

УДК 004.77, 621.039.6

**ПОРТАЛ АИП ИКП (FUSIONSPACE.RU)
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УЧАСТНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА**

Е. В. Семенов^{1,*}, А. С. Вишня², А. В. Лебедева², Д. М. Гусев², О. И. Семенов¹, Е. Ю. Миронова¹, С. С. Портоне¹

¹Частное учреждение госкорпорации Росатом «Проектный центр ИТЭР», Москва, 123060, Россия,

²ООО «АйТинерис», Калининград, 236022, Россия

*e-mail: E.Semenov@iterrf.ru

Поступила в редакцию: 25.10.2024

После доработки: 08.11.2024

Принята к публикации: 12.11.2024

В ходе научных исследований в области управляемого термоядерного синтеза сегодня в России используется ряд электрофизических установок и стендов. Данные научные исследования имеют большое значение для развития национальной программы по физике плазмы и в активных фазах их проведения требуют как современных средств их автоматизированной информационной поддержки (например, обеспечения своевременного регламентированного доступа к вычислительным средствам для проведения расчетов), так и наличия единой площадки для взаимодействия с коллегами в рамках общей новостной, нормативно-справочной, событийной и иных тематических повесток. Таким образом, крайне актуальной является задача создания единых, современных, унифицированных программных средств, которые обеспечили бы возможность оперативного обмена информацией по тематикам исследований через веб-интерфейс. В России разрабатывается уникальная отечественная аппаратно-инфраструктурная платформа информационно-коммуникационного пространства (АИП ИКП, включающая в себя ряд функциональных возможностей для получения данных из источников (установок и стендов), их отображения и анализа. В данной работе рассмотрена задача создания портала информационного обмена как единого интерфейса взаимодействия участников УТС-сообщества в рамках АИП ИКП (FusionSpace.RU). Были определены основные задачи, архитектура, а также выбраны и апробированы технологии их реализации. Рассмотренные решения обеспечивают возможность информационного взаимодействия участников УТС-сообщества России в рамках АИП ИКП. Сформированы выводы по результатам проведенной работы.

Ключевые слова: дистанционные эксперименты, информационный обмен, термоядерный синтез, портовое решение, интеграция систем, цифровизация.

DOI: 10.26583/vestnik.2024.6.9

EDN ZSFZUE

ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация научно-исследовательской деятельности является актуальной на сегодняшний день задачей. Помимо специализированного оборудования и программного обеспечения, способных поддерживать обработку научными установками и стендами в области УТС-данных, вопрос обеспечения коммуникации между исследователями может нести решающее значение в оперативности принятия решений, корректировках вектора исследований и т.д.

В России с целью обеспечения автоматизированной информационной поддержки исследований в области УТС осуществляется разработка и развитие платформы совместной работы с экспериментальными и проектными данными УТС-исследований с учетом лучших международных практик (аппаратно-инфраструктурная платформа информационно-коммуникационного пространства в области управляемого термоядерного синтеза в Российской Федерации, АИП ИКП или FusionSpace.RU [1]).

Однако до настоящего времени АИП ИКП, имея в рамках платформы ряд систем и сервисов, была лишена единой унифицированной точки авторизации и доступа ко всем сервисам системы: информационным и новостным сервисам, средствам пользовательской коммуникации, включая межпользовательские прямые взаимодействия (частные встречи в формате «точка-точка»), совещания, конференции и семинары, а также к средствам доступа к исследовательской информации установок, их данным и возможности работы с ними.

Единый подход к взаимодействию участников УТС-сообщества, обеспечивающий возможность оперативного обмена информацией по тематикам исследований в области УТС посредством пользовательского веб-интерфейса, реализуется в виде Портала информационного обмена АИП ИКП (FusionSpace.RU).

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ГРАНИЦ АВТОМАТИЗАЦИИ В РАМКАХ АИП ИКП

Тематика УТС является весьма объемной с точки зрения формируемых, прежде всего, экспериментальных данных. Так, еще в 2020 г. в рамках международной организации (МО) ИТЭР отмечалось, что примерно к 2035 г. ИТЭР будет производить порядка 2 пб данных в день. При этом по состоянию на 2020 г. МО ИТЭР, включая данные различных национальных агентств, располагала порядка 2.2 ПБ проектных данных [2].

Существенные массивы данных в рамках проведения научных исследований формируются и на установках/стендах, распределенных по территории России научно-исследовательских центров [3]. Для обеспечения на уровне разрабатываемой отечественной АИП ИКП возможности совместной работы с экспериментальными данными ранее реализовано программное обеспечение информационного взаимодействия (ПО ИВ) и программное обеспечение анализа и отображения экспериментальных данных (ПО АОЭД) [4–5].

Помимо ПО ИВ и ПО АОЭД автоматизация тематики УТС в рамках АИП ИКП на этапе создания Портала характеризуется следующим набором существующих и являющихся смежными по отношению к Порталу решений:

- контроллером домена для обеспечения работы с учетными записями пользователей на базе общепотребимого легковесного протокола Lightweight Directory Access Protocol (LDAP);
- системой видеоконференцсвязи (ВКС) на базе защищенной отечественной платформы для корпоративного общения TrueConf;

– почтовым сервером, выполняющий типовую функцию по отправке почтовых уведомлений посредством простого протокола передачи почты Simple Mail Transfer Protocol (SMTP).

Действующие программные средства, перечисленные выше, ориентированы преимущественно на решение прикладных и (или) базовых инфраструктурных задач. Анализируя опыт МО ИТЭР по обеспечению коллективной работы сотрудников в рамках портального решения [6], российскую MPhIST-0 [7] и международную практику H-1NF [8], W7-X [9-10], EAST [11] ELisA (LHC) [12], Alcator C-Mod [13], KSTAR [14] в части построения электронных журналов экспериментов, доклады и повестку в целом 14-й Международной технической конференции Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) 15–18 июля 2024 г.¹, а также учитывая необходимость расширения и сопряжения пользовательских средств работы с данными установок (например, посредством журналов экспериментов с функциональными возможностями коммуникации в ходе его проведения), построение собственного Портала для оперативного обмена информацией по тематике УТС-исследований через веб-интерфейс является необходимым.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В рамках проектных работ по созданию Портала определены его следующие основные задачи:

- предоставление пользователям сервисов информационного обмена, включая сквозной доступ к веб-интерфейсу работы с экспериментальными данными;
- обеспечение возможности управления научными мероприятиями, включая конференции и семинары, в связке с действующей ВКС;
- сквозной поиск, просмотр, сортировка и фильтрация портальной информации;
- запросы распределенных компьютерных ресурсов на моделирование и расчеты;
- пользовательский календарь событий, проводимых в рамках ВКС;
- средства описания установок и стендов УТС, включая ведение расписаний экспериментов;
- обеспечение работы с открытой нормативно-справочной документацией;
- предоставление пользователям личных кабинетов, синхронизированных с контроллером домена;

¹ 14th Technical Meeting on Control Systems, Data Acquisition, Data Management and Remote Participation in Fusion Research. [Электронный ресурс]. URL: <https://conferences.iaea.org/event/377/overview> (дата обращения: 25.07.2024).

– автоматическое логирование системных событий и пользовательских действий.

Каждая из представленных выше задач была спроецирована на компонентно-модульную структуру будущего Портала по следующему принципу: задача эквивалентна функциональному блоку/модулю Портала, в дальнейшем, при необходимости, формируются интеграционные взаимосвязи модулей как между собой, так и с ранее разработанными программными средствами АИП ИКП.

Укрупненно всю совокупность компонентно-модульной структуры Портала можно объединить в следующие три группы:

– обеспечение сквозной авторизации, сервисного подхода и контролируемости – вход пользователя в режиме одного окна, доступ к функциональности как к сервису, журнализация всех событий в точках пользовательского контакта с информацией;

– пользовательская работа с информацией и коммуникационные возможности – новостная повестка и публикационный фонд, сквозной поиск информации, планирование и участие в мероприятиях, работа с календарями событий, управление содержанием личного профиля с отражением опыта, компетенций и т.д.;

– работа с данными установок и стендов с переходом от общности (установок) к частностям (сигналам) – просмотр сведений об установке/стенде, анализ журнала экспериментов с возможностью формирования пометок и комментариев на значимые импульсы, переход к анализу и отображению данных в интеграции с функциональностью ПО АОЭД и данными, формируемыми ПО ИВ.

ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПОРТАЛА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА

Для целей разработки функциональности Портала была применена совокупность методов объектно-ориентированного программирования (ООП) [15] с целью выделения отдельно взятой области автоматизации в условно-независимые самостоятельные элементы прикладной архитектуры. Такой подход обеспечивает возможность как параллельной разработки функциональных блоков Портала, так и реализации таких архитектурных концепций, которые позволили бы развивать Портал по отдельным модулям без необходимости масштабной переработки классической монолитной архитектуры.

С точки зрения прикладной архитектуры в составе Портала выделены атомарные еди-

ницы, обладающие изолированной функциональностью, называемые микросервисами [16]. При этом ряд принципов ООП использован на уровне построения архитектуры микросервисов Портала, а именно: инкапсуляция данных и логики микросервисов с предоставлением доступа через интерфейсы, обеспечение абстракции путем применения контрактов для взаимодействия между микросервисами, полиморфизм на уровне обработки разных типов сущностей (например, разных типов мероприятий – семинаров и конференций в рамках одного микросервиса), а также наследование через общие библиотеки и шаблоны для создания микросервисов. Таким образом, применение комбинации ООП и микросервисной архитектуры при реализации Портала обеспечивает как структурированность кода и данных, так и расширения данных принципов на распределенную микросервисную архитектуру. Состав и назначение микросервисов Портала представлены в табл. 1.

Для обеспечения интеграционной совместности на уровне Портала реализовано следующее:

– каждый из микросервисов существует независимо;

– точки интеграции с микросервисом – веб-сервис, реализованный в терминах REST API посредством протокола HTTP;

– обеспечение централизации точки управления запросами к REST API каждого из микросервисов осуществляется путем применения реверс-прокси на базе Nginx²;

– взаимодействие микросервисов между собой осуществляется не напрямую (путем вызова REST API одного микросервиса другим), а по архитектурному шаблону асинхронного взаимодействия, а именно: опосредованно через брокер сообщений на базе RabbitMQ³;

– хранение данных каждого из микросервисов осуществляется в выделенной для каждого из них реляционной базе данных под управлением PostgreSQL⁴;

– бинарные объекты (документы, изображения и т.п.) размещаются микросервисами в объектном хранилище, а структурированные данные, необходимые отдельным микросервисам, извлекаются из структурированного хранилища;

– при необходимости заданный набор микросервисов взаимодействует как с контроллером до-

² Nginx. [Электронный ресурс]. URL: <https://nginx.org/> (дата обращения: 25.07.2024).

³ RabbitMQ: One broker to queue them all. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rabbitmq.com/> (дата обращения: 25.07.2024).

⁴ PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 25.07.2024).

Таблица 1. Микросервисы Портала

№	Микросервис	Назначение
1	Микросервис сервисов	Управление составом и содержанием сервисов (опорных сущностей Портала, доступных для пользователей, прошедших процедуру верификации в качестве члена ИКП), условиями доступа к ним и их пользователями
2	Микросервис новостей	Формирование, модерирование и публикация новостей, публикуемых с заданным уровнем доступа на Портале
3	Микросервис нормативно-справочной информации	Управление базовыми справочниками, классификаторами и нормативными документами, необходимыми для обеспечения функционирования Портала в рамках создания и модификации сущностей, их поиска и просмотра базовой нормативной информации (например, пользовательское соглашение)
4	Микросервис мероприятий	Планирование, конфигурация, управление доступом и проведение мероприятий в интеграции с ВКС посредством REpresentational State Transfer (REST) Application Programming Interface (API) на базе протокола HyperText Transfer Protocol (HTTP) в соответствии со спецификацией TrueConf Server API
5	Микросервис поиска	Индексирование и обеспечение возможности пользовательского сквозного поиска информации, представленной на Портале с учетом уровня доступа пользователя
6	Микросервис настроек	Управление общесистемными настройками Портала, обеспечивающими его базовое функционирование и связь с другими системами
7	Микросервис пользователей	Реализация авторизационной логики, обеспечение регистрации и управление пользователями, включая прохождение процедуры верификации в качестве члена ИКП
8	Микросервис статей	Формирование, модерирование и публикация статей, в качестве которых могут быть инструкции, тезисы конференций, публикации и т.д.
9	Микросервис экспериментов	Управление настройками журналов экспериментов, а также их предоставление пользователям в интеграции с функциональностью ПО АОЭД и данными ПО ИВ
10	Микросервис полномочий на доступ к импульсам (разрядам) и диагностикам	Разграничение прав доступа пользователей на уровне экспериментальных данных (установка – дата – импульс – диагностика)
11	Микросервис визуализации экспериментальных данных	Базовый интеграционный модуль ПО АОЭД, обеспечивающий возможность переиспользования существующей функциональности ПО АОЭД в других модулях и компонентах Портала
12	Микросервис вычислений экспериментальных данных	Расчетный модуль ПО АОЭД, обеспечивающий выполнение запрошенных пользователями вычислительных сценариев, в рамках которых используется заданный набор входных экспериментальных данных и математическая логика, реализованная в терминах языка программирования Python
13	Микросервис экспорта экспериментальных данных	Экспортный модуль ПО АОЭД, обеспечивающий выгрузку исходных экспериментальных и расчетных данных в файлы заданных форматов (например, HDF5, Parquet, CSV и т.д.)

мена, так и с ВКС и почтовым сервером в рамках реализации своей функциональности.

Визуальное представление укрупненной архитектуры Портала приведено на рис. 1.

Следует отметить, что для целей организации микросервисов в исполняемые и переносимые объекты, называемые контейнерами, использована свободно-распространяемая технология для построения и контейнеризации приложений – Docker Engine. Для решения задач управления контейнерами микросервисов использован свободно-распространяемый оркестратор с открытым исходным кодом на базе Kubernetes.

ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ

С учетом изложенных ранее по тексту архитектурной и функциональной составляющих Портала для целей его реализации определены технологические решения, функционально удовлетворяющие сформированным задачам Портала, широко применяемые, в том числе в рамках уже функционирующих ПО АОЭД и ПО ИВ, и являющиеся свободно-распространяемым (open-source) программным обеспечением.

Разработка Портала осуществлена с использованием объектно-ориентированного языка

ПОРТАЛ АИП ИКП (FUSIONSPACE.RU) ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

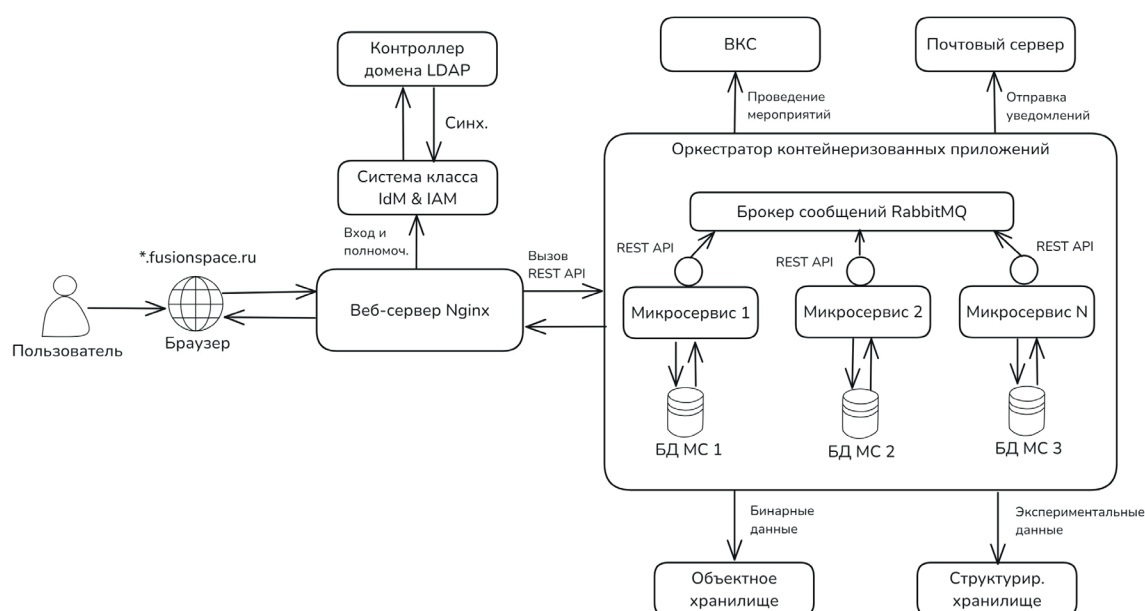


Рис. 1. Визуальное представление укрупненной архитектуры Портала

программирования C#. Для разработки клиентской части веб-приложений Портала использован высокоуровневый язык программирования TypeScript, являющийся расширением языка JavaScript.

Серверное программное обеспечение, необходимое для функционирования Портала, представлено в табл. 2.

Для эксплуатации Портала пользователю необходимо и достаточно иметь только современный веб-браузер на базе Chromium, поскольку функциональность Портала позволяет, не покидая веб-интерфейс, осуществлять работу текстовой и графической информации, а также взаимодействовать с другими пользователями Портала в интеграции с ВКС.

Таблица 2. Состав и назначение серверного ПО Портала

№	Серверное ПО	Назначение
1	Nginx	HTTP-сервер и обратный прокси-сервер, почтовый прокси-сервер, а также Transmission Control Protocol (TCP)/User Datagram Protocol (UDP) прокси-сервер общего назначения
2	Kestrel ⁵	Веб-сервер, основанный на кроссплатформенной библиотеке асинхронного ввода/вывода libuv. Kestrel по умолчанию включается в проект ASP.NET Core
3	PostgreSQL	Свободная объектно-реляционная система управления базами данных
4	RabbitMQ	Программный брокер сообщений на основе стандарта Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) – тиражируемое связующее программное обеспечение, ориентированное на обработку сообщений
5	Identity Management и Identity and Access Management	Решение с открытым кодом для реализации Single Sign-On (SSO) с возможностью управления доступом. Реализует логику аутентификации и авторизации

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ

Результаты апробации решений в рамках Портала приводятся в виде фрагментов графического пользовательского интерфейса некоторых из функций далее по тексту.

⁵ Kestrel веб-сервер в ASP.NET Core [Microsoft Learn]. [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/core/fundamentals/servers/kestrel> (дата обращения: 25.07.2024).

Базовым интерфейсом работы пользователя Портала с журналом экспериментов выбранной установки является страница, состоящая из следующих элементов интерфейсов: блок общих сведений и анонсов, блок последних новостей и (если необходимо) статей, связанных с установкой/стендом, блок экспериментов/экспериментальных программ/проектов и непосредственно импульсов (разрядов). Фрагмент графического

пользовательского интерфейса базовой страницы журнала экспериментов Портала на примере установки Глобус-М2 приведен на рис. 2.

В результате выбора пользователем Портала в журнале экспериментов интересующего импульса и соответствующей диагностики доступен переход к интерфейсу анализа и отображения, который позволяет осуществлять визуализацию дву- и трехмерных графиков, работать с табличным представлением экспериментальных данных, выполнять математические операции

и т.д. в рамках ПО АОЭД. Фрагмент графического пользовательского интерфейса одной из страниц рабочей области анализа и отображения экспериментальных данных после перехода из журнала экспериментов Портала в ПО АОЭД в рамках интеграции приведен на рис. 3.

Базовый интерфейс пользовательской работы на Портале с сервисами представляет собой список с краткими наименованиями и описаниями сервисов, а также изображениями. При переходе к карточке сервиса доступен просмотр базовой

LOGBOOK.FusionSpace.RU
Журнализация и описание проводимых экспериментов

Глобус-М2

Добро пожаловать в журнал экспериментов Глобус-М2

16 августа, 12:17

УНУ Глобус-М2 - этот современный исследовательский комплекс, входящий наряду с NSTX (США) и MAST (Великобритания) в тройку лидирующих установок, предназначен для изучения поведения плазмы в лабораторных условиях, а не в реакторном режиме. Исследования водородной плазмы на Глобус-М2 проводятся при ее температуре до 10 миллионов градусов. Нагрев осуществляется с помощью тока протекающего по плазменному шнуру и методами дополнительного нагрева. Получена рекордная для сферических токамаков плотность плазмы, предложены и отработываются новые методы радиочастотного нагрева плазмы и новые методы подачи топлива в горячий плазменный шнур. Полученные данные позволят существенно улучшить понимание фундаментальных процессов в плазме токамака, с одной стороны, и оценить перспективность применения сферических токамаков в реакторной программе с другой. В настоящее время Глобус-М2 является единственной установкой в России, где осуществляется исследования плазмы в конфигурации термоядерного реактора (диверторной конфигурации).

Последние новости

20 июня 2024

НОВОСТЬ

Вестника атомпрома

06 февраля 2024

НОВОСТЬ

«Санкт-Петербург научный» на международной выставке-форуме «Россия» на ВДНХ

18 января 2024

НОВОСТЬ

Новосибирский ИЯФ СО РАН создал редкий дисперсионный интерферометр для измерения плотности плазмы токамака Глобус-М2

Эксперименты и импульсы

Тестовая программа

+ СОЗДАТЬ

🔍

☰

Номер	Дата ↓	Диагностик	Программа	Метки	Создан вручную
44622	08 августа 2024	42	-	-	Нет
44622	05 августа 2024	42	-	-	Нет
44623	05 августа 2024	42	-	-	Нет

Рис. 2. Работа с журналом экспериментов Портала

ПОРТАЛ АИП ИКП (FUSIONSPACE.RU) ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

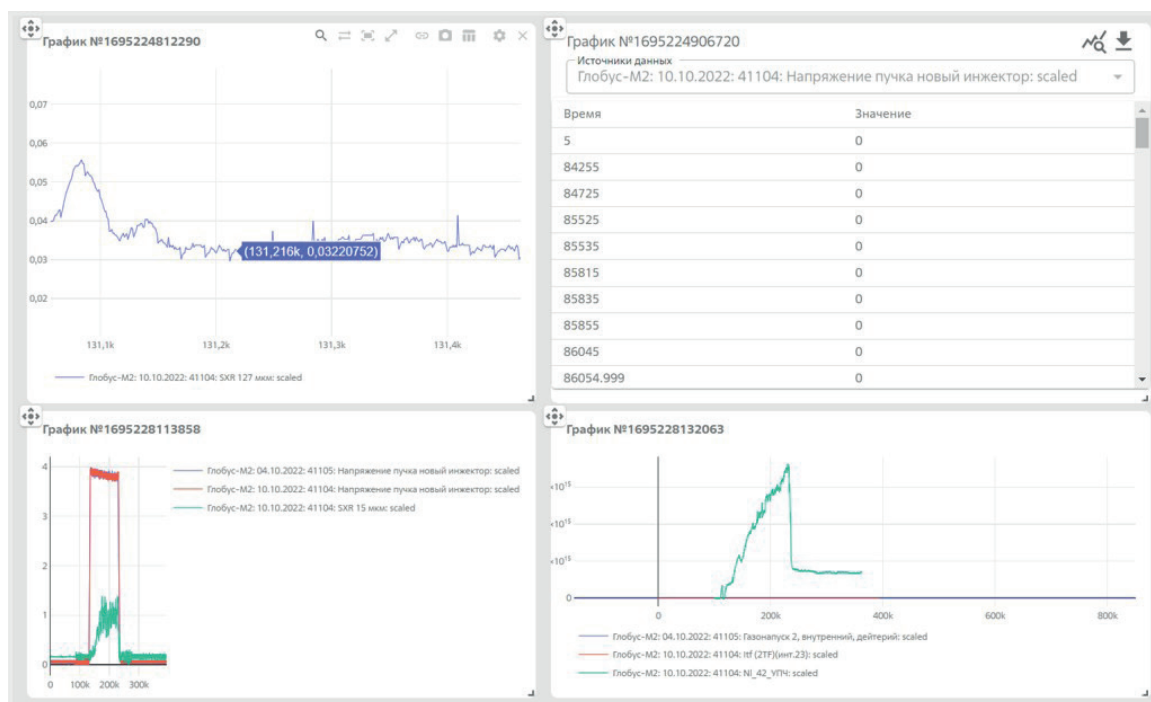


Рис. 3. Пример работы с анализом диагностик в рамках журнала экспериментов Портала

информации о сервисе, а при подаче заявки и получении доступа – расширенная функциональность, включая служебную информацию, возможность взаимодействия с административным персоналом сервиса и т.д. Сервисы являются базовой сущностью Портала, которая представляет пользователям возможность работы с дополни-

тельной функциональностью: доступ к данным той или иной установки, совместное проектирование, работа с распределенными ресурсами для моделирования и расчетов и т.д. Фрагмент графического пользовательского интерфейса стартовой страницы сервисов АИП ИКП приведен на рис. 4.

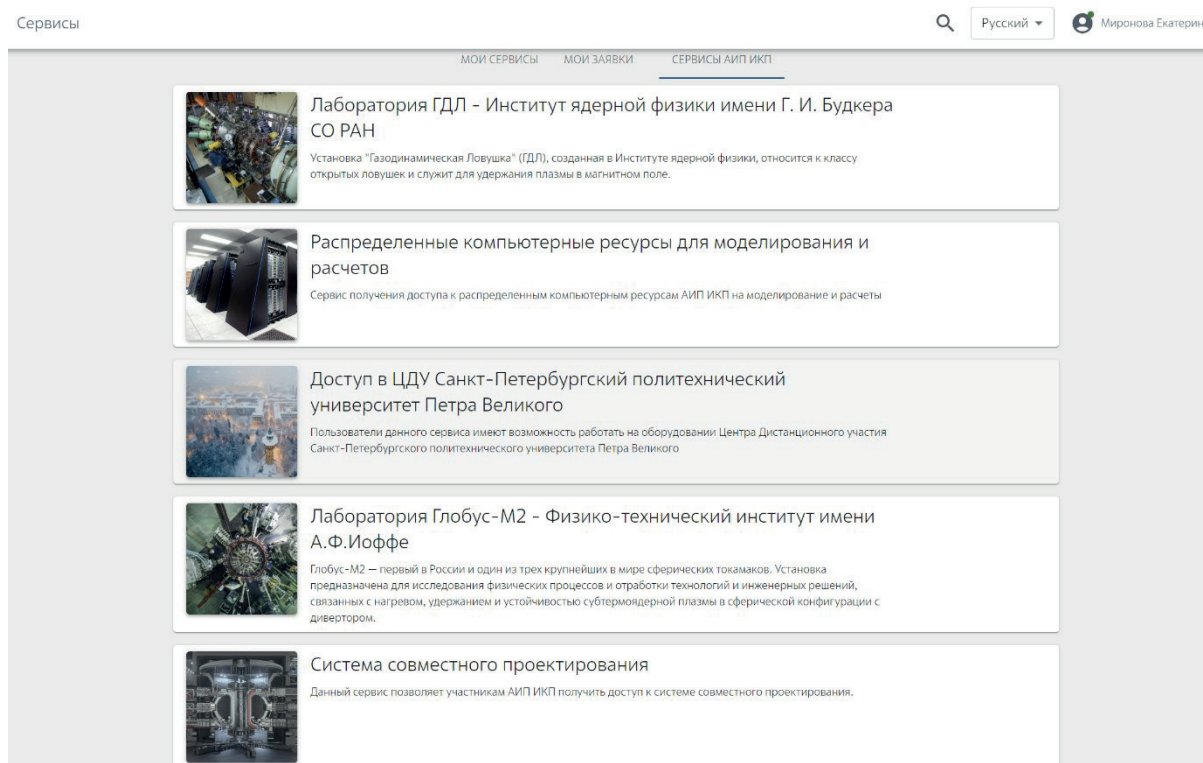


Рис. 4. Пример каталога сервисов Портала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы был создан портал информационного обмена, выступающий единым интерфейсом взаимодействия участников сообщества управляемого термоядерного синтеза в рамках АИП ИКП (FusionSpace.RU). Были определены основные задачи, архитектура Портала, выработан технологический подход к реализации, а также проведена апробация решений.

Созданный Портал представляет собой инструмент, который обеспечивает пользователей дополнительными возможностями для повышения оперативности решения задач, связанных с научными исследованиями в области УТС. Он предоставляет пользователям доступ к сервисам информационного обмена, включая удобный веб-интерфейс для работы с экспериментальными данными. Портал обеспечивает интеграцию с ВКС, что позволяет как планировать, так и проводить научные мероприятия в едином интерфейсе: совещания, семинары, конференции.

Среди ключевых функций Портала – возможность сквозного поиска, просмотра, сортировки и фильтрации информации, что значительно упрощает доступ к необходимым данным. Кроме того, пользователи могут подавать запросы на использование распределенных компьютерных ресурсов для выполнения сложных моделирований и расчетов.

Особое внимание в Портале уделено организации рабочих процессов. Пользователи могут использовать персонализированные календари для отслеживания событий, проводимых в рамках видеоконференций, а также средства для описания установок и стендов УТС, что включает ведение расписаний экспериментов. Эти возможности позиционируют Портал как инструмент для планирования и координации научной работы.

Кроме того, Портал обеспечивает работу с нормативно-справочной документацией, предоставляет пользователям доступ к личным кабинетам, синхронизированным с контроллером домена, и осуществляет автоматическое логирование системных событий и пользовательских действий. Таким образом, Портал является единым интерфейсом для управления научными данными и взаимодействия участников научного сообщества в области УТС.

Выбранные технологические решения Портала находят широкое применение, в том числе в рамках действующих решений в составе АИП ИКП (ПО ИВ и ПО АОЭД), распространяются свободно (имеют открытый исходный код), а успешная апробация в рамках настоящей работы подчеркивает их эффективность для решения поставленных задач Портала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портоне С.С., Миронова Е.Ю., Семенов О.И., Ежова З.В., Семенов Е.В., Миронов А.Ю., Ларионов А.С., Нагорный Н.В., Звонарева А.А., Григорян Л.А., Гужев Д.И., Николаев А.И., Семенов И.Б., Красильников А.В. Развитие аппаратно-инфраструктурной платформы информационно-коммуникационного пространства как инструмента интеграции исследований в области УТС // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2022. Т. 45. Вып. 4. С. 34–44.
2. Pat Brans. How to manage 2 petabytes of new data every day // ITER Scientific Data Centre, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iter.org/newsline/-/3534> (дата обращения: 25.07.2024).
3. Семенов О.И., Лобес Л.А., Потанов А.М., Степанов Д.Н., Портоне С.С., Ларионов А.С., Нагорный Н.В., Миронова Е.Ю., Ежова З.В., Семенов И.Б. Опыт России в разработке и тестировании элементов для удаленного участия в эксперименте ИТЭР // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2022. Т. 45. Вып. 4. С. 56–60.
4. Вишня А.С., Гусев Д.М., Ларионов А.С., Лебедева А.В., Миронова Е.Ю., Портоне С.С., Семенов О.И. Подходы к сбору, хранению и визуализации экспериментальных данных УТС-установок РФ в АИП ИКП // Сб. тезисов докладов XX Всероссийской конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы». М.: Издательские технологии, 2023. С. 336–337.
5. Вишня А.С., Лебедев А.В., Семенов О.И., Миронова Е.Ю., Калина Л.Ю., Гусев Д.М., Ежова З.В., Портоне С.С. Разработка комплексного программного обеспечения для совместной работы с экспериментальными данными по управляемому термоядерному синтезу // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2023. Т. 46. Вып. 4. С. 16–24.
6. Prescott B., Downing J., Di Maio M. How J. Using SharePoint to manage and disseminate fusion project information: An ITER case study // Fusion Engineering and Design, 2010. V. 85(3–4). P. 571–578. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2010.04.068.
7. Efimov N., Podolyako F., Prishvitsyn A., Krat S. MPhIST-0 integrated control and data acquisition system // Fusion Engineering and Design, 2023. V. 196. 113990. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2023.113990.
8. Blackwell B.D., & Gough C. The H-1NF electronic logbook // Proceedings of the 13th International

Stellarator Workshop. Australia, 2002. Доступно по адресу: <https://inis.iaea.org/search/34085972> (дата обращения 25.07.2024).

9. *Grahl M., Spring A., Bluhm T., Bosch H.-S., Brakel R., Dumke S., P. etc.* The new W7-X logbook – A software for effective experiment documentation and collaborative research at Wendelstein 7-X // *Fusion Engineering and Design*, 2019. V.146(A). P. 1254–1257. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2019.02.052.

10. *Grahl M., Spring A., Andreeva T., Bluhm T., Bozhenkov S., Dumke S., etc.* W7-X logbook REST API for processing experimental metadata and data enrichment at the Wendelstein 7-X stellarator // *Fusion Engineering and Design*, 2020. V. 160. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2020.11.019.

11. *Fei Y., Xiao B.* Web-based Logbook System for EAST Experiments // *Plasma Science and Technology*, 2010. V.12(5). P. 632. DOI: 10.1088/1009-0630/12/5/23.

12. *Corso Radu A., G Lehmann Miotto, Magnoni L.* The Electronic Logbook for the Information Storage of ATLAS

Experiment at LHC (ELisA) // *Journal of Physics: Conference Series*, 2012. V. 396(1). 12014.

DOI: 10.1088/1742-6596/396/1/012014.

13. *Fredian T.W., Stillerman J.A.* Web based electronic logbook and experiment run database viewer for Alcator C-Mod. // *Fusion Engineering and Design*, 2006. V. 81(15). P. 1936–1967. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2006.04.009.

14. *Baek S., Lee S., Park M., etc.* Electronic logbook development for the KSTAR commissioning // *Fusion Engineering and Design*, 2010. V. 85(3–4). P. 487–490. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2010.03.003.

15. Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У., Янг Б.Дж., Коналлен Д., Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. М.: Издательский дом «Вильямс», 2017. 720 с.

16. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга / СПб: Издательство «Питер», 2023. 544 с.

Vestnik Natsional'nogo Issledovatel'skogo Yadernogo Universiteta «MIFI», 2024, vol. 13, no. 6, pp. 449–458

INFORMATION PORTAL (FUSIONSPACE.RU) FOR RESEACHERS IN THE FIELD OF CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION

E. V. Semenov^{1,}, A. S. Vishnya², A. V. Lebedeva², D. M. Gusev², O. I. Semenov¹, E. Yu. Mironova¹, S. S. Portone¹*

¹*Institution «Project Center ITER», Москва, 123060, Russia,*

²*LLC «ITneris», Kaliningrad, 236022, Russia*

**e-mail: E.Semenov@iterrf.ru*

Received October 25, 2024; revised November 8, 2024; accepted November 12, 2024

A number of fusion installations and stands are currently used in Russia in the course of research in the field of controlled thermonuclear fusion. These scientific studies are of great importance for the development of the national program on plasma physics and in the active phases of their implementation require modern means of automated information support (for example, ensuring timely regulated access to computing facilities for calculations). The presence of a unified IT-platform is also required for interaction with colleagues, as well as access to scientific news, regulatory information and reference, events and other thematic agendas. Thus, the task of creating unified, modern IT-solution that would provide information exchange on research topics through a web interface is extremely urgent. A unique domestic infrastructural hardware platform of the common IT-space for fusion research (FusionSpace.RU) is being developed in Russia, which includes a number of functional capabilities for obtaining data from fusion installations and stands for the following display and analysis. This paper summarizes the creation of a portal for information exchange as a unified interface for interaction between researchers of the Russian fusion community. Basic problems and architecture were defined, and technologies for their implementation were selected and tested in the course of this work. The solutions considered provide the possibility of information interaction of participants of the Russian fusion community within an IT-platform of FusionSpace.RU. Conclusions are presented based on the results of the study.

Keywords: remote experiments, information exchange, thermonuclear fusion, portal solution, systems integration, digitalization.

REFERENCES

1. Portone S.S., Mironova E.Yu., Semenov O.I., Ezhova Z.V., Semenov E.V., Mironov A.Yu., Larionov A.S., Nagornyy N.V., Zvonareva A.A., Grigoryan L.A., Guzhev D.I., Nikolaev A.I., Semenov I.B., Krasilnikov A.V. Razvitie apparatno-infrastrukturnoy platformy informacionno-kommunikacionnogo prostranstva kak instrumenta integratsii issledovaniy v oblasti UTS [Infrastructural hardware platform of the common it space for fusion research (fusionspace.ru)]. VANT. Ser. Termoyadernyy sintez, 2022. Vol. 45. Iss. 4. Pp. 34–44 (in Russian).
2. Pat Brans. How to manage 2 petabytes of new data every day [ITER Scientific Data Centre]. Available at: <https://www.iter.org/newsline/-/3534> (accessed: 25.07.2024).
3. Semenov O.I., Lobes L.A., Potapov A.M., Stepanov D.N., Portone S.S., Larionov A.S., Nagornyy N.V., Mironova E.YU., Ezhova Z.V., Semenov I.B. Opyt Rossii v razrabotke i testirovanii ehlementov dlya udalonnogo uchastiya v ehksperimente ITER [Russian experience in development and testing of the elements of remote participation in ITER experiment]. VANT. Ser. Termoyadernyy sintez, 2022. Vol. 45. Iss. 4. Pp. 56–60 (in Russian).
4. Vishnya A.S., Gusev D.M., Larionov A.S., Lebedeva A.V., Mironova E.Yu., Portone S.S., Semenov O.I. Podkhody k sboru, khraneniyu i vizualizatsii ehksperimental'nykh dannykh UTS- ustanovok RF v AIP IKP [Approaches to collecting, storing and visualizing experimental data from Russian fusion facilities at fusionspace.ru]. Sb. tezisov dokladov XX Vserossiyskoj konferencii «Diagnostika vysokotemperaturnoj plazmy» [Sat. abstracts of reports of the XX All-Russian conference «Diagnostics of high-temperature plasma»]. Moscow, Izdatelskie tekhnologii Publ., 2023. Pp. 336–337 (in Russian).
5. Vishnya A.S., Lebedev A.V., Semenov O.I., Mironova E.Yu., Kalina L.Yu., Gusev D.M., Ezhova Z.V., Portone S.S. Razrabotka kompleksnogo programmnogo obespecheniya dlya sovmestnoj raboty s ehksperimental'nyimi dannymi po upravlyаемому termoyadernomu sintezu [Development of a complex software for collaborative work with experimental fusion data]. VANT. Ser. Termoyadernyy sintez, 2023. Vol. 46. Iss. 4. Pp. 16–24 (in Russian).
6. Prescott B., Downing J., Di Maio M. How J. Using SharePoint to manage and disseminate fusion project information: An ITER case study. Fusion Engineering and Design, 2010. Vol. 85(3–4). Pp. 571–578. DOI: 10.1016/j.fusengdes.201004068.
7. Efimov N., Podolyako F., Prishvitsyn A., Krat S. MEPhIST-0 integrated control and data acquisition system. Fusion Engineering and Design, 2023. Vol. 196. 113990. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2023.113990.
8. Blackwell B.D., & Gough C. The H-1NF electronic logbook // Proceedings of the 13th International Stellarator Workshop. Australia, 2002. Available at: <https://inis.iaea.org/search/34085972> (accessed 25.07.2024).
9. Grahl M., Spring A., Bluhm T., Bosch H.-S., Brakel R., Dumke S., P. etc. The new W7-X logbook – A software for effective experiment documentation and collaborative research at Wendelstein 7-X. Fusion Engineering and Design, 2019. Vol. 146(A). Pp. 1254–1257. DOI: 10.1016/j.fusengdes.201902052.
10. Grahl M., Spring A., Andreeva T., Bluhm T., Bozhentkov S., Dumke S., etc. W7-X logbook REST API for processing experimental metadata and data enrichment at the Wendelstein 7-X stellarator. Fusion Engineering and Design, 2020. Vol. 160. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2020111819.
11. Fei Y., Xiao B. Web-based Logbook System for EAST Experiments. Plasma Science and Technology, 2010. Vol. 12(5). Pp. 632. DOI: 10.1088/1009-0630/12/5/23.
12. Corso Radu A., G Lehmann Miotto, Magnoni L. The Electronic Logbook for the Information Storage of ATLAS Experiment at LHC (ELisA). Journal of Physics: Conference Series, 2012. Vol. 396(1), 12014. DOI: 10.1088/1742-6596/396/1/012014.
13. Fredian T.W., Stillerman J.A. Web based electronic logbook and experiment run database viewer for Alcator C-Mod. Fusion Engineering and Design, 2006. Vol. 81(15). Pp. 1936–1967. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2006.04.009.
14. Baek S., Lee S., Park M., etc. Electronic logbook development for the KSTAR commissioning. Fusion Engineering and Design, 2010. Vol. 85(3–4). Pp. 487–490. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2010.03.003.
15. Booch Gr., Maksymchuk R.A., Engle M.W., Young B.J., Conallen J., Houston K.A. Ob'ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie s primerami prilozhenij. [Object-Oriented Analysis and Design with Application Examples]. Moscow, Izdatel'skij dom «Vil'yams» Publ., 2017. 720 p.
16. Richardson K. Mikroservisy. Patterny razrabotki i refaktoringa [Microservices. Patterns of development and refactoring]. St. Petersburg, Izdatel'stvo «Piter» Publ., 2023. 544 p.