

УДК 004.77, 621.039.6

DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.011

Реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента в области управляемого термоядерного синтеза

Ежова Злата Владиславовна, Семенов Олег Игоревич, Миронова Екатерина Юрьевна, Портоне Сергей Сергеевич

Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»
«Проектный центр ИТЭР», Россия, Москва, z.ezhova@iterrf.ru

Аннотация. В статье рассмотрен реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента в области управляемого термоядерного синтеза на базе аппаратно-инфраструктурной платформы информационно-коммуникационного пространства FusionSpace. Выполнено моделирование бизнес-процессов работы с научными данными участников научных экспериментальных исследований в области термоядерной энергетики на микро- и макроуровне AS IS, целевого состояния TO BE. На основе выявленных в результате моделирования особенностей сформулированы требования к разработке программного обеспечения анализа и отображения экспериментальных данных, информационного взаимодействия между узлами прототипа платформы. Статья представляет интерес для специалистов, занимающихся исследованием бизнес-процессов в рамках разработки программного обеспечения и реинжинирингом бизнес-процессов, а также для физиков, участвующих в территориально-распределённых исследованиях.

Ключевые слова: реинжиниринг бизнес-процессов, цифровизация, технологии удалённого участия, разработка программного обеспечения

Цитирование: Ежова З.В. Реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента в области управляемого термоядерного синтеза / З.В. Ежова, О.И. Семенов, Е.Ю. Миронова, С.С. Портоне // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2024. – № 1(33). – С. 122-132. – DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.011.

Введение. Человечество находится в поиске чистого и мощного источника энергии. Предпосылками поиска такого ресурса является предполагаемая исчерпаемость мировых топливных ресурсов (а именно газа и нефти) во второй половине XXI века [1], вопросы экологичности и безопасности, необходимость использования электроэнергии в труднодоступных районах.

Управляемый термоядерный синтез (УТС) – это управляемый процесс синтеза легких ядер в более тяжелые с целью получения энергии. В силу энергетической эффективности для УТС открыты перспективы энергетики будущего. Основные достоинства УТС – это отсутствие ограничений по топливу, экологическая, радиационная безопасность и безопасность относительно террористических угроз [2].

В настоящее время в России активно ведутся исследования в области УТС [3] (в качестве примера можно привести крупнейшую международную термоядерную установку ИТЭР, токамаки JET, DIII-D, KSTAR, EAST, в России – Т15-МД, Глобус-М2 и прочие). В большинстве случаев исследования по данной тематике требуют организации совместной работы между различными научно-исследовательскими центрами в силу наукоемкости и трудоёмкости задач, стоящих перед исследователями. Технологической базой для проведения таких работ должны служить системы дистанционного участия в экспериментах.

Системы дистанционного участия в экспериментах представляют собой совокупность программно-аппаратного обеспечения и подходов к организации удалённого эксперимента на его основе. Проведение территориально-распределённых исследований на основе технологий дистанционного участия имеет ряд преимуществ в сравнении с очным способом ведения совместной научно-исследовательской деятельности:

- возможность удалённого участия в эксперименте и доступа к его результатам из любой точки мира;
- возможность привлечения гораздо большего числа экспертов;

- дистанционная подготовка научных кадров на физических установках или их цифровых двойниках;
- сокращение финансовых, административных и временных издержек на организацию эксперимента и др.

Разработка систем дистанционного участия в экспериментах осложнена, с одной стороны, необходимостью интеграции бизнес-процессов проведения физического эксперимента для участия различных предприятий – пользователей системы, с другой стороны, необходимостью унификации входной и выходной информации.

В настоящей работе выполнен анализ бизнес-процессов проведения физического эксперимента AS IS в российских научных центрах, занимающихся исследованием УТС, проведено моделирование целевого бизнес-процесса TO BE, сформулированы требования к программному обеспечению, обеспечивающему реинжиниринг процессов. Технологической базой для исследуемых изменений служит аппаратно-инфраструктурная платформа (АИП) информационно-коммуникационного пространства (ИКП) в области УТС (АИП ИКП, или FusionSpace [4]) – территориально-распределённая научно-исследовательская инфраструктура для организации единого информационного пространства термоядерных исследований в России.

1. АИП ИКП как технологическая база реинжиниринга бизнес-процесса проведения физического эксперимента в области УТС. АИП ИКП предназначена для планирования и участия в дистанционных экспериментах, информационного взаимодействия, централизованного хранения экспериментальных, проектных и прочих данных и инструментария работы с ними в рамках экспериментальных программ в области УТС [5].

АИП ИКП – это централизованная система, имеющая следующие типовые узлы:

- Центральный узел, представляющий собой расчетно-вычислительную инфраструктуру на базе конвергентного и гиперконвергентного кластеров с системой хранения. Центральный узел обеспечивает как функционирование АИП ИКП в целом, так и работоспособность отдельных сервисов. Информационная безопасность АИП ИКП обеспечена средствами криптографической защиты информации.
- Совместные лаборатории, которые создаются вокруг источника научных данных (установки или стенда) для получения разрешенных научных данных. Совместные лаборатории включают специализированные рабочие места для использования сервисов АИП ИКП, а также транзитный сервер для передачи разрешенных данных от источника в АИП ИКП.
- Центры дистанционного участия, используемые для предоставления совместного доступа к данным АИП ИКП средствами коллективного пользования (видеостена и средства видеоконференцсвязи). Центры дистанционного участия также оборудованы специализированными рабочими местами для индивидуальных профильных участников эксперимента.

Программная часть АИП ИКП представляет собой совокупность инфраструктурного программного обеспечения (ПО) и ПО, обеспечивающего функциональность платформы, а именно портала информационного обмена FusionSpace.ru, являющегося интерфейсом доступа к сервисам АИП ИКП, ПО анализа и отображения экспериментальных данных и ПО информационного взаимодействия между узлами прототипа АИП ИКП, средствами ВКС-связи.

Первые результаты проекта по разработке и созданию АИП ИКП были получены в 2021 году. На первом этапе работ были апробированы выбранные технические решения в рамках тестовой площадки, представляющей собой набор связанных типовых узлов. Далее на базе

опытного образца центрального узла системы было развернуто инфраструктурное ПО и выполнена автоматизация ряда процессов работы с данными, а именно: обеспечены безопасная межузловая передача данных, их хранение и доступ к ним.

В настоящее время АИП ИКП объединяет предприятия Государственной корпорации «Росатом», институты Российской академии наук, занимающиеся исследованиями физики плазмы, а также ВУЗы, имеющие профильные образовательные программы. На этапе 2023 года важной задачей стала разработка ПО анализа и отображения экспериментальных данных и ПО информационного взаимодействия между узлами прототипа АИП ИКП для комплексной работы с научными данными. В 2024 году будет разработан и создан полнофункциональный опытный образец АИП ИКП, который по результатам испытаний планируется ввести в опытную эксплуатацию.

Основные задачи разработки и создания АИП ИКП по этапам работ представлены на рисунке 1.

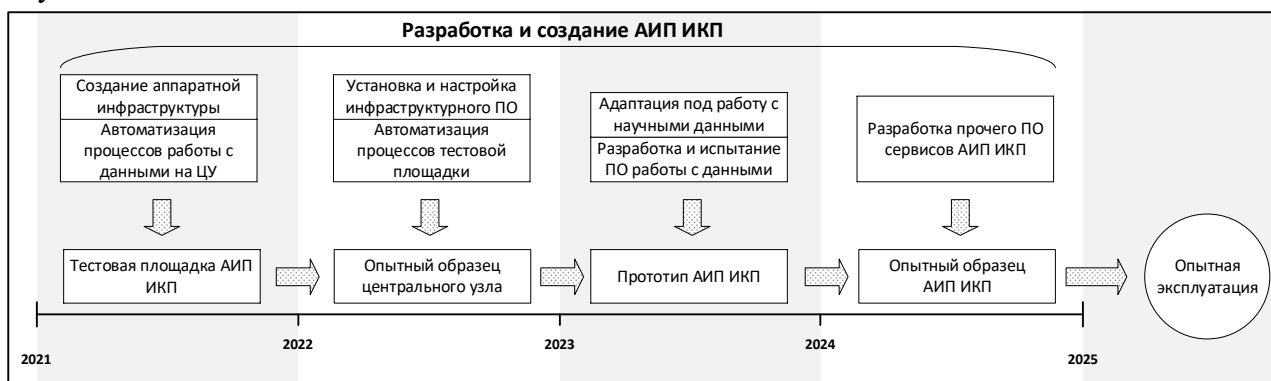


Рис. 1. Основные задачи разработки и создания АИП ИКП

Для обеспечения разработки ПО на текущем этапе работ выполнено моделирование реинжиниринга бизнес-процесса проведения физического эксперимента на основе АИП ИКП.

2. Реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента на основе АИП ИКП. В рамках разработки ПО анализа и отображения и ПО информационного взаимодействия между узлами возникла необходимость в моделировании изменений в бизнес-процессе проведения физического эксперимента в области УТС. Предварительное моделирование позволяет повысить управляемость и целостность изменений, оптимизировать выстраиваемые с помощью разрабатываемого ПО процессы.

Для достижения этих целей были предприняты следующие шаги:

Шаг 1. Моделирование бизнес-процессов участников проекта AS IS на макро- и микроуровне.

Шаг 2. Моделирование целевого состояния TO BE.

Шаг 3. Выявление особенностей функционирования ПО, обеспечивающего реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента.

Для моделирования бизнес-процессов выбран унифицированный язык моделирования UML [6]. UML используется для визуализации, проектирования, документирования программных продуктов, их элементов, организационных структур, бизнес-процессов. В контексте данной работы важными преимуществами выбранного языка моделирования являются применимость для объектно-ориентированного анализа и проектирования. В качестве среды моделирования выбрано ПО Enterprise Architect – инструмент моделирования полного жизненного цикла на основе UML [7].

2.1. Шаг 1. На шаге 1 были проведены: моделирование бизнес-процесса проведения физического эксперимента AS IS на макроуровне, моделирование бизнес-процессов обработки и

визуализации данных AS IS для каждого участника проекта на микроуровне. Если на микроуровне бизнес-процессы работы с данными каждого участника принципиально отличаются от других смоделированных процессов, то на макроуровне процесс проведения физического эксперимента содержит одни и те же типовые шаги: после организации эксперимента и получения данных от установки или стенда происходит обработка и визуализация данных с использованием ПО собственной разработки и (или) готовых программных решений. Запись об эксперименте заносится в журнал по прошествии эксперимента и может корректироваться после работы с данными (рисунок 2).

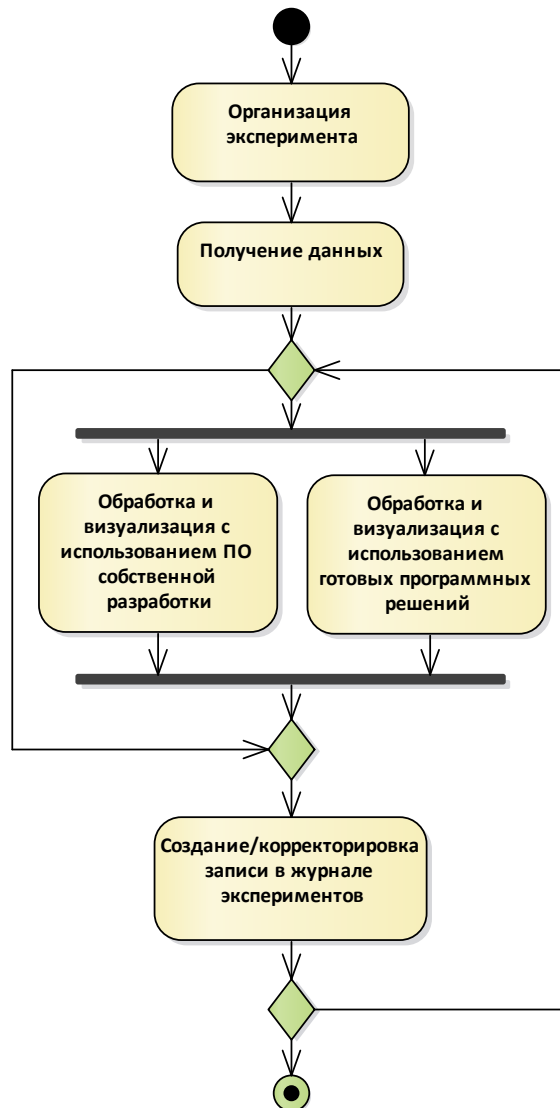


Рис. 2. Макроуровень процесса проведения физического эксперимента AS IS

В целях выявления исходной информации для разработки ПО, а именно определения алгоритмов работы (обработки и визуализации) с полученными в результате экспериментов данными проведено моделирование бизнес-процессов работы с данными участников проекта на микроуровне. Для создания моделей определены субъекты процесса, их действия, входная и выходная информация, необходимая для совершения действия,

Для того, чтобы проиллюстрировать основные выводы, полученные в результате исследования процессов, далее приведены Диаграммы активности (Activity Diagram) бизнес-процессов работы с результатами экспериментов некоторых участников проекта (рисунки 3-5).

Участник проекта №1 хранит данные, полученные в результате эксперимента, в единой базе данных. Исторический объём такой базы может достигать нескольких Тб информации. Обработка исходных научных данных в бинарном формате первоначально производится в ПО собственной разработки. В случае необходимости дополнительной обработки используются уникальные пользовательские коды, первичными данными для которых являются данные ПО собственной разработки. Записи об импульсах и их результатах хранятся в бумажном журнале, информация из которого частично доступна в электронном виде (рисунок 3).

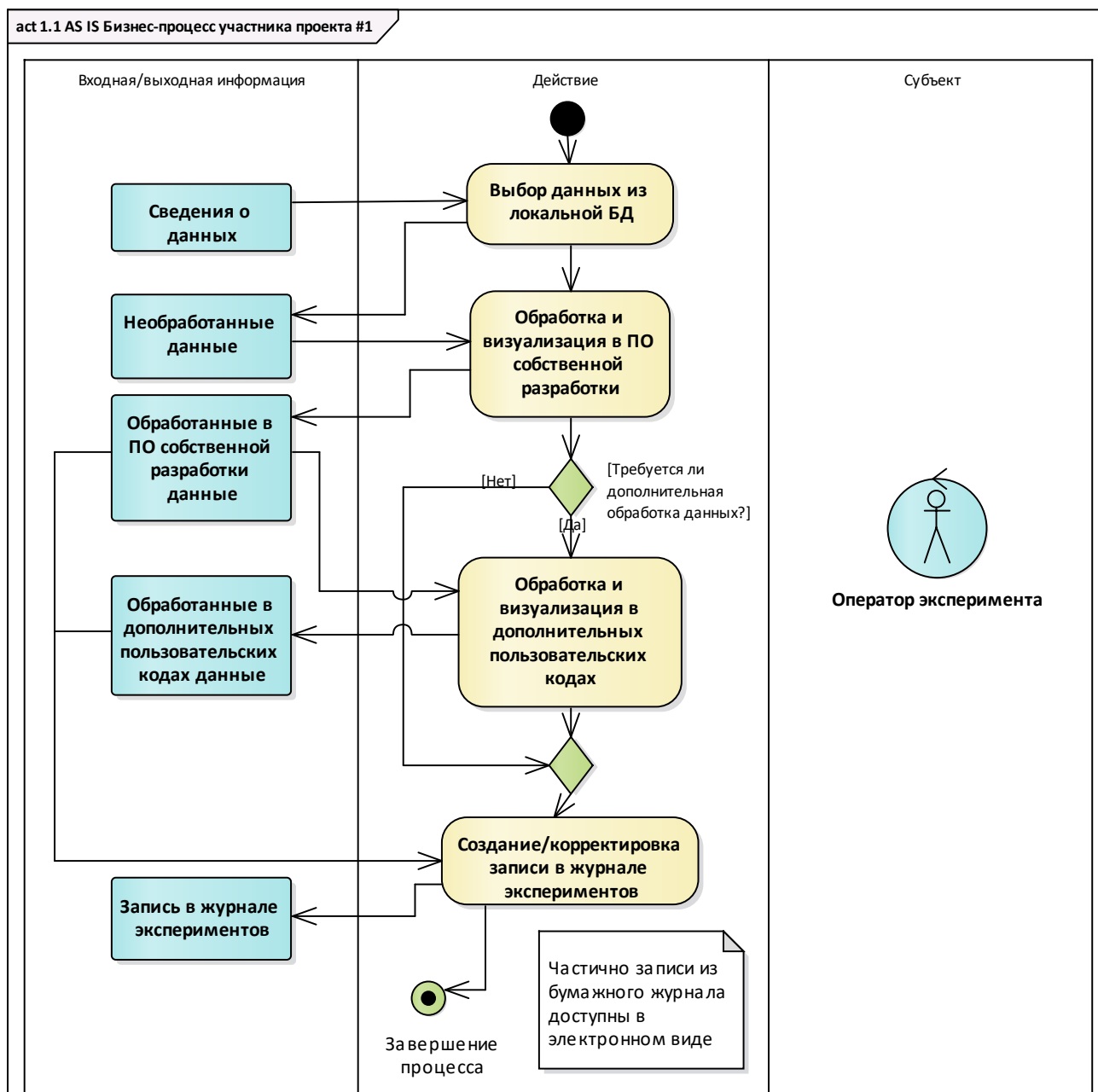


Рис. 3. Бизнес-процесс участника проекта №1

Участник проекта №2 может получить доступ к базе данных экспериментов через специализированное ПО, использующееся для работы с данными установки. Объём базы данных достигает нескольких Тб информации. Данные хранятся преимущественно как flat-file (плоские файлы). При такой системе хранение организовано в виде таблицы, где каждая строка представляет собой одну запись, а столбцы – атрибуты данных [8].

Типовые преобразования (например, Фурье), вычисления по формулам при помощи арифметических и некоторых специальных операторов проводятся в программе визуализации собственной разработки. Обработка научных данных также может проводиться в дополнительных пользовательских кодах. Имеется рукописный журнал, где хранятся основные сведения об импульсах. Частично эта информация доступна и в программе визуализации собственной разработки. В данном ПО оператор экспериментатора оставляет технические комментарии и фиксирует основные параметры эксперимента (рисунок 4).

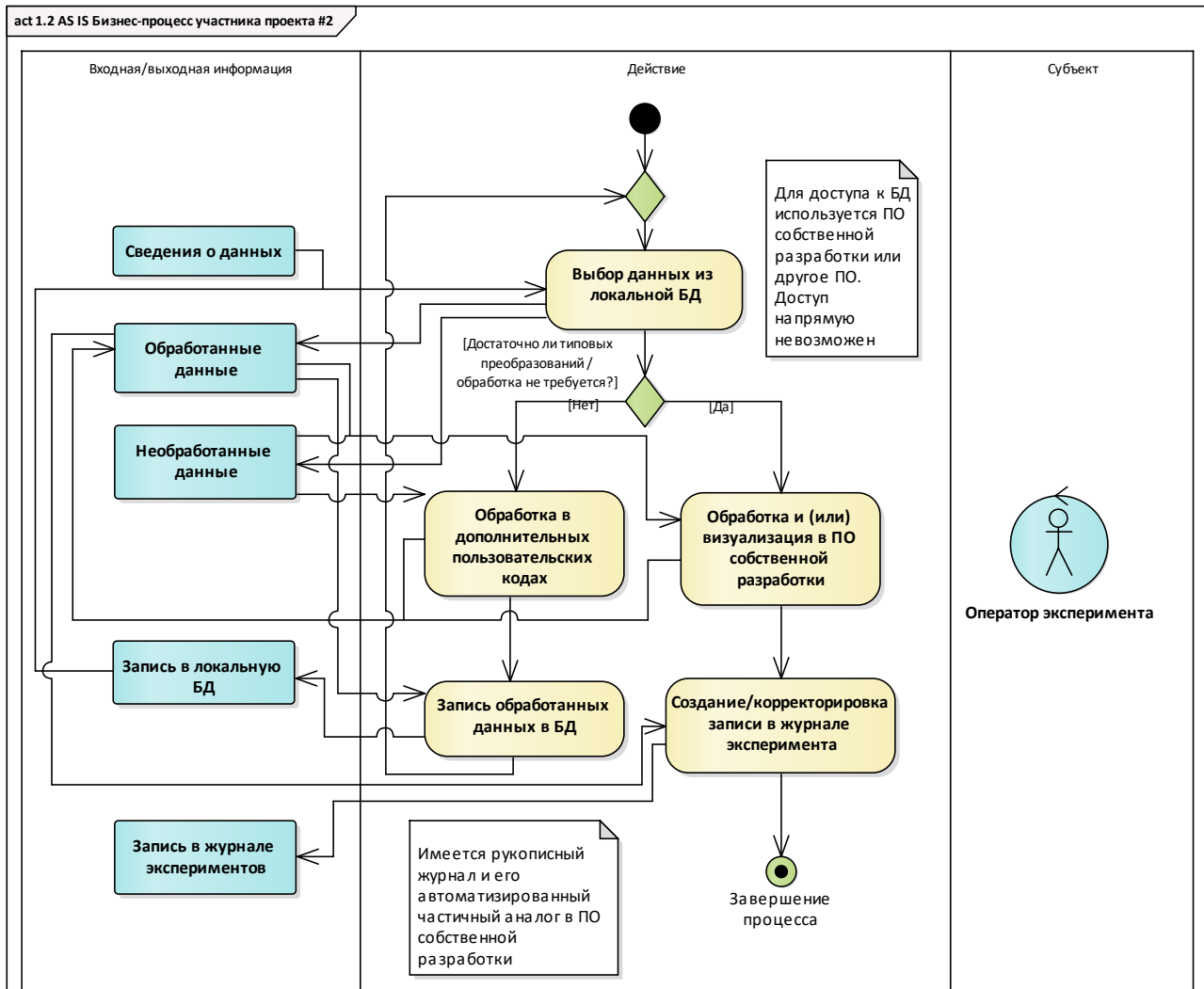


Рис. 4. Бизнес-процесс участника проекта №2

Участник проекта №3 имеет разнообразный программный инструментарий для обработки данных в зависимости от их типа, а также несколько режимов работы клиента обработки и предоставления данных: автоматический и ручной. Автоматический клиент автономно обновляет графики, наглядно иллюстрирующие полученные результаты, на мониторах рабочих мест лаборатории после каждого пуска установки. Ручной режим подразумевает самостоятельный выбор экспериментальных данных и ПО для их обработки. Имеется бумажный журнал экспериментов, который дополняется БД Microsoft Access (рисунок 5).

На шаге 1 были дополнительно построены ещё несколько моделей бизнес-процессов участников проекта, также значительно отличающихся друг от друга.

По итогу моделирования бизнес-процессов работы с данными участников проекта сделаны следующие выводы:

- так как физические установки и стенды участников проекта уникальны, уникальны и форматы данных, генерируемые в результате экспериментов;

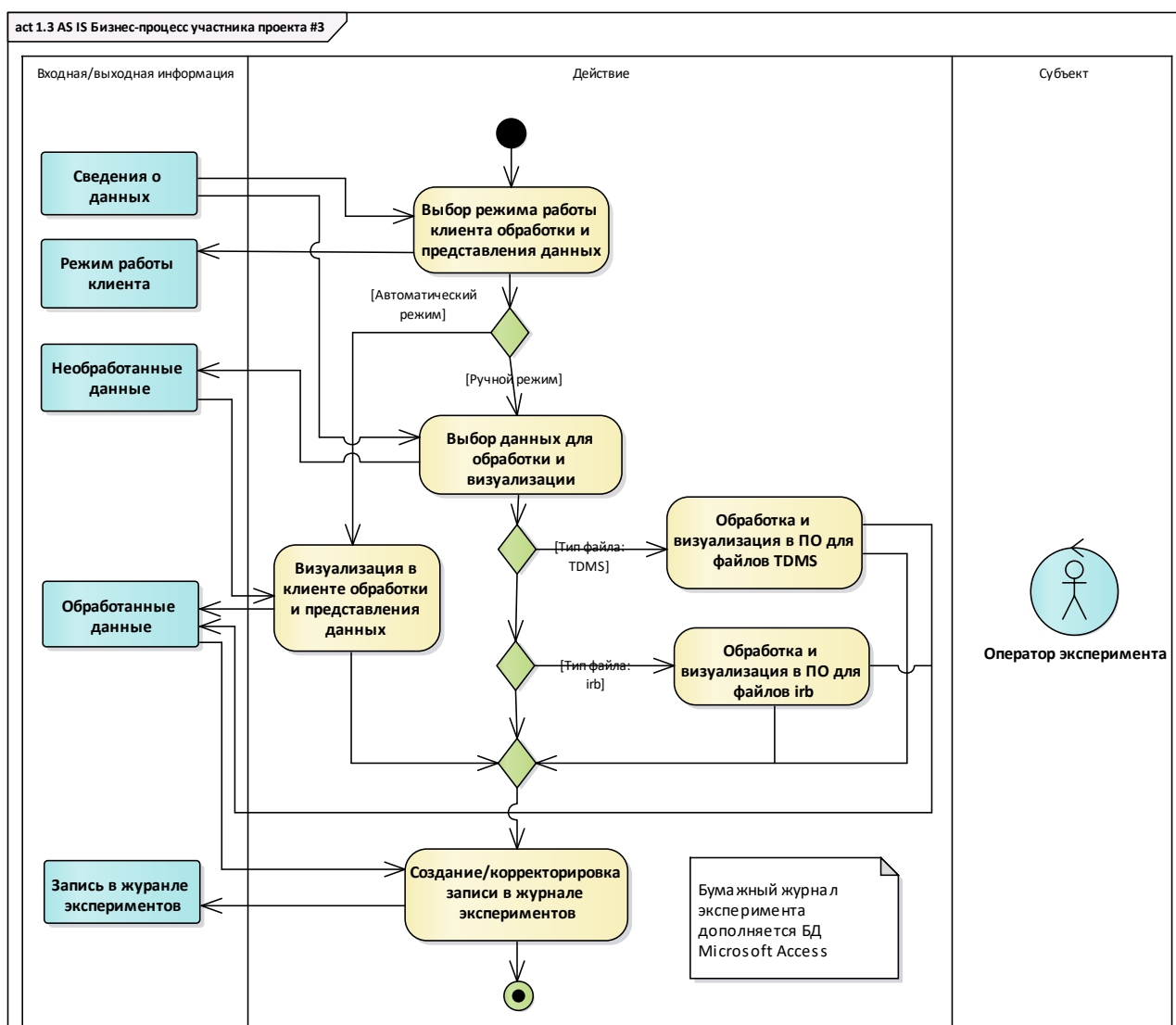


Рис. 5. Бизнес-процесс участника проекта №3

- участники процесса используют ряд узкоспециализированного ПО, пригодного для работы лишь с конкретным типом файлов/выполнения определённых операций, или самописные коды, что усложняет совместную работу между участниками проекта;
- участники проекта имеют особые процедуры обработки и визуализации экспериментальных данных, что также усложняет совместную работу;
- для обработки экспериментальных данных может использоваться иностранное ПО, что не соответствует требованиям импортозамещения;
- каждый участник имеет рукописный журнал, который содержит уникальную информацию о проведенных экспериментах, что делает невозможным доступ для удалённых участников к ряду важной для анализа результатов экспериментов информации.

2.2. Шаг 2. Задача второго шага – определение места разрабатываемого ПО в процессе проведения физического эксперимента в области УТС на макроуровне с учётом выявленных особенностей для каждого участника проекта путём моделирования процесса ТО ВЕ по итогу внедрения разрабатываемого ПО. В силу уникальности бизнес-процессов на микроуровне целью реинжиниринга становится обеспечение возможности параллельной оптимизированной работы с централизованными данными термоядерных исследований. Параллельность в данном случае означает сохранение алгоритма работы с локальными экспериментальными дан-

ными в привычном порядке, то есть внедрение разрабатываемого ПО не должно изменить рабочие процессы на установке. Оптимизация подразумевает ряд существенных улучшений бизнес-процесса, достигаемых в силу:

1. Сокращения количества используемого участниками проекта ПО за счёт создания ПО АИП ИКП, реализующего весь необходимый функционал и отвечающий научным задачам участников проекта.
2. Использование унифицированного формата данных АИП ИКП, доступного для обработки в ПО АИП ИКП.
3. Внедрения единого, понятного участникам проекта процесса совместной работы с централизованными научными данными.

Целевое состояние процесса ТО ВЕ после внедрения разрабатываемого ПО представлено на рисунке 6.

2.3 Шаг 3. Для достижения целевого состояния ТО ВЕ необходимо разработать и внедрить ПО, обеспечивающее реинжиниринг процесса проведения физического эксперимента на основе АИП ИКП, а именно ПО информационного взаимодействия между узлами прототипа АИП ИКП и ПО анализа и отображения экспериментальных данных.

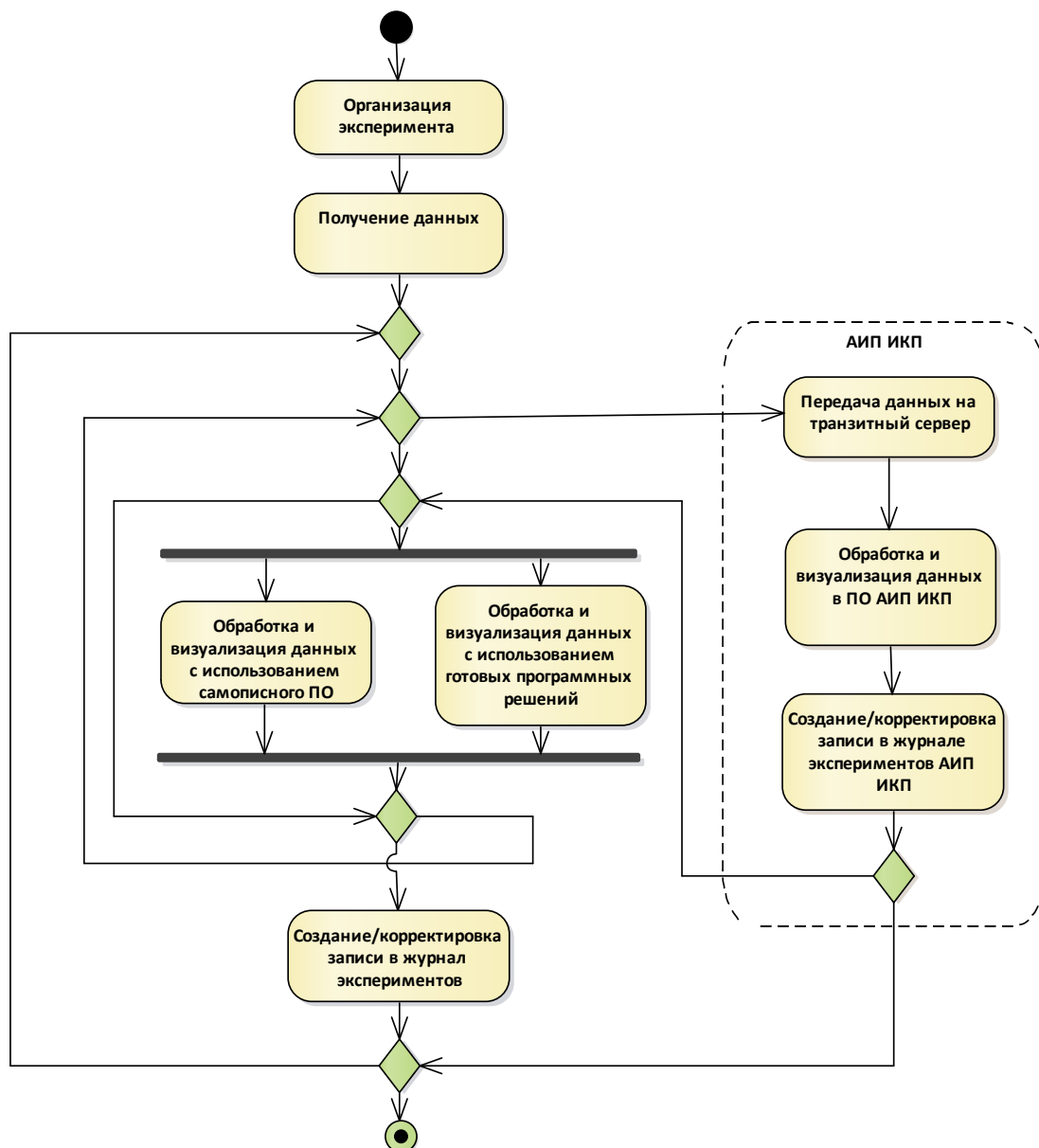


Рис. 6. Макроуровень процесса ТО ВЕ

Основной задачей ПО информационного взаимодействия между узлами является обеспечение возможности сбора, обработки, загрузки и хранения экспериментальных данных в центральном узле АИП ИКП для последующего их использования участниками проекта. Для этого экстракторы (специализированное ПО для получения данных) на транзитном сервере совместной лаборатории АИП ИКП должны осуществлять извлечение данных от источника (установки или стенда). Далее на сервере запускается процесс подготовки данных к переводу в унифицированные структуры, которые переносятся в центральный узел для дальнейшего хранения.

В качестве унифицированного формата данных АИП ИКП выбраны форматы HDF5/Parquet [9]. Файлы HDF5 имеют иерархическую структуру, Parquet имеет колоночно-ориентированное представление. HDF5/Parquet ориентированы под работу с файлами большого объёма, имеющими внутреннюю структуру, а также доступен пользователям, работающим с использованием Python, Matlab и других средств математической обработки, что соответствует задачам АИП ИКП. Пользователями в данном случае считаются верифицированные сотрудники организаций-участниц проекта, имеющие доступ к описываемым сервисам.

Экспериментальные данные, подготовленные и размещённые в централизованном хранилище, должны стать доступными для ПО анализа и отображения соответственно ролевой модели и разграничению прав доступа пользователей ПО. Пользователи должны иметь возможность осуществления ручного поиска экспериментальных данных или поиска с использованием фильтров, например, поиска данных за определённый период, данных конкретной установки или стенда, поиска по диагностике и так далее.

Найденный массив данных размещается на панели визуализации, при этом задаются необходимые для анализа результатов эксперимента параметры отображения и вычислительные сценарии. Возможно использование встроенных математических операторов или их создание с использованием интерактивной среды разработки на базе языка программирования Python внутри ПО анализа и отображения. Полученные результаты подлежат сохранению и могут быть доступны другим пользователям при наличии соответствующих прав, или могут быть экспортированы на локальное рабочее место.

Таким образом, комплекс разрабатываемого в целях реинжиниринга ПО должен иметь функциональность, не менее привычную пользователям, обеспечивать работу с разнородными данными УТС установок и стендов в единой среде с возможностью применения сторонних средств обработки данных, в результате будет достигнуто соответствие описанным ранее принципам параллельности и оптимизации.

Заключение. Современные тренды проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) предполагают высокий уровень цифровизации и интеграции рабочих процессов. В настоящей работе исследован реинжиниринг бизнес-процесса проведения физического эксперимента на базе разрабатываемого ПО единого информационного пространства УТС исследований – АИП ИКП (FusionSpace). Реинжиниринг бизнес-процесса направлен на создание удобного, унифицированного инструментария для совместной работы с экспериментальными данными, отвечающего актуальным задачам УТС исследований на российских стендах и установках.

Преимущество разработанной модели реинжиниринга состоит в возможности оптимизации совместных рабочих процессов за счёт сокращения количества используемого ПО (в т.ч. иностранного, что особенно важно в условиях импортозамещения), использования адаптированного хранения и унифицированного формата экспорта данных HDF5/Parquet, пригодного для работы с данными любой подключенной к платформе установки/стенда, создания единой

информационно-коммуникационной научной среды, предполагающей единообразный порядок работы с экспериментальными данными, гибкости и адаптивности к подключению новых научных установок и стендов.

Предлагаемый в рамках реинжиниринга подход не ограничивает участников проекта в реализации процесса AS IS, в то же время каждый участник АИП ИКП может воспользоваться предлагаемым инструментарием в степени, определяемой его возможностью загружать результаты экспериментов на централизованные защищенные ресурсы, а также правами доступа к данным, хранящимся на платформе. Полученные в ходе настоящей работы результаты использованы для разработки ПО АИП ИКП и дальнейшего развития единого информационного пространства отечественных УТС исследований.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного контракта с Госкорпорацией «Росатом» от 22.03.2023 №Н.4к.241.09.23.1036 «Разработка и создание аппаратно-инфраструктурной платформы информационно-коммуникационного пространства в области термоядерных исследований в Российской Федерации. Этап 2023 - 2024 годов».

Список источников

1. Алексеенко С.В. Перспективные технологии возобновляемой энергетики – URL: https://www.eriras.ru/files/alekseenko_sovet_vie_2018_presentation.pdf (дата обращения: 25.04.2023).
2. Ильгисонис В.И. Классические задачи физики горячей плазмы: курс лекций / В. И. Ильгисонис – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 326 с.
3. Гришина И.А. Основные тенденции и результаты в области физики плазмы в России (по материалам XVIII международной (звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС, март 2020 г.) / И. А. Гришина, В.А. Иванов // Физика плазмы, 2022. – Т. 48, вып. 1. – С. 79-94.
4. Портал информационного обмена в области управляемого термоядерного синтеза. – URL: <https://fusionspace.ru> (дата обращения 25.04.2023).
5. Портоне С.С. Развитие аппаратно-инфраструктурной платформы информационно-коммуникационного пространства как инструмента интеграции исследований в области УТС / С.С. Портоне, Миронова Е.Ю., Семенов О.И. и др. // ВАНТ. Серия Термоядерный синтез, 2022. – Т. 45, вып. 4. – С. 34-44.
6. Фаулер М., Скотт К. UML. Основы. – СПб: Символ-Плюс, 2002. – 192 с.
7. Sparx Systems: Enterprise Architect. – URL: <https://sparxsystems.com> (дата обращения: 25.04.2023).
8. IBM Business Automation Workflow. Available at: <https://www.ibm.com/docs/en/baw/23.x?topic=files-overview> (accessed: 25/04/2023).
9. Edgar Gabriel. Data Formats. HDF5 and Parquet files. Available at: http://cs.uh.edu/~gabriel/courses/cosc6339_f18/BDA_16_DataFormats.pdf (accessed: 04/25/2023).

Ежова Злата Владиславовна. Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», специалист сектора информационных систем ИТЭР (ИС ИТЭР), AuthorID: 1210524, SPIN: 2609-0332, Z.Ezhova@iterrf.ru.

Семенов Олег Игоревич. Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», начальник сектора аппаратно-инфраструктурных систем (АИС), AuthorID: 1210980, SPIN: 2927-9492, O.Semenov@iterrf.ru.

Миронова Екатерина Юрьевна. Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», старший научный сотрудник, сектор автоматизированных систем управления ИТЭР (АСУ ИТЭР), AuthorID: 1210527, SPIN: 9146-0089, E.Mironova@iterrf.ru.

Портоне Сергей Сергеевич. Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», начальник отдела систем управления ИТЭР (ОСУ ИТЭР), AuthorID: 1187370, SPIN: 9069-2696, S.Portone@iterrf.ru.

UDC 004.77, 621.039.6

DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.011

Business process reengineering in conducting a fusion experiment

Zlata V. Ezhova, Oleg I. Semenov, Ekaterina Y. Mironova, Sergey S. Portone

Institution “Project Center ITER”, a private institution of the State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, Russia, Moscow, z.ezhova@iterrf.ru

Abstract. The article considers business process reengineering in conducting a fusion experiment based on infrastructural hardware platform of the common IT space for fusion research (FusionSpace). The paper is concerned with modeling business processes of work with fusion experimental data of participants at the micro- and macro-level AS IS, modeling the target state TO BE. Based on the features identified as a result of modeling, the requirements for the development of software for the analysis and visualisation of experimental data, interaction between the nodes of the prototype platform are formulated. The article is of interest to specialists engaged in the study of business processes in the framework of software development and reengineering of business processes, as well as to physicists involved in geographically distributed research.

Keywords: business process reengineering, digitalization, remote participation technologies, software development

Acknowledgements: This work was performed in the frame of a contract with The State Atomic Corporation ROSATOM no. H.4k.241.09.23.1036 from 03/22/2023.

References

1. Alkseenko S.V. Perspektivnyye tekhnologii vozobnovlyayemoy energetiki [Promising renewable energy technologies], available at: https://www.eriras.ru/files/alkseenko_sovet_vie_2018_presentation.pdf (accessed: 04/25/2023).
2. Ilgisonis V.I. Klassicheskiye zadachi fiziki goryachego okhlazhdeniya: kurs lektsiy [Classical problems of hot cooling physics: a course of lectures]. Izdatel'skiy dom MEI [MPEI Publishing House], Moscow, 2015, 326 p.
3. Grishina I.A., Ivanov V.A. Osnovnyye tendentsii i rezul'taty v oblasti fiziki plazmy v Rossii (po materialam XVIII mezhdunarodnoy (zvenigorodskoy) konferentsii po fizike plazmy i UTS, mart 2020 g. [Main trends and results in the field of plasma physics in Russia (based on the materials of L Zvenigorod international conference on plasma physics and controlled fusion, march 2020)]. Fizika plazmy [Plasma Physics], Moscow, vol. 48, iss. 1, p. 79-94.
4. Portal informatsionnogo obmena v oblasti upravlyayemogo termoyadernogo sinteza [Information exchange portal in the field of controlled thermonuclear fusion]. Available at: <https://fusionspace.ru> (accessed: 04/25/2023).
5. Portone S.S., Mironova E.Yu., Semenov O.I. [et al.]. Razvitiye apparatno-infrastrukturnoy platformy informatsionno-kommunikatsionnogo prostranstva kak instrumenta integratsii issledovaniy v oblasti UTS [Infrastructural hardware platform of the common IT space for fusion research (FusionSpace.ru)]. VANT. Seriya Termoyadernyy sintez [VANT. Series Fusion], vol. 45, iss. 4, p. 34-44.
6. Fawler M., Scott K. UML. Osnovy [UML. Basics]. SPb: Simvol-Plyus [SPb: Symbol-Plus], 1997, 208 p.
7. Sparx Systems: Enterprise Architect. Available at: <https://sparxsystems.com> (accessed: 04/25/2023).
8. IBM Business Automation Workflow. Available at: <https://www.ibm.com/docs/en/baw/23.x?topic=files-overview> (accessed: 04/25/2023).
9. Edgar Gabriel. Data Formats. HDF5 and Parquet files, available at: http://cs.uh.edu/~gabriel/courses/cosc6339_f18/BDA_16_DataFormats.pdf (accessed: 04/25/2023).

Ezhova Zlata Vladislavovna. Institution “Project Center ITER”, a private institution of the State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, specialist, Sector of ITER Information Systems. AuthorID: 1210524, SPIN: 2609-0332. Z.Ezhova@iterrf.ru.

Semenov Oleg Igorevich. Institution “Project Center ITER”, a private institution of the State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, Head of Hardware and Infrastructure Systems Sector AuthorID: 1210980, SPIN: 2927-9492. O.Semenov@iterrf.ru.

Mironova Ekaterina Yurievna. Institution “Project Center ITER”, a private institution of the State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, senior researcher, Sector of Automated Control Systems ITER. AuthorID: 1210527, SPIN: 9146-0089. E.Mironova@iterrf.ru.

Portone Sergey Sergeevich. Institution “Project Center ITER”, a private institution of the State Atomic Energy Corporation “Rosatom”, Head of ITER Control Systems Department. AuthorID: 1187370, SPIN: 9069-2696. S.Portone@iterrf.ru.

Статья поступила в редакцию 04.09.2023; одобрена после рецензирования 08.11.2023; принята к публикации 05.03.2024.

The article was submitted 09/04/2023; approved after reviewing 11/08/2023; accepted for publication 03/05/2024.