способов представления исследовательских и В-сервисов для последующей интеграцией научных сервисов в инфраструктуру облачных вычислений. Это обеспечит использование практического опыта и достижений модели облачных вычислений в сервис-ориентированной парадигме оказания услуг на цифровой платформе.

Первой ступенью интеграции научных сервисов в ИТ-инфраструктуру и облачные вычисления можно считать создание информационного ресурса, обеспечивающего централизованное представление описания сервисов, особенностей их использования, предоставления, а также описания задействованного оборудования. Назовем такой ресурс каталогом научных сервисов.

Каталог позволяет обеспечить размещение информации о научном сервисе на облачных ресурсах с предоставлением потенциальным пользователям (научным

коллективам и отдельным исследователям) возможности интеллектуального поиска необходимого для выбора сервиса, а также заказа сервиса непосредственно у владельца. Заметим, что, хотя каталог и является удобной информационной услугой, поиск и заказ через него научных сервисов не позволяет интегрировать научный сервис в облачную инфраструктуру. Услуга заказа тех или иных сервисов (не обязательно научных) предоставляется большим количеством информационных систем, в частности торговыми площадками (например, OpenCart - <https://www.opencart.com>) и не является чем-то новым в области информационных технологий.

Следующей ступенью интеграции научного сервиса в облачные вычисления может стать частичное использование в процессе предоставления научного сервиса облачной инфраструктуры СВТ провайдера облачных услуг. Заметим, что, несмотря на возможную обособленность научного сервиса от внешних информационных систем, практически невозможно найти научный сервис, при предоставлении которого не используются СВТ. Часто СВТ интегрированы с научными приборами и установками (возможно, с использованием оператора прибора), что создает предпосылки для включения научного сервиса в модель облачных вычислений. Интеграция научного сервиса и облачных вычислений может осуществляться в направлении обработки результатов научных исследований на ресурсах вычислителей, предоставляемых облачным провайдером, хранении больших массивов информации в «облаках», визуализации результатов научных исследований, распространении и публикации результатов среди научного сообщества. Такая интеграция потребует модификации процессов предоставления научного сервиса, однако, исходя из общей тенденции перехода на использование облачных технологий, может оказаться полезной для коллектива, предоставляющего научный сервис, с точки зрения оптимизации ресурсов, например, [114].

Третьей ступенью интеграции может стать унификация доступа к научным и облачным сервисам со стороны пользователей, а также унификация алгоритмов предоставления данных сервисов.

Как было показано выше, облачный сервис предоставляется по запросу потребителя путем выделения вычислительного ресурса облачного провайдера. Обычно процесс предоставления такого сервиса полностью автоматизирован и сводится к реализации некоторого бизнес-процесса, обеспечивающего резервирование вычислительных ресурсов, управляемых специализированными программными средствами – гипервизорами (далее, В-гипервизор). Программа, реализующая бизнес процесс предоставления облачного сервиса, запрашивает резервирование ресурсов у подчиненных программ-гипервизоров, подбирает необходимые ресурсы для формирования конкретного экземпляра услуги и предоставляет пользователю доступ к услуге, например [16].

Рассмотрим вариант системы оказания услуг, имеющей возможность предоставлять как облачные В-сервисы, так и исследовательские научные сервисы с использованием единых подходов и интерфейсов (рисунок 8) – глубокая интеграция исследовательского сервиса в цифровую платформу.

Для этого в систему инкорпорируется специализированный гипервизор (назовем его «гипервизор исследовательских сервисов»), который является системой планирования рабочего времени, научных приборов и других материальных ресурсов, построения расписаний исследований и загрузки ресурсов с сохранением интерфейса традиционного В-гипервизора.

В случае глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру на основе гипервизора исследовательских сервисов становится возможным использование классических инструментов платформы облачных В-сервисов (системы личных кабинетов, интеграционной шины, оркестратора, системы учета и т.д.) для обеспечения описания и выполнения бизнес-процессов предоставления научных сервисов. Возможна формализация учета используемых ресурсов для оптимизации процессов предоставления научного сервиса на основе опыта управления облачными инфраструктурами. В этом случае можно говорить о научном исследовании, как облачной услуге (RaaS – Research as a Service) цифровой платформы.

При таком методе представления научного сервиса в цифровой платформе появляется возможность автоматизировать широкий круг задач по управлению научной приборной базой и трудовыми ресурсами:

- управление ресурсами;
- управление снабжением и материалами;
- управление исследованиями и эксплуатацией;
- управление договорами.



Рисунок 8 – Интеграция исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру платформы для научных исследований

Решение задач осуществляется на основе определения и описания возможностей ресурсов их владельцами – пользователями платформы – поставщиками научной услуги.

Поставщики услуги в рамках платформенного реестра ресурсов должны иметь возможность описать свою приборную базу, расходные материалы, трудовые ресурсы, заявки на выполнение работ и договора в соответствующих реестрах.

Ведение платформенного реестра ресурсов позволяет отслеживать, обрабатывать данные о приборной базе и управлять ею на протяжении всего жизненного цикла от планирования закупки до списания. Для платформенного реестра ресурсов целесообразно предусмотреть следующие основные функции:

- возможность разработки шаблонов ресурсов;
- поддержку иерархических взаимоотношений ресурсов;
- привязку шаблонов к ресурсам;
- мониторинг состояния ресурсов;
- учет и ведение технической (конструкторской, эксплуатационной, исполнительной и пр.) документации;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом;
- накапливание исторической данных о ресурсе (параметры поставки, перемещения, выполненные работы, истории простоев, ремонтов, замены частей в иерархии ресурса);
- взаимодействие с информационными системами владельцев ресурсов при ее наличии.

Группа функций по управлению снабжением и материалами обеспечивает отраслевой платформе для научных исследований объективное планирование приборной базы и запасов расходных материалов в рамках отрасли, основываясь на информации платформенного реестра ресурсов. Платформенное управление снабжением позволяет владельцам ресурсов (пользователям платформы) фиксировать факты заказа и приобретения товарно-материальных ценностей либо автоматизированным способом через личный кабинет, либо в ходе информационного обмена со своими специализированными системами при их наличии. Следует также предусмотреть функцию обмена отраслевой платформы с информационными системами торговых площадок. Для эффективного снабжения участников отраслевой платформы – владельцев научной приборной базы целесообразно в рамках платформы консолидировать заявки на поставки нужных запчастей, материалов и инструментов к запланированным срокам ремонта, обслуживания, проведения экспериментов, что позволяет повысить эффективность

закупок за счет больших объемов, формирования необходимых складских запасов в рамках отрасли и централизованных взаимоотношений с поставщиками.

Группа функций по управлению исследованиями и эксплуатацией позволяет оптимизировать календарное планирование, маршрутизацию и выполнение работ за счет описания бизнес-процесса и организации работ с учетом приоритета и свойств ресурсов. Инструментарий этой группы функций основываясь на создании иерархии рабочих заданий обеспечивает выполнение плановых и внеплановых работ по обслуживанию приборной базы, а также исследований на этом оборудовании, охватывает процесс выполнения работ от создания заявки на обслуживание и проведения работ до завершения их выполнения и фиксации затраченных материалов, рабочего времени. Для выполнения качественного планирования работ необходимо оценить наличие и способность персонала выполнить планируемую работу. На основе реестра ресурсов отслеживается доступность персонала необходимой квалификации в требуемое время для выполнения рабочих заданий. Информация о выполнении задания, планируемых и фактических показателях накапливается в реестре заданий, что позволяет анализировать и оценивать качество методик исследования, работ по планированию и производительность персонала.

Для организации качественной работы поставщиков и потребителей научных сервисов целесообразно хранить информацию о договорных взаимоотношениях. Традиционно в качестве документа регулирующего взаимоотношения сторон выступает договор, но в некоторых случаях с помощью договора сложно описать все условия и нюансы работы, особенно если это касается вопросов проведения экспериментов и исследований. В таких случаях в процессе подготовки договоров, оформляют «рамочный» договор, в котором оговариваются общие моменты, а конкретный перечень услуг (возможно, цены) указывают в приложении к договору, которое по сути является SLA (Service Level Agreement, соглашение об уровне сервиса). Распространены также другие названия подобного документа: техническое задание, задание на выполнение работ, технические требования к выполнению работ и т.д. В ходе выполнения работ по соглашению сторон эти

документы могут корректироваться без изменения «рамочного» договора. Информацию о ходе выполнения договора целесообразно накапливать в реестре договоров отраслевой цифровой платформы для последующего анализа и уточнения методик и бизнес-процессов исследований.

Глубокая интеграция научных сервисов в облачные вычисления создает условия для решения ряда научно-практических задач с целью выполнения основной функции отраслевой цифровой платформы – сокращение транзакционных издержек научных исследований:

- создания единой информационной среды для научных исследований, обработки и распространения их результатов;
- разработки технологии оперативно-технического управления научными сервисами.

Метод глубокой интеграции научных сервисов в облачные вычисления, использование технологии облачных вычислений, применяемой в цифровых платформах, позволяет использовать классические механизмы управления интеграционной шины платформы (оркестровки) как детерминированными научными сервисами (сервисы, предоставляемые по готовым утвержденным методикам), так и поисковыми исследованиями. В первом случае, механизмы управления сервисами позволяют унифицировать однотипные научные сервисы различных поставщиков и обеспечить конкурентный (в том числе автоматический) выбор. Во втором случае, механизмы управления позволяют описать процедуры согласования отклонения хода исследования от процесса предоставления базового научного сервиса, что ведет к включению процессов экспертного согласования направления дальнейшего поискового исследования с задействованием интуиции как неотъемлемой части научного поиска.

В общем виде комплекс алгоритмов выполнения экспериментов и исследований с использованием цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов предусматривает следующие этапы декларации и предоставления научного сервиса с участием экспертов центров компетенции цифровой платформы (рисунок 9):

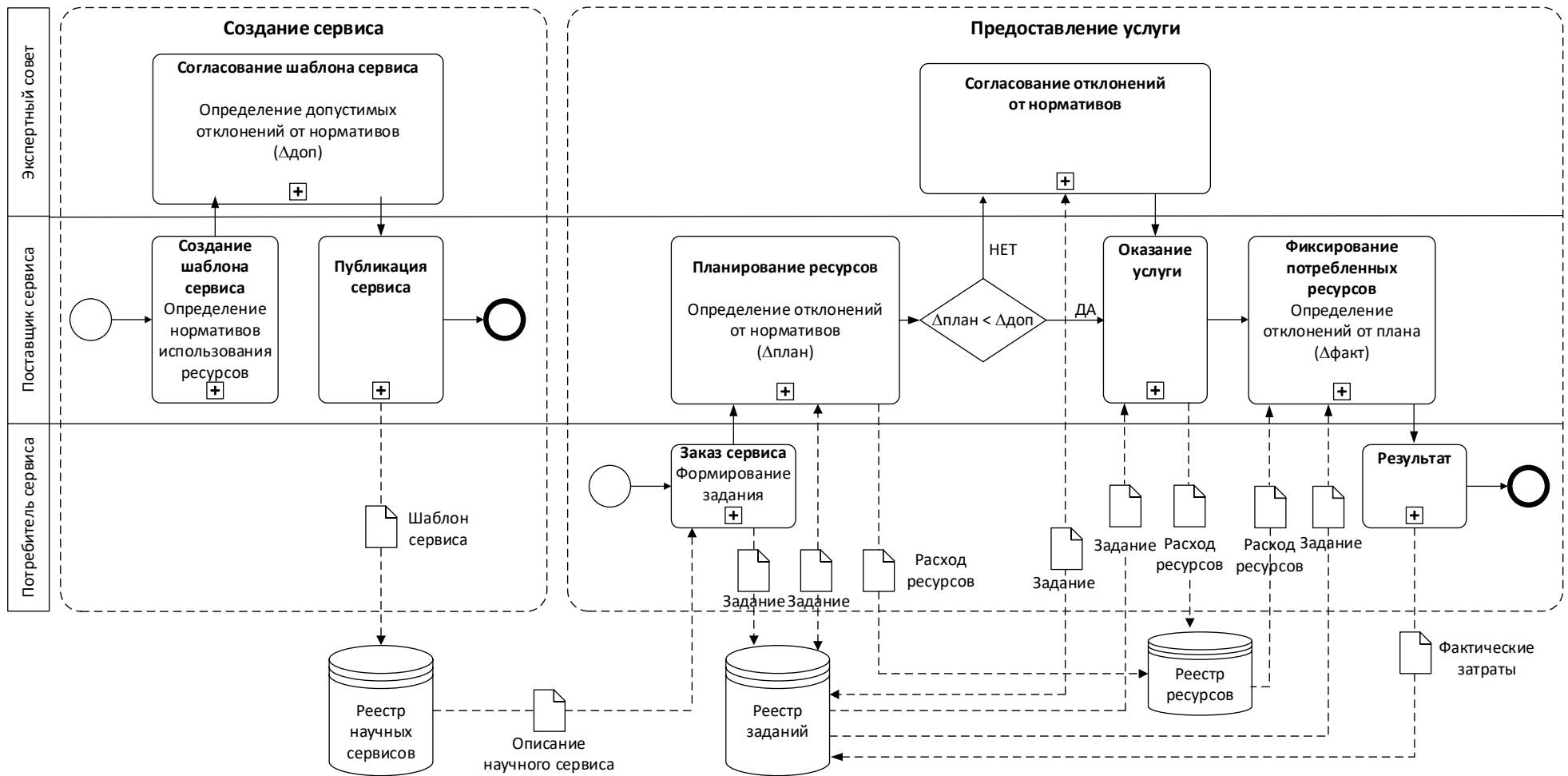


Рисунок 9 – Комплекс алгоритмов выполнения экспериментов и исследований в цифровой платформе с глубокой интеграцией научных сервисов

- заказ научного сервиса пользователем по единому каталогу (включая поиск научного сервиса и формирование задания на оказание соответствующей услуги);
- согласование задания администратором научного сервиса (в том числе, возможно, с экспертным советом научного коллектива, предоставляющего услугу), включая создание технологической карты выполнения задания на основе утвержденного шаблона и определение плановых затрат на оказание услуги;
- выполнение задания, учет продолжительности операций (по данным прибора или контроля оператором), обоснование отклонения продолжительности оказания услуги от запланированной величины;
- учет фактически использованных ресурсов задания, включая расчет фактических затрат на оказанный научный сервис;
- информирование пользователя об окончании выполнения задания;
- накопление информации о процессе предоставления научного сервиса для аналитической обработки и принятых экспертом отклонениях.

Процессы формирования заказов научных услуг пользователями, организации их выполнения администраторами научных услуг, а также накопления и аналитики статистических данных о результатах работы научных коллективах формализуются нотификацией бизнес-процесса и автоматизируются интеграционной шиной и гипервизором облачных ресурсов, входящих в состав среды облачных вычислений цифровой платформы.

Выводы по главе 2

В главе рассмотрен разработанный комплекс методов для представления процессов научного исследования в среде облачных вычислений цифровых платформ:

- метод описания процессов научного исследования в виде двухуровневой циклической процессной модели групп «Целеполагание» и «Исследование»;

- методика планирования сервиса цифровой платформы как ключевой ценности бизнес-модели научного сервиса, опирающейся на ключевые ресурсы, ключевые процессы и структуру затрат;

- метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы;

- комплекс алгоритмов обеспечения экспериментов и исследований инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов.

Метод описания процессов научного исследования в виде двухуровневой циклической процессной модели позволяет систематизировать существующие и перспективные научные сервисы цифровой платформы в среде облачных вычислений.

Методы и алгоритмы представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы позволяют обеспечить снижение транзакционных издержек за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными:

- метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы позволяет интегрировать ресурсы, необходимые для выполнения исследования, в единой информационной среде.

- комплекс алгоритмов обеспечения экспериментов и исследований инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов позволяет использовать классические механизмы управления интеграционной шины платформы (оркестровки) как детерминированными научными сервисами (сервисы, предоставляемые по готовым утвержденным методикам), так и поисковыми исследованиями с изменением методики исследования.

3 Обоснование научно-практических рекомендаций по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований

3.1 Рекомендации по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований в части системы представления сервисов

Методы и алгоритмы представления научного исследования в цифровой платформе, предложенные в разделе 2, могут стать основой архитектурных решений интеграционной информационной системы отраслевой цифровой платформы для научных исследований.

С учетом результатов анализа, приведенного в разделе 1, отраслевая цифровая платформа должна создаваться как иерархия микросервисов, функционирующих на общей интеграционной шине на основе обмена сообщениями, что наряду с преимуществами облачных вычислений обеспечивает эластичность интеграционной информационной системы, высокую степень адаптивности к меняющимся условиям функционирования и, как итог, снижение стоимости владения системой.

С учетом вышеизложенных аспектов определим состав цифровой платформы научных исследований как совокупность следующих компонентов (рисунок 10):

- 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 шина (система технологического управления).

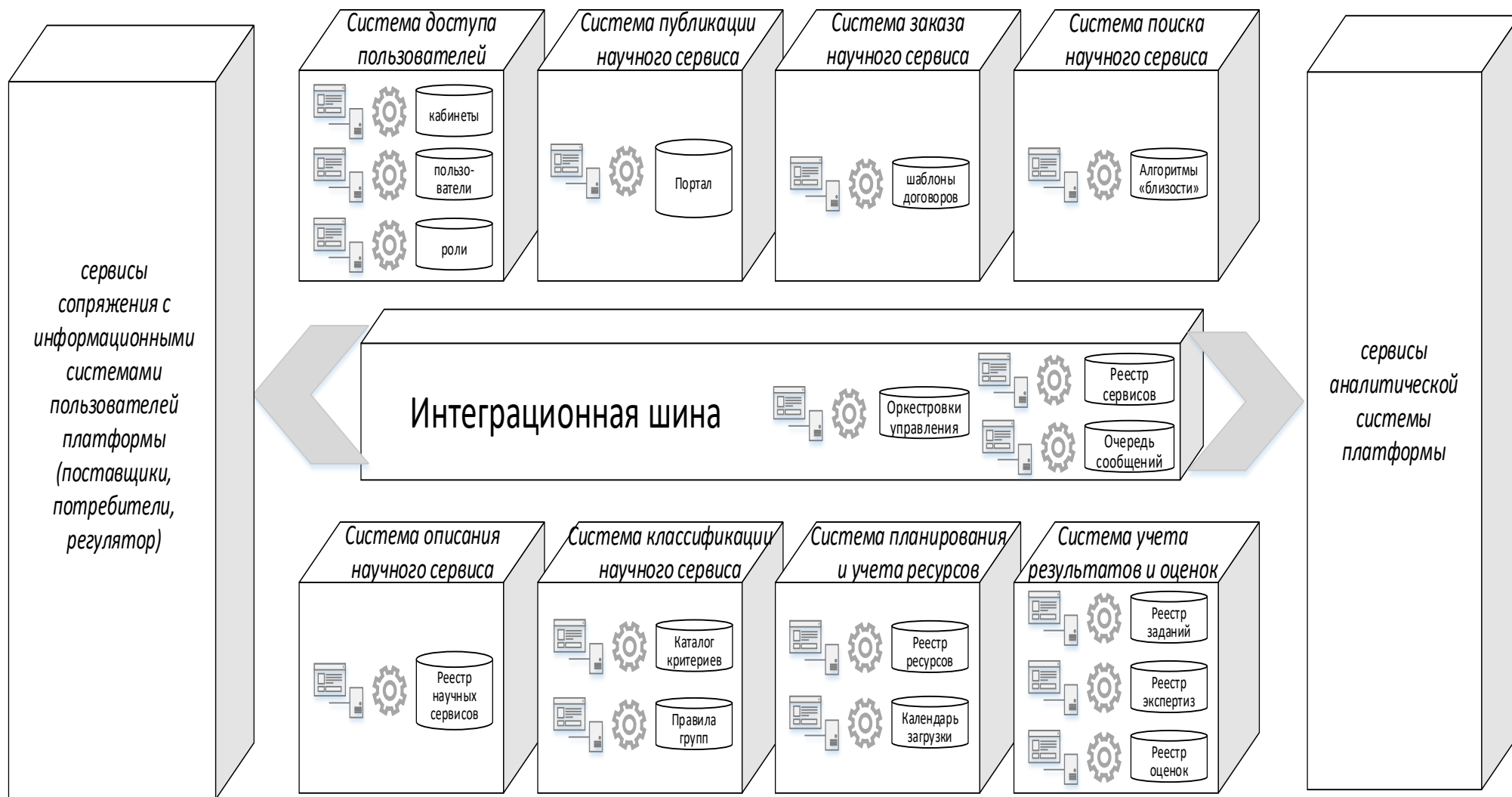


Рисунок 10 – Архитектурные системотехнические решения для системы предоставления научных сервисов цифровой платформы научных исследований

Система предоставления научных сервисов цифровой платформы создает единое информационное пространство для функционирования научных сервисов, смежных систем и вспомогательных сервисов. Очевидно, что ключевой смежной системой для системы предоставления научных сервисов в цифровой платформе будет аналитическая система, рассмотрение свойства которой и решения для которой находятся вне рамок текущей работы. Совместное функционирование этих двух систем в едином информационном пространстве цифровой платформы обеспечит выполнение единого бизнес-процесса управления научными исследованиями в рамках цифровой платформы.

Рассмотрим кратко назначение и основные функции компонентов системы предоставления научных сервисов.

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, ключевой процесс) выполнения исследования с указанием потребляемых ресурсов (трудозатраты персонала, время работы приборов, потребление расходных материалов и других ключевых ресурсов);
- 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 ведения реестра заданий, результатов интеллектуальной деятельности, включая публикации, согласованных изменений методик и технологических карт исследований, результатов экспертной деятельности.

Система доступа пользователей предназначена для ведения реестра пользователей, обеспечения интерфейса доступа к функциям системы в соответствии с полномочиями пользователей, определяемыми их ролями (поставщик научной услуги, оператор оборудования, потребитель научной услуги, эксперт, аналитик и т. д.). В системе целесообразно использовать решения с изменяемым перечнем ролей.

Для создания единого информационного пространства отраслевой цифровой платформы с высокой степенью масштабирования, эластичности и адаптируемости целесообразно ориентироваться на технологии виртуализации (контейнеризации)

вычислительных ресурсов, облачных вычислений, микросервисных архитектур и интеграционных шин.

Таким образом, архитектурные системотехнические решения системы предоставления научных сервисов рекомендуется формировать как решения для сервис-ориентированного облачного комплекса систем микросервисной архитектуры, связанных интеграционной шиной, предоставляющий услуги пользователям с использованием веб-портальных технологий.

Рекомендуемые архитектурные решения позволят обеспечить высокую степень консолидации информационных систем на основе метода глубокой интеграции исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру и использовании инструментов сервис-ориентированного комплекса. Цифровая платформа для научных исследований, созданная в соответствии с предлагаемым подходом, помимо предоставления инновационной основы исследовательским организациям для использования научных сервисов может обеспечить структуризацию научных сервисов, создание сквозных технологий для эффективного учета, систематизации и оптимизации затрат на проведение научных исследований.

Целесообразно использовать цифровую платформу как один из инструментов управления научными исследованиями. В цифровой платформе можно описать управление научными исследованиями в виде единого бизнес-процесса, целью которого являются научные результаты (результаты интеллектуальной деятельности), а управляющими воздействиями – ресурсы, направляемые на проведение исследования.

Информация, доступная и накапливаемая цифровой платформой, позволит выполнить аналитическую оценку результатов предоставления научных сервисов (проведения научных исследований) с учетом следующих положений, свойственных процессам управления научными исследованиями:

- результаты научного исследования могут переоцениваться во времени;
- экспертная оценка результатов исследования носит субъективный характер и должна взвешиваться с использованием рейтинга эксперта;

– рейтинг эксперта наряду с наукометрическими показателями (ученая степень, звание, публикации и т. д.) должен включать показатели качества проведенных экспертиз и выполненных работ.

Накопление в информационном пространстве цифровой платформы информации по экспертам, научным коллективам, научным сервисам и научным результатам обеспечит применение методов наукометрии для научных исследований, организуемых с использованием цифровой платформы.

В результате цифровая платформа позволит обосновано оценивать актуальность, важность, результативность научных сервисов и распределять ресурсы с использованием принципов состязательности, целесообразности и оптимальности.

3.2 Применение методов представления научных сервисов

3.2.1 Описание научных сервисов в макете системы управления научными сервисами

Результаты диссертационной работы в части разработки методов и алгоритмов представления научного сервиса в среде облачных вычислений были использованы при создании действующего макета системы управления научными сервисами (далее, СУС) в рамках НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО», выполняемой ФИЦ ИУ РАН в рамках государственного задания 2016 года [121].

При формировании состава пилотной зоны действующего макета использовались материалы исследования, проведенного рабочей группой по центрам коллективного пользования и лабораториям мирового уровня Научно-координационного совета ФАНО России.

По результатам аудита, проведенного экспертами из научных и образовательных организаций, в том числе не подведомственных ФАНО России, ЦКП и УНУ были разделены по 3 категориям. Первая категория – лидеры в данной области,

обладающие широким кругом пользователей, уникальными методиками, современным и дорогостоящим научным оборудованием. Вторая – стабильно развивающиеся (функционирующие) ЦКП и УНУ. Третья категория – это ЦКП и УНУ, обеспечивающие узкопрофильные исследования в рамках государственного задания базовой организации, обладают низкой степенью доступности оборудования для организаций-пользователей.

По результатам анализа: из 174 ЦКП 39% отнесены к первой, 43% ко второй и 18% к третьей категории; из 146 УНУ 38% отнесено к первой, 46% ко второй и 16% к третьей категории.

В состав пилотной зоны были отобраны семь ЦКП организаций, подведомственных ФАНО России, преимущественно относящихся к 1 категории, оказывающих услуги в различных областях исследований:

- ЦКП «Промышленные биотехнологии» ФИЦ Биотехнологии РАН;
- ЦКП Биоинженерия ФИЦ Биотехнологии РАН;
- Центр коллективного пользования вычислительными ресурсами МСЦ РАН – филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН;
- ЦКП «Структурная диагностика материалов» ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН;
- ЦКП «Биотехнология» ВНИИСБ;
- ЦКП «Ускорительный центр нейтронных исследований структуры вещества и ядерной медицины»;
- ЦКП «Протеом человека» ИБМХ.

Центр управления системы макета СУС был создан на основе облачного центра обработки данных ФИЦ ИУ РАН.

С учетом анализа возможных вариантов создания СУС, а также основываясь на общемировых тенденциях построения распределенных информационных систем, для создания СУС и соответственно действующего макета выбрана парадигма облачных вычислений, обеспечивающая:

- самообслуживание по требованию;
- высокую доступность через вычислительную сеть (Интернет);

- объединение ресурсов в пул;
- способность к быстрой адаптации;
- измеримость (биллинг) сервиса.

СУС разрабатывалась как облачная услуга типа BPaaS (business process as a service), предоставляемая ЦОД ФИЦ ИУ РАН, освобождающая лицо принимающее решение, персонал ЦКП и потребителей услуги от технологических подробностей функционирования системы.

Серверы центра управления макета СУС функционировали как виртуальные комплексы, состоящие из виртуальных машин, создаваемых и управляемых на основе технологии облачных вычислений (PaaS, platform as a service), применяемых ЦОД ФИЦ ИУ РАН.

Программное обеспечение макета СУС (программные комплексы), комплектовались лицензиями программного обеспечения ЦОД ФИЦ ИУ РАН и функционировали на виртуальных комплексах макета СУС.

АРМ макета СУС представляли собой личные кабинеты портала макета СУС, реализующие роли персонала и пользователей СУС.

Подсистема информационной безопасности макета предусматривала комплекс средств и мер, обеспечивающих выполнения требований по защите информации в макете СУС, делегированных в том числе подсистемой информационной безопасности ЦОД ФИЦ ИУ РАН.

Подсистема телекоммуникаций макета обеспечивала взаимодействие территориально-распределенных компонент макета СУС и ее пользователей с использованием ресурсов ЦОД ФИЦ ИУ РАН, информационно-телекоммуникационной сети ФАНО и сети Интернет.

Агенты макета СУС обеспечивали взаимодействие центра управления макета СУС с автоматизированными системами ЦКП/УНУ: ФИЦ ИУ РАН и МСЦ РАН.

Таким образом, макет пилотной зоны СУС, развернутой в ФИЦ ИУ РАН, представлял собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для моделирования СУС, компонентов ЦОД ФИЦ ИУ РАН, телекоммуникационной

системы, обеспечивающей взаимодействие компонентов, а также собственных сервисов ФИЦ ИУ РАН (рисунок 11).

Анализ процессов предоставления услуг ЦКП, выбранных для пилотной зоны макета СУС, позволял для апробации реализации в рамках макета остановиться на двух моделях информационного взаимодействия:

- автоматизированное взаимодействие ЦКП и центра управления СУС с использованием виртуального рабочего стола («личного кабинета») уполномоченного представителя ЦКП;

- автоматическое взаимодействие автоматизированной (информационной) системы ЦКП и центра управления СУС по согласованному протоколу информационного взаимодействия.

Для макетирования услуг ЦКП пилотной зоны по рекомендации администрации каждого ЦКП выбраны разнородные наиболее представительные услуги (в среднем 3-5 услуг для ЦКП). В рамках макета было специфицировано 40 услуг.

По согласованию с администрацией ЦКП пилотной зоны агенты СУС, реализуемые для взаимодействия с центром управления СУС функционировали на программно-технических средствах, входящих в состав ЦКП, с использованием существующей информационно-телекоммуникационной сети организаций, подведомственных ФАНО России, и сети Интернет.

В качестве реализационной платформы облачной инфраструктуры в результате проведенного аналитического исследования были выбраны коммерческие решения компании IBM для предоставления облачных услуг, которые прошли экспериментальную апробацию для решения функциональных задач СУС, возникающих при предоставлении услуг ЦКП и являющихся в общем случае гетерогенными услугами (В-сервисы и исследовательские сервисы, см. раздел 2).

На макете СУС были апробированы системотехнические решения по созданию системы и решения поставленных функциональных задач, включая подходы к описанию научных сервисов ЦКП как интегрированных облачных сервисов, на выбранном множестве ЦКП, предоставляющих гетерогенные услуги, с использованием разработанного метода глубокой интеграции.

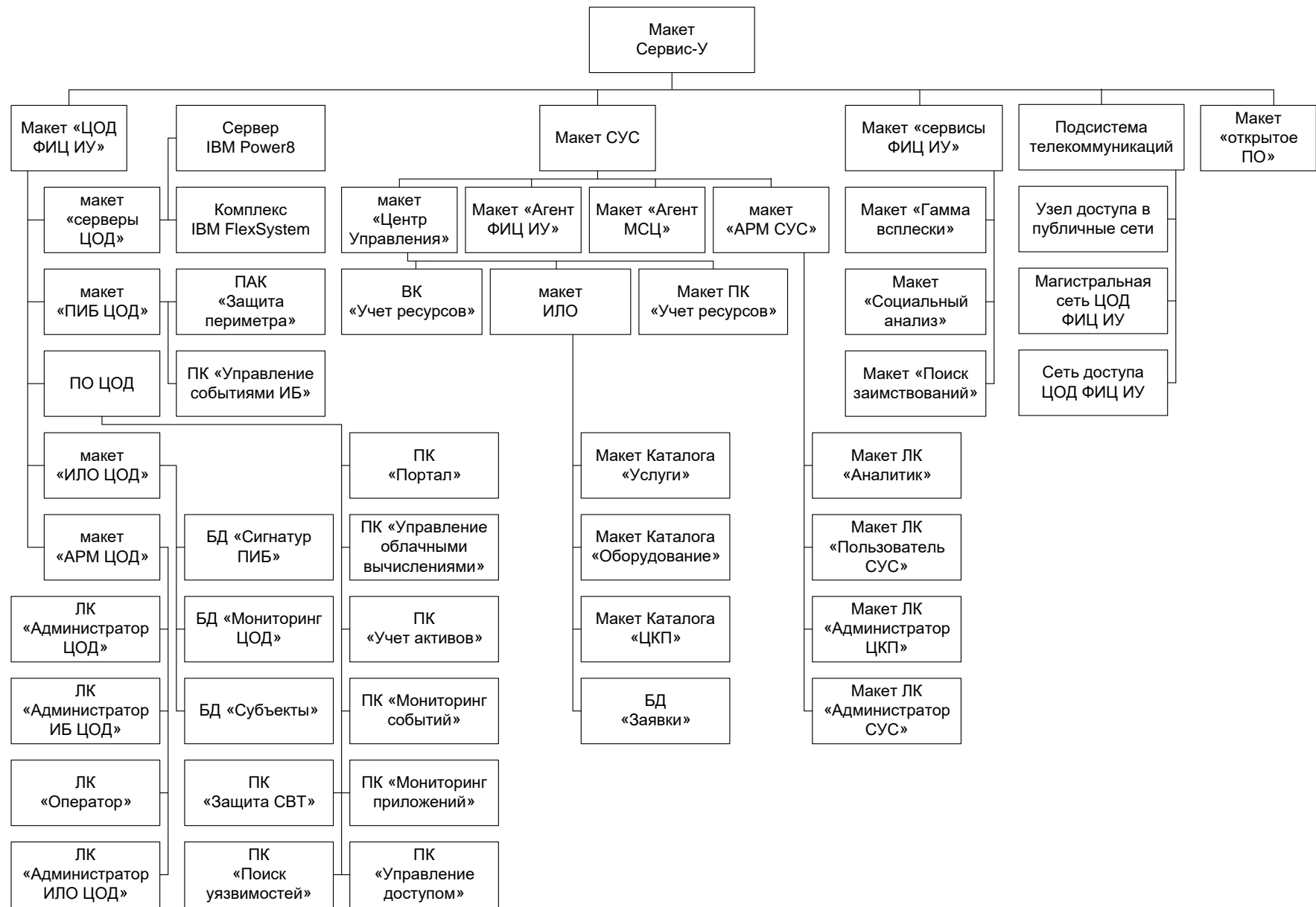


Рисунок 11 – Схема структурная компонентов пилотной зоны

Для решения задач макетирования на вычислительном комплексе было использовано следующее программное обеспечение:

- RedHat 7.1 KVM, IBM PowerKVM 3.1 – гипервизоры ресурсов СВТ;
- IBM CloudManager with OpenStack 4.3.0.6 для решения задач по контролю функционирования виртуальной инфраструктуры макета центра управления СУС;
- IBM Cloud Orchestrator Enterprise 2.5.0.2 для выполнения задач по макетированию процедур обработки заявок на оказание услуг ЦКП, организации обработки оркестровок бизнес-процессов и т.д.;
- IBM Control Desk для решений задач по управлению активами (ресурсами) научного исследования;
- IBM Monitoring для решения задач по контролю функционирования виртуальной инфраструктуры макета центра управления СУС в части мониторинга телекоммуникационных средств;

На макете были апробированы решения по представлению процессов научного исследования в виде научных сервисов в среде облачных вычислений, в том числе:

- метод описания процессов научного исследования в виде двухуровневой циклической модели;
- методика планирования сервиса цифровой платформы как ключевой ценности бизнес-модели научного исследования, опирающейся на ключевые ресурсы, ключевые процессы и структуру затрат;
- метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы;
- комплекс алгоритмов обеспечения теоретических исследований и экспериментов инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов.

В ходе исследований на макете пилотной зоны были проверены правильность выбранной концепции и архитектуры СУС, решения по представлению научного

сервиса, реализации основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов и процессов технологического управления.

Были апробированы следующие основные функциональные задачи СУС:

- ведение реестра ЦКП/УНУ, включая реестр администраторов ЦКП;
- ведение каталога сервисов ЦКП/УНУ;
- регистрация пользователей научных сервисов;
- регистрация заказов пользователей;
- рассмотрение заявки пользователей;
- планирование ресурсов;
- формирование и согласование договора;
- исполнение заказов;
- мониторинг выполнения заказов;
- учет ресурсов;
- анализ учета ресурсов;
- взаимодействие с внешними системами;
- управление инфраструктурой СУС;
- сбор и предоставление администраторам ЦКП и операторам СУС данных об использовании научных сервисов и диагностических данных о состоянии оборудования и программного обеспечения, его активности или неактивности, фактической производительности и нагрузках на основные компоненты.

В рамках работ по НИР на основе результатов диссертационного исследования были решены следующие актуальные задачи:

- проведены исследование применения рекомендаций ITIL и концептуального подхода ITSM к предоставлению научных сервисов;
- осуществлено исследование и обоснование функциональных задач СУС, включая задачи макета пилотной зоны СУС;
- выполнено обоснование состава научных сервисов СУС, включая методические подходы к описанию научных сервисов, описание сервисов ЦКП и УНУ пилотной зоны, описание сервисов ЦКП ФИЦ ИУ РАН, а также анализ и

обобщение практического опыта предоставления научных сервисов и уточнение классификации научных сервисов;

- исследованы системотехнические вопросы построения информационного обеспечения СУС;

- проведено исследование и обоснование основных системотехнических и программных решений по построению СУС;

- разработаны технические требования по обеспечению защиты информации в СУС;

- проанализированы результаты экспериментальных исследований на макете пилотной зоны;

- проведены исследования и сформулированы предложения по применению открытого ПО для построения СУС;

- выработаны предложения по созданию и развитию СУС с учетом результатов исследований.

3.2.2 Описание научных сервисов в информационном адаптере системы управления ЦКП вычислительных ресурсов МСЦ РАН

Результаты диссертационной работы в части разработки методов и алгоритмов представления научного сервиса в среде облачных вычислений были использованы при создании информационного адаптера интеграционной шины для выполнения требований ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН к информационному обеспечению системы управления научными сервисами [121].

Базовая организация ЦКП – Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук». Центр коллективного пользования вычислительными ресурсами МСЦ РАН обеспечивает исследователей – сотрудников научных учреждений, подведомственных ФАНО России, участников научных программ Министерства образования и науки Российской Федерации,

грантодержателей РФФИ и федеральных научных центров – высокопроизводительными вычислительными ресурсами.

Основные направления научных исследований ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН:

- исследование современных суперкомпьютерных архитектур и разработка прототипов суперкомпьютеров новых поколений;

- оказание методической помощи исследователям в использовании высокопроизводительных вычислительных средств и современных средств обработки информации;

- проведение исследований по развитию системного и прикладного математического обеспечения, а также решение задач большой сложности.

В распоряжении ЦКП вычислительных ресурсов МСЦ РАН имеется следующее оборудование:

- суперкомпьютер МВС-100К производства компании Hewlett-Packard (США), установленный в 2008 году. МВС-100К в ноябре 2008 г. занял 36 место в списке Top500; максимальная пиковая производительность составляла 227,94 ТФЛОПС; в максимальной конфигурации в состав суперкомпьютера входили 1275 вычислительных модуля, оснащённых двумя четырёх-/шестиядерными процессорами Intel Xeon; для объединения узлов кластера в единое решающее поле используется технология Infiniband; решающее поле МВС-100К непрерывно сокращается за счет выхода из строя изношенного оборудования; тем не менее, суперкомпьютер остается одной из основных вычислительных установок ЦКП, предоставляемой пользователям-исследователям для высокопроизводительных расчетов;

- суперкомпьютер МВС-10П производства компании РСК (Россия), установленный в 2012 году; пиковая производительность МВС-10П составляет 523,8 ТФЛОПС, производительность на тесте LINPACK – 375,7 ТФЛОПС; в состав кластера входит 207 вычислительных узлов; каждый вычислительный узел имеет в своем составе 2 процессора Xeon E5-2690, 64 ГБ оперативной памяти, два сопроцессора Intel Xeon Phi 7110X; МВС-10П является энергоэффективным

суперкомпьютером, что подтверждено результатами рейтинга Green500 (30 место, 1949 МФЛОПС/Ватт).

Все вычислительные узлы объединяются в 3 сети: коммуникационную и транспортную сеть на базе FDR Infiniband; сеть мониторинга и управления на базе Gigabit Ethernet; управления заданиями на базе Gigabit Ethernet.

Основной научной услугой, которую предлагает своим пользователям ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН, является предоставление высокопроизводительных вычислительных ресурсов для научных расчетов и исследований по подписке.

Для получения услуги и доступа к вычислительным ресурсам ЦКП МСЦ РАН потенциальному пользователю необходимо предпринять описанные ниже действия.

Необходимо предоставить в МСЦ РАН заявку на проектное использование вычислительных ресурсов МСЦ. Заявка заполняется на каждый научный проект.

Поданные заявки рассматриваются на заседании научно-технического совета МСЦ РАН, по результатам рассмотрения принимается решение о принятии или отклонении заявки. Принятые заявки передаются в инженерную группу для регистрации пользователей. После регистрации пользователь получает логин и пароль и может работать с вычислительными суперкомпьютерными установками МСЦ РАН в режиме коллективного доступа автоматически, без непосредственного участия персонала МСЦ РАН. По итогам работы за год в МСЦ РАН направляется отчет по каждому проекту.

Процесс работы пользователя с вычислительной суперкомпьютерной установкой следующий.

Вычислительная установка представляет собой систему высокопроизводительных вычислений типовой кластерной архитектуры, состоящую из нескольких вычислительных модулей, объединенных одной или несколькими высокоскоростными сетями передачи данных. Вычислительный модуль такой системы представляет собой самостоятельный компьютер, оснащенный, как правило, несколькими центральными процессорами (двумя или

более), собственными оперативной и дисковой памятью, возможно, сопроцессорами – ускорителями на базе графических процессоров, программируемых матриц или многоядерных мультитредовых решений (Intel Xeon Phi).

Помимо решающего поля, состоящего из вычислительных модулей, установка включает в себя такие компоненты, как сервер доступа, управляющая ЭВМ и система хранения данных (СХД).

Сервер доступа служит для подсоединения пользователей к системе, подготовки и хранения исходных текстов программ, данных для пользовательских заданий, результатов расчетов, для трансляции параллельных программ и подготовки заданий. Домашние каталоги пользователей размещаются в СХД, файловая система которой доступна с управляющей ЭВМ и со всех вычислительных модулей решающего поля. Через управляющую ЭВМ осуществляется доступ пользователей к решающему полю, запуск (завершение, управление) на решающем поле пользовательских заданий.

Задание является неделимым пользовательским объектом, включающим параллельную программу для расчетов, входные данные и требования к ресурсам. Главные обязательные требования – это необходимое для выполнения задания число процессорных ядер и время выполнения задания, т.е. фактически размер задания в ядро-часах. Кроме главных требований, пользователь может специфицировать целый ряд дополнительных – квант времени для фоновых заданий, потребность в дополнительных вычислительных ресурсах (память, дисковое пространство, тип операционной системы и т.п.), сценарий для развертывания процессов задания и др.

Управление вычислительными ресурсами и пользовательскими заданиями в современных системах высокопроизводительных вычислений осуществляет специальное программное обеспечение – система управления заданиями (СУЗ). СУЗ обеспечивает коллективный доступ пользователей к вычислительной установке, принимает входной поток различных заданий от разных пользователей, планирует очереди заданий, выделяет необходимые для выполнения задания

вычислительные ресурсы и освобождает их после завершения задания. В МСЦ РАН в качестве СУЗ используется отечественная система управления прохождением параллельных заданий (СУППЗ).

СУППЗ обслуживает поток пользовательских заданий автоматически согласно настроенному администратором системы расписанию, которое представляет собой последовательность сменяющих друг друга режимов планирования. Каждый режим планирования задает определенные параметры (например, максимально возможное время выполнения задания). Каждая вычислительная установка обслуживается отдельным экземпляром СУППЗ, которая ведет журнал событий, происходящих в системе. Периодически файл журнала загружается в специальную базу данных подсистемы «Статистика».

Подсистема «Статистика» предназначена для ввода в БД информации о функционировании СУППЗ и генерации статистических отчетов по заполненной БД. БД подсистемы «Статистика» содержит информацию о следующих событиях:

- постановка задания в очередь;
- снятие задания из очереди;
- запуск задания;
- остановка задания;
- старт СУППЗ;
- остановка СУППЗ;
- блокирование вычислительных модулей с выводом их из решающего поля;
- смена режима планирования и др.

За год одна вычислительная установка МСЦ РАН в среднем обслуживает около 150 тыс. пользовательских заданий.

Кроме указанных событий БД подсистемы «Статистика» содержит информацию о пользователях ЦКП МСЦ РАН, их организациях и зарегистрированных научных проектах. В БД каждое задание связывается с конкретным проектом.

По собранной в БД информации может быть сгенерирован ряд стандартных статистических отчетов:

- общая утилизация (загруженность) вычислителя (процент загрузки), в т.ч. посуточная за задаваемый период;

- статистика использования ресурсов (ядро-часы, процент от общего ресурса) по каждому пользователю;

- статистика использования ресурсов (ядро-часы, процент от общего ресурса) по каждой организации;

- статистика использования ресурсов (ядро-часы, процент от общего ресурса) по каждому научному проекту;

- статистика использования ресурсов по режимам планирования и типам заданий.

С помощью специального программного модуля происходит извлечение из БД информации по заданным параметрам отчета, после чего отчет в формате HTML загружается в текстовый редактор (по умолчанию – в MS Word). Отметим, что помимо генерации стандартных отчетов, с помощью отдельно составляемых оператором SQL-запросов возможно извлечение из БД иной необходимой для анализа статистики работы ЦКП информации.

Таким образом:

- предоставление услуг высокопроизводительных вычислений осуществляется ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН на основании ежегодных заявок пользователей в рамках зарегистрированных научных проектов; с точки зрения бизнес-логики, пользователи ЦКП МСЦ РАН фактически оформляют годовую подписку на пользование вычислительными ресурсами МСЦ;

- зарегистрированные пользователи получают услуги высокопроизводительных вычислений автоматически путем направления вычислительных заданий в систему коллективного доступа (систему управления заданиями);

- учет использования ресурсов каждым пользователем ведется в подсистеме «Статистика»; единицей учета потребленного ресурса является ядро-час.;

- итоговая оценка эффективности работы пользователя в ЦКП производится путем анализа годового отчета по научному проекту, направляемому в МСЦ РАН.

При анализе статистики и эффективности работы оборудования суперкомпьютерного ЦКП учитывается, что суперкомпьютер является разделяемым ресурсом, обеспечивающим одновременное выполнение нескольких различных заданий разных пользователей. Формально суперкомпьютер считается работоспособным при наличии хотя бы одного исправного вычислительного модуля, способного обслуживать пользовательские задания. С этой точки зрения оборудование ЦКП функционирует 24 часа в сутки, 365 дней в году, 8760 часов в не високосном году и загружено на 100%, поскольку обработка заданий пользователей производится автоматически и круглосуточно.

Однако реальная полезная нагрузка суперкомпьютера ниже 100%, поскольку одновременно не все вычислительные модули заняты обработкой пользовательских заданий. Причины простоев отдельных вычислительных модулей следующие:

- наличие периодов профилактики оборудования;
- ремонт оборудования;
- теоретическая невозможность планирования очереди заданий без образования некоторого числа простаивающих вычислительных модулей;
- завершение заданий ранее заказанного времени, приводящее к перепланированию очереди.

С учетом указанных случаев простоя вычислительных модулей полезная загрузка оборудования ЦКП МСЦ РАН за последние 5 лет составила:

МВС-100К: 2011 год – 87,9%, 2012 год – 89,6%, 2013 год – 89,3%, 2014 год – 92,5%, 2015 год – 91,4%

МВС-10П: 2013 год – 71,8%, 2014 год – 78,7%, 2015 год – 89,3%

На сегодняшний день ЦКП ВР МСЦ РАН предоставляет услуги по высокопроизводительным вычислениям 73 организациям, сотрудники которых выполняют 184 научных проекта. В 2015 году пользователи ЦКП МСЦ РАН опубликовали 258 статей в изданиях, индексируемых в Web of Science, Scopus и РИНЦ.

В рамках НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО» была разработана схема взаимодействия с СУС и апробирована на макете СУС (рисунок 12).

Информация о проектах и пользователях СУС передается из БД МСЦ РАН в СУС. Пользователи СУС получают возможность из личного кабинета портала СУС направить заявку на регистрацию в ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН.

Создается таблица соответствия идентификаторов пользователей СУС и МСЦ РАН с целью предотвращения передачи между системами персональных данных пользователей и исключения возможности передачи в СУС информации о незарегистрированных в СУС пользователях ЦКП МСЦ РАН.

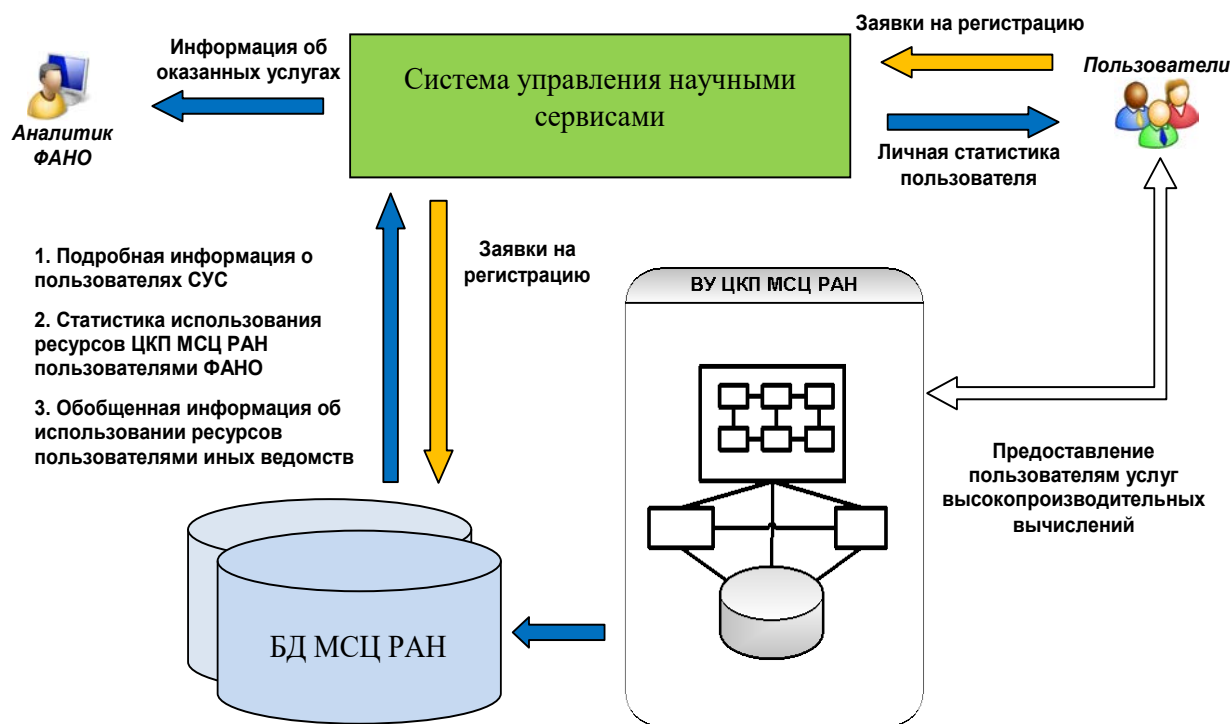


Рисунок 12 – Схема взаимодействия СУС и ЦКП ВР МСЦ РАН

Из подсистемы статистики МСЦ в СУС по каждой вычислительной установке ЦКП будет выгружаться информация (за указанный период):

- о всей личной статистике пользователей СУС;
- о суммарном использовании ресурсов (ядро-часы, процент) пользователями ФАНО;

- о суммарном использовании ресурсов (ядро-часы, процент) пользователями других организаций.

Наиболее важным аспектом взаимодействия видится представление в СУС оборудования суперкомпьютерного ЦКП как разделяемых ресурсов, которые одновременно могут в разной степени использоваться несколькими пользователями. В настоящее время на портале skr-rf.ru отсутствует возможность такого представления (научное оборудование считается неделимым), что создает существенные сложности при оформлении отчетов о загруженности оборудования ЦКП. В частности, загрузка оборудования ЦКП рассчитывается как отношение времени работы оборудования в интересах пользователей к общему календарному времени, что неверно в случае разделяемого ресурса, для которого необходимо рассчитывать процент использования (полезной загрузки).

Метод глубокой интеграции исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру позволил реализовать для ЦКП МСЦ РАН информационный адаптер интеграционной шины и выполнить требования ЦКП к информационному обеспечению системы управления научными сервисами:

- была обеспечена возможность представления оборудования ЦКП как разделяемого ресурса определенного объема;
- была обеспечена возможность учета потребления разделяемого ресурса за определенное время;
- была обеспечена возможность представления научной услуги ЦКП в виде подписки (подключение на абонентское обслуживание) на разделяемый ресурс на определенный период.

3.2.3 Описание научных сервисов в системе обеспечения взаимодействия информационной системы ЦКП ФИЦ Биотехнологии РАН с системой взаимодействия с клиентами

Результаты диссертационной работы в части разработки методов и алгоритмов представления научного сервиса в среде облачных вычислений были использованы при создании средств взаимодействия информационной системы ЦКП ФИЦ Биотехнологии с системой управления взаимоотношениями с клиентами на основе продукта с открытыми исходными кодами SuiteCRM.

Центр коллективного пользования «Промышленные биотехнологии» организован на базе нескольких лабораторий для совместного использования уникального научного оборудования, находящегося на балансе Института биохимии им. А. Н. Баха (ИНБИ), входящего в состав ФИЦ Биотехнологии РАН (www.ckp.inbi.ras.ru) [121].

Целями организации ЦКП является:

- консолидация финансовых возможностей ФИЦ Биотехнологии РАН в плане приобретения нового высокопроизводительного и высокоточного оборудования и необходимых материалов, а также для поддержания работоспособности и расширения функциональных возможностей оборудования и аппаратуры, закрепленных за ЦКП;
- расширения возможностей используемых методов;
- организации сотрудничества, обмена опытом и обсуждение результатов работы, проводимых на базе ЦКП.

Задачами ЦКП являются:

- обеспечение работоспособности и развитие приборной базы современного научного оборудования ЦКП;
- развитие методической базы ЦКП по работе на вверенном оборудовании;
- осуществление НИР и ОКР в соответствии с планами научной деятельности ФИЦ Биотехнологии РАН;

- проведение совместных НИР и ОКР в сотрудничестве с российскими и зарубежными организациями любых форм собственности на основании соответствующих договоров, заключаемых от имени ФИЦ Биотехнологии РАН;
- организация подготовки и повышения квалификации специалистов ФИЦ Биотехнологии РАН и сторонних организаций;
- оказание научно-технических услуг по заказам заинтересованных организаций;
- оказание практической помощи администрации ФИЦ Биотехнологии РАН в установлении функциональных связей с другими научными учреждениями;
- разработка и развитие современных научных методов и технологий на базе уникального научного оборудования ЦКП;
- развитие базы метрологического обеспечения испытаний и измерений, проводимых на уникальном научном оборудовании ЦКП;
- расширение спектра сертифицированных соответствующими организациями РФ услуг и методов измерений/испытаний на оборудовании ЦКП.

Структура ЦКП состоит из следующих подразделений:

- руководство ЦКП;
- группа хроматографических методов исследования;
- группа биоинженерии;
- группа управляемого культивирования микроорганизмов;
- группа масспектрометрического анализа и анализа низкомолекулярных метаболитов;
- группа спектральных методов исследований.

Основное оборудование ЦКП:

- газожидкостной хромато-масс спектрометр Shimadzu QP 2010 с термодесорбером Unity;
- комплекс оборудования для разработки ферментационных технологий;
- хроматограф Varian ProStar HPLC, включающий насос PS210 SDM, PS335 PDA детектор, PS410 Autosampler и MS-детектор: Varian 500-MS (ионная ловушка);
- сверхпроизводительный хроматограф UPLC (Waters);
- установка для капиллярного электрофореза P/ACE MDQ фирмы Beckman;

- рентгенофлуоресцентный спектрометр «Реном ФВ»;
- ВЭЖХ-МС Agilent в составе хроматографа 1290 и масс-детектора 6460 QQQ-MS;
- жидкостные хроматографы Аквилон с ультрафиолетовым, флуоресцентным и рефрактометрическими детекторами;
- CD-дихрограф Chirascan;
- комплекс оборудования для конструирования штаммов-продуцентов;
- тандемный времяпролётно-времяпролётный масс-спектрометр с лазерной десорбцией/ионизацией MALDI-TOF/TOF Bruker.

Процедура обработки заявок от внешних пользователей выполняется по следующей схеме:

- получение заявки от внешнего пользователя в интерактивной форме через сайт или по электронной почте;
- рассмотрение заявки дирекцией/руководителем ЦКП в течение 3 рабочих дней;
- промежуточный ответ внешнему пользователю от дирекции/руководителя ЦКП с просьбой предоставления дополнительной информации (при необходимости) в течение 3 рабочих дней;
- окончательный ответ внешнему пользователю от дирекции/руководителя ЦКП с указанием стоимости работ, сроков выполнения и других условий выполнения работ;
- при согласии внешнего пользователя с условиями работ, оформляются договорные и бухгалтерские документы в течение 3 рабочих дней;
- выполнение работ согласно условиям договора;
- выдача результатов работ дирекцией/руководителем ЦКП внешнему пользователю в течение 3 рабочих дней после окончания работ;
- оформление необходимых закрывающих бухгалтерских документов в течение 3 рабочих дней после принятия работ.

В стоимость каждой услуги включаются следующие составляющие:

- стоимость расходных материалов;
- стоимость, вносимая на амортизацию оборудования;

- стоимость работы оператора на оборудовании;
- стоимость транспортных услуг;
- стоимость услуг соисполнителей;
- стоимость разработки методов и пр. (для нетиповых услуг);
- расходы на общехозяйственные нужды;
- налоги.

В ЦКП функционирует внутренняя информационная система для обслуживания заданий на исследования и учета потребленных ресурсов.

Подходы метода глубокой интеграции исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру позволили персоналу ЦКП консолидировать внутреннюю информационную систему с системой управления взаимоотношениями с клиентами на основе продукта с открытыми исходными кодами SuiteCRM (<https://suitecrm.com/>), что обеспечило снижение трудоемкости операций, связанных с взаимоотношениями с клиентами на 50-60%.

Выводы по главе 3

1) Обоснованы рекомендации для архитектурных системотехнических решений системы предоставления научных сервисов в облачной среде отраслевой цифровой платформы для научных исследований, состоящие в следующем:

- рекомендуется среду облачных вычислений отраслевой цифровой платформы создавать в соответствии с парадигмой сервис-ориентированной архитектуры;
- рекомендуется компоненты интеграционной информационной системы (состав и назначение компонентов приведен в разделе 3.1) отраслевой цифровой платформы для научных исследований разрабатывать в виде микросервисов;
- рекомендуется использовать услуги интеграционной шины отраслевой цифровой платформы для взаимодействия компонентов информационной системы и организации бизнес-процессов обработки информации в единой информационной среде платформы;

- рекомендуется для связи с пользователями платформы использовать веб-портальные технологии.

Рекомендуемые архитектурные системотехнические решения позволят обеспечить высокую степень консолидации информационных систем на основе метода глубокой интеграции исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру и использовании инструментов сервис-ориентированного комплекса. Цифровая платформа для научных исследований, созданная в соответствии с предлагаемым подходом, помимо предоставления инновационной основы исследовательским организациям для использования научных сервисов может обеспечить структуризацию научных сервисов, создание сквозных технологий для эффективного учета, систематизации и оптимизации затрат на проведение научных исследований.

Целесообразно использовать цифровую платформу как один из инструментов управления научными исследованиями. В цифровой платформе можно описать управление научными исследованиями в виде единого бизнес-процесса, целью которого являются научные результаты (результаты интеллектуальной деятельности), а управляющими воздействиями – ресурсы, направляемые на проведение исследования.

Информация, доступная и накапливаемая цифровой платформой, позволит выполнить аналитическую оценку результатов предоставления научных сервисов (проведения научных исследований) и обеспечит применение методов наукометрии для управления научными исследованиями, организуемых с использованием цифровой платформы.

В результате цифровая платформа позволит обосновано оценивать актуальность, важность, результативность научных сервисов и распределять ресурсы с использованием принципов состязательности, целесообразности и оптимальности.

2) Основные результаты диссертационной работы (разработанные методы, алгоритмы и архитектурные системотехнические решения) применены в действующем макете системы управления научными сервисами, созданном в рамках НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-

исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО», выполняемой ФИЦ ИУ РАН в рамках государственного задания 2016 года [121].

На макете были апробированы решения по представлению процессов научного исследования в виде научных сервисов в среде облачных вычислений, в том числе:

- метод описания процессов научного исследования в виде двухуровневой циклической модели;

- методика планирования сервиса цифровой платформы как ключевой ценности бизнес-модели научного исследования, опирающейся на ключевые ресурсы, ключевые процессы и структуру затрат;

- метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы;

- комплекс алгоритмов обеспечения теоретических исследований и экспериментов инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов.

В ходе исследований на макете пилотной зоны были проверены правильность выбранной концепции и архитектуры системы управления научными сервисами, решения по представлению научного сервиса, реализации основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов и процессов технологического управления.

3) Использование метода глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру позволило реализовать для ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН информационный адаптер интеграционной шины и выполнить требования ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН к информационному обеспечению системы управления научными сервисами в части обеспечения возможностей:

- представления оборудования ЦКП как разделяемого ресурса определенного объема;

- учета потребления разделяемого ресурса за определенное время;

- представления научной услуги ЦКП в виде подписки (подключение на абонентское обслуживание) на разделяемый ресурс на определенный период.

4) Использование метода глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру позволило персоналу ЦКП «Промышленные биотехнологии» ФИЦ Биотехнологии РАН консолидировать внутреннюю информационную систему с системой управления взаимоотношениями с клиентами на основе продукта с открытыми исходными кодами SuiteCRM, что обеспечило снижение трудоемкости операций, связанных с взаимоотношениями с клиентами на 50-60%.

Заключение

В результате диссертационного исследования решена актуальная научно-практическая задача разработки методов представления научных сервисов в среде облачных вычислений цифровых платформ и обоснованы архитектурные и технологические решения, внедрение которых позволяет существенно повысить эффективность научных исследований.

В соответствии с целью и задачами исследования получены следующие основные результаты.

1) Выполнен анализ нормативных документов, определяющих развитие цифровой экономики России. Сформулированы характеристики цифровой платформы для научных исследований как отраслевой цифровой платформы, представляющей собой иерархическую экосистему инструментальных, инфраструктурных и прикладных цифровых платформ, консолидируемых интеграционной информационной системой:

а) обеспечивающей накопление, обмен и управление данными, а также интеграцию с информационными системами участников и цифровыми платформами;

б) обслуживающей значимое количество участников трех категорий:

- поставщики услуг и ресурсов для научных исследований;
- потребители услуг и ресурсов для научных исследований;
- регуляторы отраслевой платформы научных исследований и эксплуатационные подразделения.

2) Проанализированы существующие подходы к разработке бизнес-моделей инновационной деятельности. Обоснована постановка задачи разработки методов и алгоритмов описания процессов научного исследования для цифровой платформы в облачной среде, обеспечивающих:

- систематизацию существующих и перспективных научных сервисов;
- представление научных сервисов на цифровой платформе;

- применение пакета технологий цифровой платформы для работы с данными в единой информационной среде.

3) В результате анализа видов информационных ресурсов в научном интернет-пространстве РФ сформулирован перечень задач, решаемых с помощью информационного пространства сети Интернет, включая:

- поиск публикаций, получение реферативных обзоров для анализа текущего состояния научной проблемы, существующих методов и алгоритмов решения задач;

- поиск и использование приборной базы, вычислительных ресурсов (программного обеспечения), данных экспериментов для проведения исследования, а также предоставления перечисленных видов ресурсов для использования сторонним исследователям;

- участие в научных проектах, обсуждения, апробация и публикация научных результатов, организация исследовательских коллективов для совместной творческой деятельности, формирование индивидуального профессионального рейтинга.

4) На основе анализа современных подходов к разработке интеграционной информационной системы была поставлена задача разработать методы и алгоритмы представления научного сервиса на отраслевой цифровой платформе для научных исследований с целью снижения транзакционных издержек за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными в единой информационной среде.

5) В результате анализа подходов к оценке архитектурных решений для информационных систем обоснована целесообразность применения пошагового аргументированного выбора архитектурных решений, учитывающего особенности проведения исследования на ранней стадии жизненного цикла цифровой платформы для научных исследований.

6) Разработан метод описания процессов научного исследования как бизнес-процессов цифровой платформы для определения и систематизации совокупности существующих и перспективных научных сервисов цифровой платформы.

7) Разработана методика планирования сервиса цифровой платформы как ключевой ценности бизнес-модели научного сервиса, опирающейся на ключевые ресурсы, ключевые процессы и структуру затрат.

8) Разработаны методы и алгоритмы представления научного сервиса как облачного сервиса цифровой платформы, которые позволяют обеспечить снижение транзакционных издержек за счёт применения пакета цифровых технологий работы с данными в единой информационной среде:

- метод глубокой интеграции научного сервиса в облачную инфраструктуру, который за счет представления процессов научного исследования как облачного сервиса цифровой платформы позволяет интегрировать ресурсы, необходимые для выполнения исследования, в единой информационной среде;

- комплекс алгоритмов обеспечения экспериментов и исследований инструментами цифровой платформы с глубокой интеграцией научных сервисов, который позволяет использовать классические механизмы управления интеграционной шины платформы (оркестровки) как детерминированными научными сервисами (сервисы, предоставляемые по готовым утвержденным методикам), так и поисковыми исследованиями с изменением методики исследования.

9) Сформулированы рекомендации по архитектурным системотехническим решениям для цифровой платформы для научных исследований в части системы представления научных сервисов, предложен ее состав. Рекомендуемые архитектурные решения позволят обеспечить высокую степень консолидации информационных систем на основе метода глубокой интеграции исследовательского сервиса в облачную инфраструктуру и использовании инструментов сервис-ориентированного комплекса для интеграции и управления сервисами. Цифровая платформа для научных исследований, созданная в соответствии с предлагаемым подходом, помимо предоставления инновационной основы исследовательским организациям для использования научных сервисов может обеспечить структуризацию научных сервисов, создание сквозных

технологий для эффективного учета, систематизации и оптимизации затрат на проведение научных исследований.

10) Представлено применение разработанных методов в макете системы управления научными сервисами, созданным в рамках НИР «Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО» [121], в информационном адаптере системы управления ЦКП вычислительными ресурсами МСЦ РАН и в информационной системе ЦКП ФИЦ Биотехнологии РАН.

Основные полученные в диссертационной работе теоретические и научно-практические результаты опубликованы в 22 печатных работах, в том числе в 15 публикациях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России («Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»).

Список сокращений и условных обозначений

BPMN - Business Process Model And Notation

IDEF - Integrated Computer-Aided Manufacturing

АРМ – Автоматизированное рабочее место

БД – База данных

ИТ – Информационные технологии

ЛПР – Лицо, принимающее решение

МСЦ – Межведомственный суперкомпьютерный центр

НИР – Научно-исследовательская работа

ОКР – Опытно-конструкторская работа

ПО – Программное обеспечение

ПТС – Программно-технические средства

РАН – Российская академия наук

СВТ – Средства вычислительной техники

СУБД – Система управления базами данных

СУЗ – система управления заданиями

СУППЗ – система управления прохождением параллельных заданий

СУС – Система управления научными сервисами

СХД – Система хранения данных

УНУ – Уникальная научная установка

ФАНО – Федеральное агентство научных организаций

ФИЦ – Федеральный исследовательский центр

ЦКП – Центр коллективного пользования

ЦОД – Центр обработки данных

ЭВМ – Электронно-вычислительная машина

Список литературы

1. Daniel Aguado, Thomas Andersen, Aram Avetisyan and others A Practical Approach to Cloud IaaS with IBM SoftLayer: Presentations Guide // IBM Redbooks, 2016, 362 p.
2. Ludwig von Bertalanffy General System theory: Foundations, Development, Applications. // N. Y.: George Braziller, Inc., 1968. — 289 p.
3. Bradley, Ralph Allan; Terry, Milton E. Rank Analysis of Incomplete Block Designs: I. The Method of Paired Comparisons. // Oxford University. Biometrika. Vol. 39, No. 3/4 (Dec., 1952), pp. 324-345
4. David Chappell Enterprise Service Bus // O'Reilly Media, June 2004, 352 p., ISBN 0-596-00675-6
5. Zach Church Platform strategy, explained // MIT Management Sloan School, [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/platform-strategy-explained> (дата обращ. 11.03.2019)
6. Dromey R.G. Cornering the Chimera // IEEE Software. 1996. Vol. 13. N. 1. p.33–43
7. Yucong Duan, Guohua Fu, Nianjun Zhou, Xiaobing Sun, Nanjangud C. Narendra, Bo Hu Everything as a Service (XaaS) on the Cloud: Origins, Current and Future Trends // New York, IEEE 8th International Conference on Cloud Computing, 2015, DOI: 10.1109/CLOUD.2015.88 [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://ieeexplore.ieee.org/document/7214098> (дата обращ. 11.03.2019)
8. Thomas R. Eisenmann, Geoffrey Parker, Marshall Van Alstyne Opening Platforms: How, When and Why? // Harvard Business School, August 31, 2008 [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/09-030.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

9. Michael Facemire, Ted Schadler Road Map: Build A Four-Tier Digital Engagement Platform // Forrester Research, Road Map: The Mobile App Development Playbook, March 22, 2018, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.forrester.com/report/Build+A+FourTier+Digital+Engagement+Platform/-/E-RES100161> (дата обращ. 11.03.2019)
10. Michael Facemire, Ted Schadler, and John C. McCarthy Mobile Needs A Four-Tier Engagement Platform // Forrester Research, For Application Development & Delivery Professionals, 2013, October, [Электронный ресурс] – Режим доступа https://go.forrester.com/blogs/13-11-20-mobile_needs_a_four_tier_engagement_platform (дата обращ. 11.03.2019)
11. IT Glossary: Platform (Digital Business) // Gartner, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gartner.com/it-glossary/platform-digital-business> (дата обращ. 11.03.2019)
12. IT Glossary: Application Platform as a Service (aPaaS) // Gartner, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gartner.com/it-glossary/application-platform-as-a-service-apaas/> (дата обращ. 11.03.2019)
13. Gilb T. Principles of Software Engineering Management // Reading MA: Addison Wesley, 1988, 464 p.
14. Heuskel D. Wettbewerb jenseits von Industriegrenzen: Aufbruch zu neuen Wachstumsstrategien // Frankfurt: Campus Verlag, 1999, 191p, ISBN 9783593361437
15. Integration Definition Metodology // [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://idef.com/idef.php> (дата обращ. 11.03.2019)
16. Kevin Jackson, Cody Bunch, Egle Sigler Openstack Cloud Computing Cookbook // Packt Publishing Ltd., 2015, 436p, ISBN 978-1-78217-478-3
17. Mark W. Johnson, Clayton M. Christensen, Henning Kagermann Reinventing Your Business Model // Harvard Business Review 87(12), 2008
18. David S. Linthicum Cloud Computing and SOA Convergence in Your Enterprise: A Step-by-Step Guide // Addison-Wesley Professional, 2009, 264p, ISBN 978-0136009221

19. James Lewis, Martin Fowler *Microservices* // 2014, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (дата обращ. 11.03.2019)
20. C. Matthew MacKenzie, Ken Laskey, Francis McCabe, Peter F Brown, Rebekah Metz *Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0* // OASIS, Committee Specification 1, 2 August 2006, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.oasis-open.org/committees/download.php/19679/soa-rm-cs.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)
21. McCall J, Richards P, Walters G. *Factors in software quality* // Report NTIS AD-A049-014, AD-A049-015, AD-A049-055, 1977
22. Peter Mell, Timothy Grance. *NIST SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology* // Gaithersburg. September 2011, 7 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf> (дата обращ. 31.01.2018)
23. Nicholas Negroponte *Being Digital* // New York: Alfred A. Knopf, 1995, 256 p.
24. *Business Process Model And Notation* // Object Management Group [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/> (дата обращ. 31.01.2018)
25. *OpenStack* // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.openstack.org/> (дата обращ. 31.01.2018)
26. Alexander Osterwalder *The business model ontology a proposition in a design science approach* // UNIVERSITE DE LAUSANNE, EHEC, 2004, [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.hec.unil.ch/aosterwa/PhD/Osterwalder_PhD_BM_Ontology.pdf (дата обращ. 31.01.2018)
27. Pande, Peter S.; Neuman, Robert P.; Gavanagh, Roland R. *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance* // N.Y.: McGraw-Hill, 2000, 282 p, ISBN 978-0-07-135806-4

28. Geoffrey G. Parker, Marshall W. Van Alstyne, Sangeet Paul Choudary Platform Revolution: How networked markets are transforming the economy — and how to make them work for you // N.Y.: W. W. Norton & Company, Inc., 2016, 352 p., ISBN 978-0-393-24913-2
29. Shewhart, Walter Andrew. Statistical method from the viewpoint of quality control // Washington, The Graduate School, the Department of Agriculture, 1939, 155 p., ISBN 0-486-65232-7
30. Don Tapscott The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence // N.Y.: McGraw-Hill, 1994, 368 p., ISBN 0-07-0633-42-8
31. Thurstone L.L., Chave E.J. The measurement of attitude // Chicago, 1929 [Электронный ресурс] – Режим доступа https://brocku.ca/MeadProject/Thurstone/Thurstone_1931d.html (дата обрац. 11.03.2019)
32. Tsvetkov V.Ya. Not Transitive Method Preferences // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. Vol. 3. Is. 1. p. 34–42. DOI: 10.13187/jincfar.2015.3.34
33. Zatsarinny A.A., Gorshenin A.K., Kondrashev V.A., Volovich K.I., Denisov S.A. Toward high performance solutions as services of research digital platform. XIIIth International Symposium «Intelligent Systems», INTELS'18, 22-24 October 2018, St. Petersburg, Russia // Procedia Computer Science Elsevier. 2019.
34. Баранов А.В., Киселёв Е.А., Ляховец Д.С. Квазипланировщик для использования простаивающих модулей многопроцессорной вычислительной системы под управлением СУППЗ // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия «Вычислительная математика и информатика». 2014. Т. 3. № 4. С. 75-84.
35. Белайчук А. Главное преимущество BPMN // Открытые системы. СУБД 2012 № 08 [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.osp.ru/os/2012/08/13019266/> (дата обрац. 11.03.2019)

36. Бондаренко Т.В., Бондаренко О.А., Волович К.И., Денисов С.А., Кондрашев В.А. Иерархические диаграммы состояний и переходов в синтезе телекоммуникационных протокольных автоматов// Системы и средства информатики. 2009. Т.19. №2. С. 77-85.
37. Бондаренко Т.В., Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Сигнальный механизм языка Cell// Системы и средства информатики. 2010. Т.20. №3. С.45-66.
38. Бондаренко Т.В., Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Язык Cell: модель обработки клонов// Системы и средства информатики. 2010. Т.20. №3. С.67-81.
39. Бондаренко Т.В., Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Базовая модель функционирования автомата в системе программирования Cell // Системы и средства информатики. 2010. Т.20. №3. С.82-97.
40. Бондаренко Т.В., Волович К.И., Кондрашев В.А. Язык Cell – инструмент для синтеза программного обеспечения многоуровневого телекоммуникационного протокола по частично формализованным спецификациям // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т.7. №3. С.120-125.
41. Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Средства поддержки исполняемого кода, синтезированного по спецификациям на языке Cell // Системы и средства информатики. 2011. Т.21. №1. С.105-116.
42. Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Алгоритмы функционирования компилятора языка Cell // Системы и средства информатики. 2011. Т.21. №1. С. 117-140.
43. Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Мониторинг информационной безопасности как облачный сервис // Системы и средства информатики. 2014. Т.24. №3. С. 169-175.
44. Бородакий Ю. В., Лободинский Ю. Г. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы) // М.: Горячая линия – Телеком. 2011. 368 с. ISBN 978-5-9912-0199-5

45. Боэм Б. и др. Характеристики качества программного обеспечения // М.: Мир. 1981. 208 с.
46. Брук И.С. Об управляющих машинах. // М., Природа. 1955. №5. С. 17- 26. [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/P/"Priroda"/_Priroda".html#1955](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/P/) (дата обращ. 11.03.2019)
47. Брук И. С. Перспективы применения управляющих машин в автоматизации. В кн.: «Сессия Академии наук СССР по научным проблемам автоматизации производства 15-20 октября 1956 г.» // изд-во АН СССР, М. 1957. С. 131-148. [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.computer-museum.ru/articles/galglory_ru/278/ (дата обращ. 11.03.2019)
48. Будзко В.И. Развитие систем высокой доступности с применением технологии "Большие Данные" // Системы высокой доступности. 2013. Т. 9. №4. С. 003-011.
49. Будзко В.И., Королев В.И., Беленков В.Г. Элементы конфиденциальности и перспективы их применения в системах интенсивного использования данных // Системы высокой доступности. 2018. Т.14. №4, С. 55-60
50. Википедия. Business model // Википедия, [Электронный ресурс] – Режим доступа https://en.wikipedia.org/wiki/Business_model (дата обращ. 11.03.2019)
51. Википедия. System // Википедия, <https://en.wikipedia.org/wiki/System> (дата обращ. 11.03.2019)
52. Википедия. Systems theory // Википедия, [Электронный ресурс] – Режим доступа https://en.wikipedia.org/wiki/Systems_theory (дата обращ. 11.03.2019)
53. Википедия. Бизнес-модель // Википедия, [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бизнес-модель> (дата обращ. 11.03.2019)
54. Википедия. Системный подход // Википедия, [Электронный ресурс] – Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/Системный_подход (дата обращ. 11.03.2019)
55. Википедия: Клиент-сервер // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/Клиент_—_сервер (дата обращ. 11.03.2019)

56. Википедия: Трёхуровневая архитектура // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхуровневая_архитектура (дата обращ. 11.03.2019)

57. Волович К.И., Денисов С.А., Кондрашев В.А., Сучков А.П. Методология создания веб-сервисного информационного взаимодействия в системе распределенных ситуационных центров // Системы и средства информатики. 2016. Т.26. №4. С. 51-59.

58. Волович К.И., Горшенин А.К., Зацаринный А.А., Кондрашев В.А. Система управления научными сервисами как базовый сервис цифровой платформы для научных исследований// В сборнике материалов III научно-практической конференции «Проблемы управления научными исследованиями и разработками – 2017». 26 октября 2017 г. М.: ИПУ РАН: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского». С.53-64.

59. Волович К.И., Зацаринный А.А., Кондрашев В.А., Шабанов А.П. О некоторых подходах к представлению научных исследований как облачного сервиса // Системы и средства информатики. 2017. Т.27. №1. С.73-84.

60. Волович К.И., Денисов С.А., Кондрашев В.А. Об интуиции в цифровой платформе научных исследований // В сборнике материалов XXIV международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». 17-19 апреля 2018 г. Воронеж. Т.1. С.164-171.

61. Гайсарян С.С., Самоваров О.И. Архитектура и особенности реализации платформы UniHUB в модели облачных вычислений на базе открытого пакета OpenStack // Труды Института системного программирования РАН. 2014. Т.26. №1. С. 403-420.

62. Глушков В. М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. // М., «Статистика». 1975. 160 с. с ил. (серия «Методы оптимальных решений»)

63. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики // 1-е издание в 1982г., Изд-е 2-е, исправленное - М.: Наука. Гл.ред физ.-мат. лит. 1987. - 552 с.

64. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств
65. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем
66. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения. Модели качества систем и программных продуктов
67. Денисов С.А., Ионенков Ю.С., Кондрашев В.А. Об использовании сети общего пользования в корпоративной мультисервисной телекоммуникационной сети связи // Системы и средства информатики. 2011. Т.21. № 2. С. 51-64.
68. Дивеев А.И., Коньрбаев Н.Б. Синтез системы управления группой квадрокоптеров методом символьной регрессии // Системный анализ, управление и навигация. 2018. С. 134-137.
69. Захаров В.Н. Виртуализация как информационная технология // Системы и средства информатики. 2006. Т.16. №3. С. 279-298.
70. Захаров В.Н., Калиниченко Л.А., Соколов И.А., Ступников С.А. Конструирование канонических информационных моделей для интегрированных информационных систем // Информатика и ее применения. 2007. Т. 1. № 2. С. 15-38.
71. Захаров В.Н., Мунерман В.И. Модели и методы параллельной обработки структурированных больших данных // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2014. № 10. С. 534-547.
72. Захаров В.Н., Хорошилов А.А., Хорошилов А.А. Автоматическое построение синтаксических моделей языка для систем обработки текстовой информации // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 4. С. 4-9.
73. Зацаринный А. А., Гаврилов В. Е. Некоторые системотехнические и нормативно-методические вопросы обеспечения защиты информации в автоматизированных информационных системах на облачных технологиях с использованием методов искусственного интеллекта // Системы и средства информатики. 2016. Т.26. №4. С. 38-50.

74. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Шабанов А. П. Об информационной поддержке деятельности в системах управления критическими технологиями на основе ситуационных центров // Системы управления, связи и безопасности. 2015. №4. С. 98-113. [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/05-Zatsarinnyu.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)
75. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров // М.: ТОРУС ПРЕСС. 2015. 232 с.
76. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С., Козлов С.В. Некоторые вопросы проектирования информационно-телекоммуникационных систем // М: ИПИ РАН. 2010. 218 с. ISBN 978-5-902030-85-0
77. Зацаринный А.А. Проблемные вопросы создания информационно-аналитических систем и эффективного их применения // М.: Информационные войны. 2017. №1(41). С. 25-32.
78. Зацаринный А.А. Информационные технологии в цифровой экономике // М.: Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. 2018. №1(1). С. 29-35.
79. Зацаринный А.А., Киселев Э.В., Козлов С.В., Колин К.К. Информационное пространство цифровой экономики России: Концептуальные основы и проблемы формирования // Москва, Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук. 2018. 236 с.
80. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С., Кондрашев В.А. Об одном подходе к выбору системотехнических решений построения информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики. 2006. Т.16. №1. С.65-71.
81. 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. № 2(14). 2017. С.103-114.

82. Зацаринный А.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Методологические вопросы управления научными сервисами научных и образовательных организаций Российской Федерации// В сборнике материалов XXIII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». 18-20 апреля 2017 г. Воронеж. Т.1. С.7-14.
83. Зацаринный А.А., Горшенин А.К., Волович К.И., Кондрашев В.А. Основные направления развития информационных технологий в условиях вызовов цифровой экономики // М.: Цифровая обработка сигналов. 2018. № 1. С. 3-7.
84. Зацаринный А.А., Кондрашев В.А., Сучков А.П. Система научных сервисов как актуальный компонент научных исследований // Системы и средства информатики. 2019. Т.30. № 1.
85. Илюшин Г.Я., Соколов И.А. Организация управляемого доступа пользователей к разнородным ведомственным информационным ресурсам // Информатика и ее применения. 2010. Т. 4. № 1. С. 24-40.
86. Калиниченко Л.А. Синтез канонических моделей, предназначенных для достижения семантической интероперабельности неоднородных источников информации // Системы и средства информатики. 2005. Т. 15. № 3. С. 11-39.
87. Калиниченко Л.А. Эффективная поддержка баз данных с онтологическими зависимостями: реляционные языки вместо дескриптивных логик // Программирование. 2012. Т. 38. № 6. С. 45-62.
88. Калиниченко Л.А., Вольнова А.А., Гордов Е.П., Киселева Н.Н., Ковалева Д.А., Малков О.Ю., Окладников И.Г., Подколотный Н.Л., Позаненко А.С., Пономарева Н.В., Ступников С.А., Фазлиев А.З. Проблемы доступа к данным в исследованиях с интенсивным использованием данных в России // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10. № 1. С. 2-22.
89. Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных // XVIII Международная конференция DAMDID/RCDL'2016: труды конференции // Под ред. Л. А. Калиниченко, Я. Манолопулоса, С. О. Кузнецова // М.: ФИЦ ИУ РАН. 2016. 428с.

90. Кондрашев В. А. Системотехнические вопросы формирования требований к техническим комплексам ситуационных центров // Сборник трудов Китайско-российского форума инженерных технологий. Ханчжоу, провинция Чженцзян, КНР. 2015. С. 92–99.
91. Кондрашев В.А., Волович К.И. Управление сервисами цифровой платформы на примере услуги высокопроизводительных вычислений // В сборнике: Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях материалы Международной научной конференции. Воронежский государственный университет. Воронеж. 03-06 сентября 2018 г. С. 217-223.
92. Кондрашев В.А. Архитектура системы предоставления сервисов цифровой платформы для научных исследований // Системы и средства информатики. 2018. Т.28. №3. С.131-140.
93. Кулагин М.В., Серебряков В.А. Информационное пространство РАН (Проекты и реализация, 1998-2013) // Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2016, С. 194-222, doi:10.20948/abrau-2016-40 [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://keldysh.ru/abrau/2016/40.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)
94. Куприяновский В.П., Аленьков В.В., Соколов И.А., Зажигалкин А.В., Климов А.А., Степаненко А.В., Синягов С.А., Намиот Д.Е. Умная инфраструктура, физические и информационные активы, SMART CITIES, BIM, GIS и IOT // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. № 10. с. 55-86.
95. Мизин И. А., Уринсон Л. С., Храмешин Г. К. Основы теории информационных систем: учебное пособие [в 3 ч.] // М.: М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, Моск. ин-т радиотехники, электроники и автоматики. 1971
96. Мизин И. А. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений // М.: Связь. 1972. 319 с.

97. Моисеев Н. Н. Методы информатики в управлении народным хозяйством: Учеб. пособ. // М.: АНХ СССР. 1988. 118 с.
98. Моисеев Н.Н. Избранные труды в 2-х томах. Т.1. Гидродинамика и механика. Оптимизация, исследование операций и теория управления. // М.: Тайдекс Ко. 2003. 376 с. ISBN 5-94702-016-5
99. Малые ЭВМ и их применение // под общ. ред. Б.Н. Наумова - М.:Статистика. 1980. 231 с.
100. Б.Н. Наумов, Э.Я. Кеслер, Н.А. Левин Алгоритмы оптимизации и автоматизации проектирования АСУ // М. : Энергоатомиздат. 1983. 157 с.
101. ЭВМ массового применения //Отв. ред. Б.Н. Наумов. - М. : Наука. 1987. 271 с.
102. Сэм Ньюмен Создание микросервисов // Питер. 2016. 304 с. ISBN: 978-5-496-02011-4
103. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами // М.: Наука. 1997.
104. Осипов Г.С., Девяткин Д.А., Кузнецова Ю.М., Швецов А.В. Возможности интеллектуального анализа научных текстов на основе построения их когнитивных моделей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 1. С. 41-53.
105. Александр Остервальдер, Ив Пинье Построение бизнес-моделей: Настольная книга стратега и новатора // М.: Альпина Паблишер. 2012. 288 с. ISBN 978-5-9614-1844-6.
106. Цифровая экономика Российской Федерации // Распоряжение от 28.07.2017 г. № 1632-р, [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

107. О требованиях к центрам коллективного пользования научным оборудованием и уникальным научным установкам, которые созданы и (или) функционирование которых обеспечивается с привлечением бюджетных средств, и правила их функционирования // Постановление Правительства Российской Федерации от 17 мая 2016 года № 429 [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://static.government.ru/media/files/aDw4bJUijs3lICBjRAsM8ln0OreGIyQl.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

108. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг. // Указ Президента РФ от 9.05.2017 №203, [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

109. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации // Указ Президента РФ от 01.12.2016 №642, [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

110. Послание Президента Федеральному Собранию // декабрь, 2016, [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://kremlin.ru/events/president/news/53379> (дата обращ. 11.03.2019)

111. Паспорт национального проекта «Наука» // Утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 3 сентября 2018 г. №10) [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.econom22.ru/pnp/natsionalnye-proekty-programmy/Наука.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

112. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. //М.: РИА «Стандарты и качество». 2008. 408 с. ISBN 978-5-94938-063-5

113. Сенаторов М.Ю., Беленков В.Г., Будзко В.И., Быстров И.И., Козлов А.Н., Кудряшов А.А., Курило А.П., Михайлов С.Ф., Нагибин С.Я., Шмид А.В. Катастрофоустойчивая территориально-распределенная система централизованной обработки банковской информации // Системы высокой доступности. 2011. Т. 7. № 3. С. 5-47.
114. Скворцов В.С., Алексейчук Н.Н., Мирошниченко Ю.В., Рыбина А.В. PIPREDICT ВЕРСИЯ 2: Новые возможности и работа с PTM // Biomedical Chemistry: Research and Methods. 2018. Т. 1. № 2. DOI: 10.18097/bmcrm00009
115. Соколов И.А., Шоргин С.Я. Математические методы исследования сложных информационных и телекоммуникационных систем // История науки и техники. 2008. № 7. С. 13-17.
116. Сучков А.П. Некоторые подходы к интеграции аналитических данных существующих и перспективных систем поддержки принятия решений // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25. № 3. С. 195-205.
117. Сучков А.П. Полнофункциональный процессный подход к реализации систем ситуационного управления // Системы и средства информатики. 2017. Т. 27. №1. С. 85-99.
118. Сучков А.П. Анализ процессов межведомственного информационного взаимодействия // Системы и средства информатики. 2018. Т.28. №3. С. 118-130.
119. Ушаков Е.В. Введение в философию и методологию науки // М.: «Экзамен». 2005. 528 с.
120. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс». 2006. — 544 с. ISBN 5-8459-0579-6
121. ФИЦ ИУ РАН. Отчет о научно-исследовательской работе «Сервис-У». Исследование вопросов управления результатами научно-исследовательской деятельности организаций, подведомственных ФАНО России, и научными сервисами сети ЦКП ФАНО. 2016. Инв. 991 от 2.02.2017. 4 части, ч.1 – 270 с., ч.2 – 210 с., ч.3 – 139 с., ч.4 – 29 с.
122. Цветков В.Я. Основы теории предпочтений. - М.: Макс Пресс. 2004. 48 с.

123. Цифровые платформы: подходы к определению и типизации // АНО «Цифровая экономика». 2018. [Электронный ресурс] – http://files.data-economy.ru/digital_platforms_project.pdf (дата обращ. 11.03.2019)

124. Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации: центры коллективного пользования научным оборудованием и уникальные научные установки // [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ckp-rf.ru/> (дата обращ. 11.03.2019)

125. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо. 2016. – 208 с.

126. Ларс Швайцер Концепция и эволюция бизнес-моделей // ЭКОВЕСТ. 2007. Т. 6. вып. 2. С. 146–168. [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.research.by/webroot/delivery/files/2007n2r01.pdf> (дата обращ. 11.03.2019)

127. Шокин Ю. И., Федотов А. М., Жижимов О. Л., Федотова О. А. Эволюция информационных систем: от Webсайтов до систем управления информационными ресурсами // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2015. Т. 13. вып. 1. С. 117–134.

128. Щенников А.Н. Качество информационных систем // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1 (5). С. 53-62.