

Bilim, Mühendislik ve Teknoloji Yayınları

ISSN: 2528 - 9802

Web: www.muhendisbeyinler.net

Hata! Otomatik Metin girdisi tanımlanmamış.

Sayı | No: 3
Cilt | Volume: 1

Lityumun Termodinamik Özelliklerini Belirlemek İçin Deneysel Verilerin Hesaplanarak Analiz Edilmesi

Oğuzhan MALLI

National Research Nuclear University MEPhI, Engineering Physics Institute

Moscow, Russia

oguzhanmalli@yahoo.com.tr

Özet: Nükleer enerji, nükleer reaktör düzeneklerinde kullanılan materyallerin termodinamik özelliklerinin belirlenmesine gereksinim duyuyor. Bununla beraber koruma materyallerinin, konstrüksiyonda kullanılan materyallerin, ısı taşıyıcılarının v.b. termodinamik özelliklerinin belirlenmesi esas amaç olmuştur. Bu çalışmada, hangi özellikler üzerinde çalışılacağı formülize edilmiştir. Çalışmanın metodolojik temeli PAED (Program for Analysis Experimental Data) yazılım paketidir. Deneysel verileri işlemek için özel bir hesaplama programı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelime: Lityum, Sıvı Isı Taşıyıcıların Termodinamik Özellikleri, PAED, Exthermd, Lityumun Isı İletkenliği, Lityumun Yoğunluğu, Lityumun Isı Kapasitesi, Lityumun Akışkanlığı, Lityumun Yüzey Gerilmesinin Katsayısı, Lityumun Elektriksel Direnci

Анализ экспериментальных данных и расчетных зависимостей для определения термодинамических свойств лития

РЕФЕРАТ: Ядерная энергетика предъявляет увеличение требований к определению термодинамических свойств материалов, используемых при конструировании и эксплуатации реакторных установок. В связи с этим возникает задача точного, насколько это возможно, определения основных термодинамических свойств материалов защиты, конструкционных материалов, теплоносителей и т.д. В данном отчете сформулированы определенные критерии, по которым следует выполнять отбор работ. Методологической основой в работе выступает программный комплекс PAED. С целью обработки экспериментальных данных была разработана специальная расчетная программа.

Ключевые слова: Литий, Термодинамические Свойства Жидкометаллических Теплоносителей, PAED, Exthermd, Теплопроводность Лития, Плотность Лития, Теплоемкость Лития, Вязкость Лития, Удельное Электрическое Сопротивление Лития, Коэффициент Поверхностного Натяжения Лития.

Yazar Kimliği / Author ID

Makale Süreci / Article Process

Oğuzhan Mallı

Başvuru Tarihi /Submission Date

26.02.2019

ВВЕДЕНИЕ

Современная ядерная энергетика предъявляет повышенные требования к определению термодинамических свойств материалов, используемых при конструировании и эксплуатации реакторных установок. В связи с этим возникает задача точного, насколько это возможно, определения основных термодинамических свойств материалов защиты, конструкционных материалов, теплоносителей и т.д. В данном отчете сформулированы определенные критерии, по которым следует выполнять отбор работ.

В ходе проведения анализа опубликованных в открытой литературе работ были приняты следующие критерии:

1. измерения проведены с использованием современных методов исследований термодинамических свойств;
2. наличие в статье экспериментальных данных в табличной или графической форме;
3. в работе обязательно должно быть сравнение полученных результатов с результатами экспериментов или расчетов других авторов;
4. работа должна содержать достаточно подробное описание методики проведения измерений.

В первой главе приведены сведения о разработанной базе данных включающей в себя, на настоящий момент времени, 169 печатных работ советских, российских и зарубежных авторов. Кратко описана ее архитектура и технология поиска необходимых сведений. Описана технология получения необходимых данных с использованием Web-интерфейса.

Вторая глава раздел целиком посвящена описанию разработанного расчетного кода PAED, основной задачей которого является обработка собранных экспериментальных данных. Разработанный расчетный код содержит ≈ 25 расчетных процедур и содержит ≈ 2500 строк исходного кода. Языком реализации программы является FORTRAN-90. Код тщательно комментирован. В этой же главе приведено описание формата головного управляющего файла, формата файла задания индивидуальных свойств и формата выходного файла, содержащего результаты расчета.

В третьей главе приведены результаты обработки собранных экспериментальных данных. Приведены рекомендуемые зависимости для расчета термодинамических свойств лития. Приведено сравнение результатов расчета с рекомендованными МАГАТЭ зависимостями и зависимостями из справочника под ред. П.Л. Кириллова являющимися, по сути, основными зависимостями, по которым ведется расчет реакторных установок с жидкометаллическими теплоносителями.

В заключении сформулированы основные выводы.

В приложениях приведены сведения о структуре базы данных, ее внешнем виде, виде окон ввода и вывода информации и т.д.

Глава 1. Разработка Архитектуры Компьютерных Баз Данных Для Ввода, Хранения, Поиска И Выборки Термодинамических И Теплогидравлических Данных. Ввод Экспериментальных Данных По Термодинамическим Свойствам Жидкометаллических Теплоносителей (Лития) В Компьютерные Базы Данных

1.1 Общие сведения

Эксперименты по определению теплофизических свойств жидких металлов, в частности лития систематически начали проводиться с ≈ 1952 г. прошлого века.

К сожалению, ранние работы фактически не имеют практической ценности, поскольку проводились без достаточного контроля чистоты исходного материала, с неудовлетворяющей современным требованиям точностью измерений, по устаревшим методикам и очень примитивной приборной базой. Вышеперечисленные обстоятельства привели к необходимости формулировки определенных критериев, по которым следует выполнять отбор работ.

В ходе выполнения работ по созданию базы экспериментальных и оценённых данных по теплофизическим, теплогидравлическим, физико-химическим и прочностным свойствам реакторных материалов данных (далее БД свойств реакторных материалов), полученных на стендах и инженерных установках различной сложности были решены следующие основные задачи:

1. Спроектирована и создана база данных (БД) для хранения экспериментальных и оцененных данных по теплофизическим, теплогидравлическим, физико-химическим и прочностным свойствам реакторных материалов.

2. Разработана распределенная (web) система ExThermD (Experimental Thermodynamic Data), обеспечивающая возможность создания и изменения данных в БД свойств реакторных материалов в удаленном режиме, а также визуализации этих данных в удобных для восприятия конечных пользователей форматах.

3. Настроен аппаратный сервер, обеспечивающий бесперебойную работу необходимого системного (операционная система, драйвера) и прикладного программного обеспечения (сервер управления базами данных, сервер приложений, файловый сервер, виртуальная машина Java).

4. Выполнено тестирование распределенной системы ExThermD и развертывание ее на рабочем сервере. Организован доступ к системе по сети Интернет. Система ExThermD запущена в эксплуатацию.

При решении поставленных задач соблюдались следующие общие требования, оказывающие непосредственное влияние на выбор технологий, инструментальных средств и подходов к разработке программного обеспечения. Основными из них являются:

1. Использование не коммерческого («открытого») программного обеспечения (ОС, среда разработки, язык программирования, web сервер, СУБД, программные библиотеки и фреймворки) для реализации проекта.
2. Использование технологий и подходов к проектированию, подтвердивших свою эффективность при создании информационных ресурсов в сети Интернет.
3. В качестве клиентского приложения в системе должен использоваться любой стандартный современный web-браузер (клиентское ПО на пользовательских ПК не устанавливается).
4. В качестве обменных форматов (для выгрузки данных из БД) должны использоваться распространенные текстовые форматы удобные для последующей машинной обработки (например, TXT, XML, JSON).

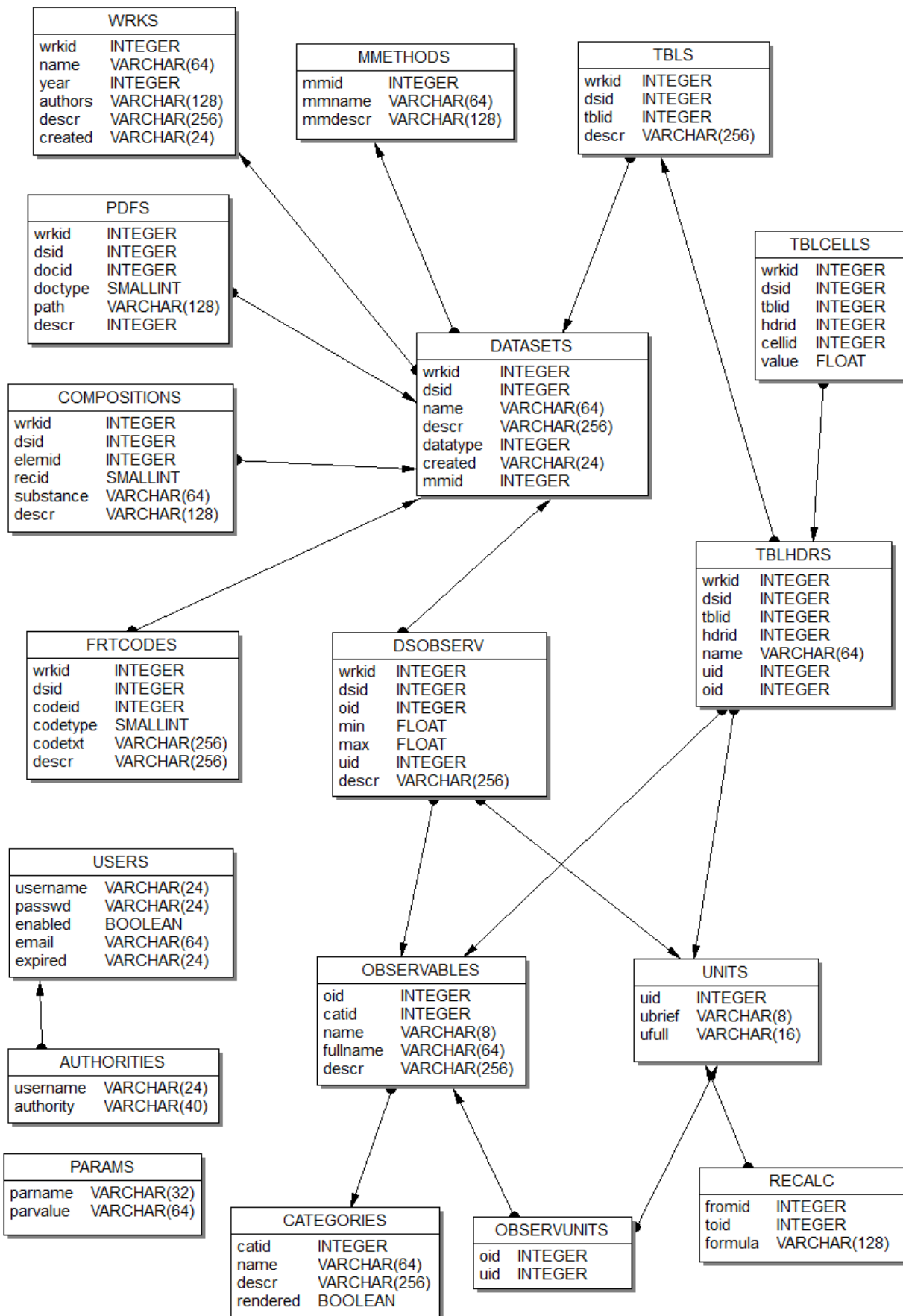
1.2 База данных свойств реакторных материалов

Ключевым компонентом разработанной системы является БД свойств реакторных материалов. При проектировании БД свойств реакторных материалов использовался реляционный подход, предполагающий организацию данных в виде таблиц, имеющих четко определенную структуру, состоящую из строк и столбцов с заданными типами данных. Для манипулирования данными, определения их структуры и управления правами доступа в реляционной модели используется структурированный язык запросов (SQL). Язык SQL является простым и функциональным инструментом работы с данными в реляционных БД, обуславливающий, в значительной степени, популярность и распространенность данного типа баз данных.

Экспериментальные и оценённые данные по теплофизическим, тепло гидравлическим (гидродинамическим и тепло- и масса-обмена), физико-химическим и прочностным свойствам реакторных материалов полученные на стендах и инженерных установках различной сложности для их сохранения, поиска и выборки необходимо хранить в компьютерных базах данных. Основной принцип организации данных, предлагаемый в данной работе, это приписывание каждому набору данных списка наблюдаемых используемых в компилируемой работе, по которым (для одной наблюдаемой, или их большего числа) можно вести поиск и выборку данных.

Разработанная физическая схема БД свойств реакторных материалов представлена на рисунке 1.1. На схеме отражены основные объекты/сущности базы данных (таблицы с описанием столбцов и их типов данных) и связи между ними. Ключевыми сущностями в БД являются работа и набор данных, представленные таблицами WRKS и DATASETS соответственно. Работа может содержать один или более наборов данных, объединенных общей тематикой исследования. Это отражается на схеме связью «один-ко-многим» между таблицами WRKS и DATASETS. Работа имеет свой уникальный идентификатор, список авторов, год ее публикации и произвольное текстовое описание. Набор данных содержит конкретные результаты проведенных измерений/исследований и имеет свой уникальный в рамках работы идентификатор, а также содержит ссылку на используемую методику проведения экспериментов и произвольное текстовое описание. Результаты измерений в рамках набора данных могут представляться в виде таблиц или конкретных значений физически наблюдаемых величин. Значения физически наблюдаемых величин могут представляться как дискретными значениями (например, $T = 25.6$), так и диапазоном допустимых значений в формате чисел с плавающей точкой (например, T in [20.1, 30.4]). Дополнительно к набору данных могут приписываться фрагменты кода на языке фортран (таблица FRTCODES), содержащие готовые подпрограммы для расчета функциональных зависимостей (корреляций) и PDF документы с данными, функциональными зависимостями или

описанием геометрии эксперимента (таблица PDFS). Состав материала (рабочего тела) может описываться с помощью композиции элементов (таблица COMPOSITIONS), каждый из которых представляется как химический символ, или как формула химического соединения (H_2O), или как обозначение (SS - нержавеющая сталь в общем случае). В приложении А представлено подробное описание таблиц БД свойств реакторных материалов.



Источник: собственная разработка

Рисунок 1.1 - Физическая схема БД свойств реакторных материалов

Модуль поиска и выборки данных в системе ExThermD предполагает возможность задания поисковых запросов с неограниченным количеством параметров. Для выполнения таких запросов необходимо агрегировать данные из различных таблиц исходной БД, а затем выполнять их фильтрацию с учетом заданных ограничений. При этом основное время при выполнении запросов уходит именно на агрегацию данных. Чтобы максимально ускорить выполнение поисковых запросов были использованы представления (views) и хранимые процедуры (stored procedures), обеспечивающие предварительную подготовку (агрегацию) данных для последующей их фильтрации. Таким образом, вся обработка данных при выполнении поисковых запросов выполняется на стороне сервера БД. Это значительно повышает эффективность работы поискового модуля, а также обеспечивает сбалансированное распределение нагрузки между информационным и прикладным уровнями распределенной системы. Недостатком использования представлений является дополнительные затраты времени на выполнение операций добавления и обновления данных, так как при этом СУБД также должна актуализировать представления.

1.3 Распределенная (Web) система ExThermD

Для работы с БД термодинамических свойств реакторных материалов в удаленном режиме (в том числе по сети Интернет) была разработана распределенная система ExThermD, которая представляет собой web приложение, обеспечивающее реализацию следующих основных функциональных возможностей:

1. Разделение прав доступа пользователей к ресурсам системы.
2. Создание, редактирование, удаление работ и наборов данных в БД посредством удобных интерфейсных форм.
3. Поиск в БД работ и наборов данных по заданным критериям.
4. Визуализация данных из БД с использованием текстовых, табличных и графических способов представления информации.
5. Выгрузка данных из БД в различные обменные форматы.

Система представляет собой web приложение, разработанное с использованием открытой программной платформы Java EE 6 (Oracle Java Enterprise Edition v.6).

С целью разделения функций хранения, обработки и представления данных (для более эффективного использования серверного и клиентского аппаратно-программного обеспечения) при построении системы ExThermD реализована классическая трехуровневая клиент серверная

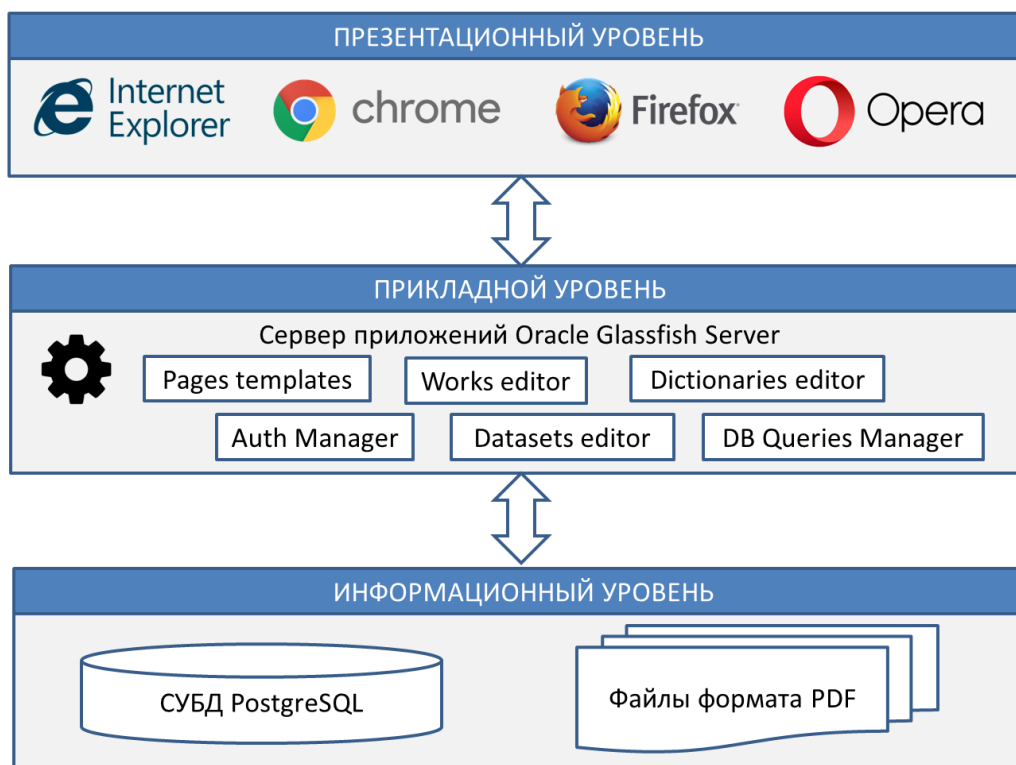
архитектура (представлена на рисунке 1.2). В рамках этой архитектуры выделяются следующие основные уровни:

1. Презентационный уровень (Presentation tier). Отвечает за реализацию пользовательского интерфейса системы и организацию взаимодействия с пользователями. В качестве клиентского приложения для системы ExThermD может выступать любой современный браузер, поддерживающий технологии CSS 3, JavaScript, HTML 4/5, AJAX. Тестирование системы ExThermD выполнялось с использованием следующих браузеров: Microsoft Internet Explorer v.9/v.10/v.11, Google Chrome, Mozilla Firefox. Никаких специальных требований к производительности клиентских устройств, а также используемому (на клиентских устройствах) программному обеспечению не предъявляется. Пользовательский интерфейс системы ExThermD реализован в виде набора XHTML (eXtensible Hyper Text Markup Language) страниц.

2. Прикладной уровень (Application tier). Данный уровень является ключевым элементом трехуровневой архитектуры и отвечает за организацию обмена данными между всеми остальными уровнями web приложения.

3. Информационный уровень (Information tier). Отвечает за долговременное хранение данных, а также эффективную обработку запросов к ним. В рамках системы ExThermD реализован с использованием реляционной СУБД, которая решает задачи хранения данных, выполнения запросов на добавление, изменение и удаление данных, а также оптимизации и выполнения запросов на выборку данных соответствующих заданным критериям. Для хранения бинарных файлов используется файловая система сервера.

Физически все три уровня системы могут функционировать как на одной вычислительной машине (сервере), так и на разных. Выделение отдельных серверов для СУБД и сервера приложений позволяет повысить общую отказоустойчивость системы, а также ее производительность. Важными преимуществами трехуровневой архитектуры являются изолированность уровней друг от друга, что позволяет без особых затрат выполнять обновление или переконфигурацию любого из уровней, и низкие требования к аппаратно-программному обеспечению клиентских устройств, так как вся прикладная логика реализуется на серверах.

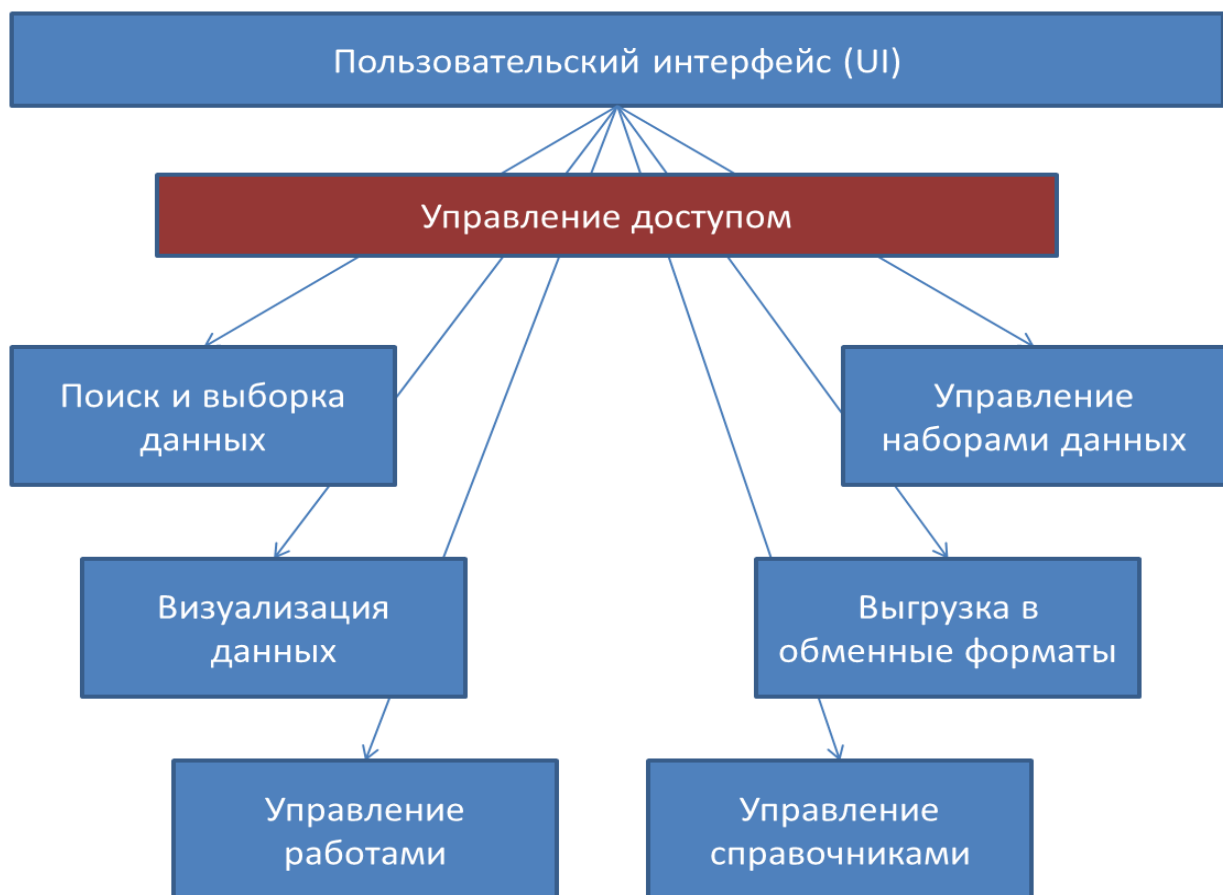


Источник: собственная разработка

Рисунок 1.2 - Архитектура системы ExThermD

Основными функциональными компонентами распределенной системы ExThermD являются: модуль поиска и выборки данных, модули управления работами, наборами данных и справочниками, средства визуализации данных с использованием текстовых, табличных и графических форматов представления информации, а также инструменты для выгрузки данных из БД в различные обменные форматы. Схематически функциональные компоненты приложения представлены на рисунке 1.3. Доступ к ресурсам системы регулируется модулем управления доступом на основании привилегий (прав доступа), которые были представлены пользовательской учетной записи (аккаунту) администратором системы. Каждому пользовательскому аккаунту в системе ExThermD назначается роль безопасности, которая определяет привилегии пользователя в системе. Для идентификации пользователя используются имя учетной записи и пароль. Всего в системе существует четыре роли безопасности: гость, читатель, оператор, администратор. Гости имеют возможность авторизоваться в системе используя имя guest и пароль guest. Данная роль обладает наименьшими привилегиями в системе. Гости могут искать записи в БД системы, но не имеют возможности просматривать расширенное их описание, а также данные в справочниках и наборах данных. Фактически роль гостя позволяет только в обзорном режиме посмотреть, какие наборы данных есть в БД системы. Роль читателя обладает расширенными по отношению к роли

гостя привилегиями и позволяет просматривать данные в работах, справочниках и наборах данных, а также выполнять выгрузку данных из БД в файлы обменных форматов. Роль оператора добавляет к роли читателя права на следующие операции редактирования данных в БД: создание новых и редактирование существующих работ, создание новых и редактирование существующих наборов данных. Роль администратора обладает наибольшими привилегиями в системе. Эта роль добавляет к роли оператора следующие возможности: удаление работ, удаление наборов данных, редактирование записей в справочниках, управление учетными записями пользователей в системе. В приложении Б приведен снимок экрана главной страницы системы с формой авторизации пользователей. Для реализации функций аутентификации и авторизации пользователей в системе использовалась открытая библиотека Spring Security (<https://projects.spring.io/spring-security/>).



Источник: собственная разработка

Рисунок 1.3 - Функциональные компоненты приложения

Модуль поиска и выборки данных в системе обеспечивает возможность задания сложных поисковых запросов с произвольным числом параметров, а также выборки из БД работ и наборов

данных, соответствующих заданным критериям. Для задания поисковых запросов могут использоваться следующие основные параметры:

1. Состав материала, используемого в работе. Задается в виде химической формулы (например, Li) или как наименование химического элемента (например, литий). Химических элементов может быть произвольное количество. Допускается использование специальных символов для полнотекстового поиска.

2. Наблюдаемые. Список физических величин, которые измерялись в работе. Может задаваться наименование физической величины (из справочника) и диапазон допустимых значений. Для проверки наличия конкретной физической наблюдаемой в наборе данных достаточно указать ее наименование в запросе. Диапазон значений может задаваться либо нижней границей (минимальное допустимое значение), либо верхней границей (максимальное допустимое значение), либо нижней и верхней границами диапазона одновременно. Для лучшего структурирования физических величин используются категории (например: независимая переменная).

3. Авторы. Перечень авторов (полностью или только часть фамилии), которые принимали участие в выполнении работы. Пример: Станкус, Агажанов, J.P. Мо. Допускается использование специальных символов для полнотекстового поиска.

4. Год публикации работы. В данном поле могут задаваться следующие значения: конкретный год (например: 2001), перечень годов (например: 2001, 2005, 2009) или диапазон годов (например: 2001-2005).

5. Тип работы. Выбирается из справочника, который предлагает на данный момент три значения: эксперимент, оценка, описание.

6. Описание работы или набора данных в произвольной текстовой форме. Позволяет задать ключевые слова, фразы или их части по которым должен быть выполнен поиск. Допускается использование специальных символов для полнотекстового поиска.

В качестве специальных символов для выполнения поиска используются: `_` - означает один произвольный символ в заданной позиции в тексте, `%` - означает произвольное количество символов (или их отсутствие) начиная с заданной позиции в тексте. Результат поиска находится на пересечении заданных параметров. Другими словами, работы и наборы данных, которые возвращаются системой как результат поиска, должны соответствовать всем условиям поискового запроса. В приложении В представлен снимок экрана системы ExThermD с поисковой формой и результатами выборки из БД.

Результаты поиска отображаются в виде списка. Каждый элемент списка содержит описание работы и перечень входящих в нее наборов данных, а также элементы управления для просмотра, редактирования и удаления данных, выгрузки данных в файлы обменных форматов. Описание работы содержит следующие поля данных: номер работы, год публикации, перечень авторов и общее текстовое описание. Перечень наборов данных в работе может содержать произвольное количество элементов и отображается в виде таблицы со следующими полями данных: номер набора данных и дата его создания, краткое текстовое описание набора. Элементы управления группируются в правом верхнем углу блока и в строках таблицы отдельно для каждого набора данных. Доступность элементов управления зависит от роли пользователя в системе и может включать следующие элементы: создать новую работу, редактировать или удалить существующую работу, создать новый набор данных в рамках работы, редактировать или удалить существующий набор данных, выгрузить работу в файл обменного формата (txt, xml), просмотреть подробные сведения о работе и наборах данных. Количество элементов в результирующем списке ограничено 100 записями (чтобы не перегружать главную страницу системы информационными блоками, что может привести к замедлению ее загрузки).

Функции управления работами включают в себя создание новых работ, а также редактирование и удаление существующих работ. Данные функции доступны пользователям с правами операторов и администраторов. Создание или редактирование работ предполагает изменение следующих обязательных полей данных: номер работы (цифробуквенное обозначение работы), год публикации, авторы (список авторов через запятую), описание работы (краткое описание сути работы в свободном формате). В приложении Г приведен снимок экрана главной страницы системы ExThermD с открытым диалогом редактирования работы. После создания работы появляется возможность добавления в нее наборов данных.

Функции управления наборами данных включают в себя создание новых наборов данных, а также изменения и удаления существующих наборов данных. Управление наборами данных осуществляется в контексте выбранной работы. Функции управления доступны пользователям с правами операторов и администраторов в системе. В приложении Д приведен снимок экрана с открытой страницей редактора наборов данных. Интерфейс редактора разбит на шесть разделов. В каждый момент времени может быть открыт только один из них (графический элемент «аккордеон»). Раздел «Описание набора данных» содержит следующие поля: номер набора данных (цифробуквенное обозначение набора данных), тип данных (выпадающий список из следующих элементов: эксперимент, оценка, описание), методика измерений (выпадающий список значений из соответствующего справочника) и описание (описание набора данных в свободном формате). Раздел «Состав материала» содержит таблицу, в которой пользователь может задать любое

необходимое количество строк. Строки таблицы собраны в группы, каждая из которых представляет собой композицию химических элементов составляющих материал рабочего тела. В строке может быть задана химическая формула и описание элемента. Раздел «Наблюдаемые» содержит список физически наблюдаемых величин для данного набора данных. Пользователь может добавлять, удалять или изменять строки в этом списке. Количество строк (физически наблюдаемых величин) не ограничено. Каждая строка содержит следующие поля: категория (выпадающий список значений из соответствующего справочника), наблюдаемая (выпадающий список значений из соответствующего справочника), минимальное значение, максимальное значение, описание (описание величины в произвольной форме), единицы измерения (выпадающий список значений из соответствующего справочника). Раздел «Таблицы» содержит список таблиц с результатами измерений для данного набора данных. Пользователь имеет возможность добавления, удаления или редактирования строк в этом списке. Каждая строка содержит следующие поля: метаданные с описанием структуры таблицы (для каждого столбца задается имя, а также привязывается наблюдаемая и единицы измерения), текстовое описание таблицы в произвольной форме, значения в ячейках таблицы. В приложении Е приведен снимок экрана иллюстрирующий реализованный подход к созданию и редактированию таблиц. Раздел «Программные коды» содержит список фрагментов программного кода на языке фортран, которые могут использоваться для последующих расчетов. Пользователи имеют возможности добавления, удаления или изменения строк в данном списке. Каждая строка списка содержит следующие поля: тип записи (выпадающий список значений: расчетная подпрограмма, функциональная зависимость), описание (краткое текстовое описание в произвольной форме), исходный код (программный код на языке фортран). Раздел «Файлы данных» содержит список загруженных на сервер и привязанных к набору данных файлов. В каждой строке таблицы отображается полный путь к файлу, тип файла (значение из выпадающего списка: таблицы и функциональные зависимости, геометрия эксперимента, публикация) и его размер в КБ. Пользователи имеют возможность добавления новых и удаления существующих файлов.

Отдельным разделом в главном меню системы представлена страница управления справочниками, содержащими перечни допустимых значений для определенных параметров/величин в системе. В настоящее время в системе заведены следующие справочники: категории наблюдаемых, единицы измерения, наблюдаемые (физические) величины, методики проведения экспериментов. Функции управления справочниками включают в себя добавление новых записей в выбранный справочник, а также удаление или редактирование выбранных записей. Количество записей в справочниках не ограничено. Функции редактирования справочников доступны только пользователям с административными правами доступа.

Справочники отображаются в табличном виде. Типовой справочник имеет два поля данных: имя записи и описание записи. Для справочника наблюдаемых величин дополнительными полями данных являются категория наблюдаемой величины и единицы измерения. В справочнике «категории наблюдаемых» добавлено поле регулирующее доступность значения для использования в редакторе наборов данных. В приложении Ж приведен снимок экрана системы ExThermD (страница «Справочники») с открытым диалогом редактирования записей в справочнике единиц измерения физических величин.

Для отображения подробных сведений о выбранной работе и входящих в нее наборах данных используется специальная страница, снимок экрана которой представлен в приложении И. Страница содержит описание работы, содержащее следующие поля данных: номер работы, год публикации, перечень авторов и развернутое текстовое описание. На странице имеется переключатель наборов данных, который содержит список всех наборов данных входящих в работу. Выбор конкретного набора данных приводит к отображению развернутого его описания. Описание разбито на несколько разделов, включая: описание, таблицы, состав материала, файлы, коды. Раздел «описание» содержит следующие поля данных: уникальный (в пределах работы) номер набора данных, развернутое текстовое описание набора, наименование методики проведения эксперимента, тип данных, а также таблицу наблюдаемых физических величин. Раздел «таблицы» содержит таблицы зависимостей физически наблюдаемых величин. Раздел может содержать произвольное количество таких таблиц. Для каждой таблицы предусмотрена возможность ее выгрузки в файл обменного формата. На данный момент поддерживаются следующие форматы: текстовый файл (txt с разделителями), xml-файл, электронная таблица (xls-файл). Раздел «состав материала» содержит сведения о химическом составе материалов использованных для проведения исследований/экспериментов. Сведения отображаются в виде таблицы разбитой на отдельные блоки строк. Каждый блок представляет перечень элементов составляющих одну композицию химических элементов. Отдельные строки представляют конкретные химические элементы, входящие в композицию. Число, как композиций, так и элементов в композиции не ограничивается. Для каждого элемента отображается его химическая формула и дополнительное текстовое описание. Раздел «файлы» содержит таблицу, каждая строка которой представляет отдельный файл, привязанный к текущему набору данных. В таблице отображается краткое описание файла, размер в КБ, а также имеется возможность открытия файла по ссылке. Предпочтительным типом файла для загрузки в систему является pdf. Раздел «коды» содержит фрагменты кодов расчетных программ, которые могут использоваться как готовые блоки при проведении вычислений или создании новых алгоритмов. Предпочтительным языком

программирования для расчетных программных кодов является язык фортран. Количество фрагментов программных кодов на странице не ограничивается.

Глава 2. Разработка Расчетного Кода Для Обработки, Собранных В Базе Данных Информации

2.1 Краткое описание разработанной расчетной программы. Сведения общего характера

Для использования программы PAED необходимо подготовить управляющий файл и файлы источников экспериментальных данных.

Управляющий файл – это файл Input.inp. Детальное описание структуры этого файла приведено в разделе 2.3 настоящей работы. Именно этот файл задает такие параметры как: количество файлов с данными, каталоги их размещения, каталог хранения результатов расчета, общее число расчетных точек и т.д.

Файлом источником экспериментальных данных является файл типа: Inp_xx.inp. Здесь xx – порядковый номер файла с данными. Программа PAED позволяет работать одновременно с 50 наборами экспериментальных данных одновременно. Это число не является каким-либо ограничением, так как программа легко модернизируется по произвольно любое число файлов с данными. В конечном итоге, их число определяется наличием оперативной памяти компьютера.

Подробно формат этого файла описан в разделе 2.4 настоящей работы. Формат интуитивно понятен и практически не требует дополнительных комментариев.

2.2 Структура расчетной программы

С целью обработки экспериментальных данных была разработана специальная расчетная программа. Программа PAED (Programm for Analysis Experimental Data) написана на алгоритмическом языке FORTRAN-90 и состоит из 26 расчетных модулей. Алгоритмический язык FORTRAN-90 является объектно-ориентированным языком высокого уровня. Использование языка FORTRAN-90 обусловлено наличием достаточно больших библиотек исходных кодов, что в значительной степени упростило процедуру разработки расчетного кода.

Основные модули и их назначение приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Название и назначение основных модулей расчетного кода

№	Название	Назначение
1	Paed	Головной модуль расчетной процедуры. Управление процессом обработки экспериментальных данных, вводом данных и выводом полученных результатов
2	Approx	Процедура аппроксимации
3	AvtoCor	Подпрограмма предназначена для вычисления коэффициента автокорреляции
4	BaseTrend	Осуществляет расчет базового тренда
5	CommTrend	Подготовка «длинного» файла для оценки «общего» тренда набора данных. Выполняется слияние всех данных из прочитанных файлов в один массив. Проводится вычисление общего количества экспериментальных точек.
6	Corel	Подпрограмма расчета коэффициента корреляции для зависимой и независимой переменных
7	Correction	Подпрограмма выполняет коррекцию кривой.
8	Covstr	Процедура переупорядочения ковариационной матрицы
9	Fit	Процедура реализующая метод наименьших квадратов
10	GasDev	Процедура расчета нормально распределенных случайных отклонений
11	Gaussj	Процедура решения системы линейных уравнений методом Гаусса-Зайделя
12	InParam	Подпрограмма чтения основных параметров для программы Paed
13	LinFit	Подпрограмма выполняет расчет коэффициентов регрессии и вычисление величины коэффициента корреляции
14	LubKsb	Решает систему уравнений $A \cdot X = B$ используя процедуру LudCmp
15	LudCmp	Выполняет LU преобразование для решения системы уравнений
16	MinMax	Подпрограмма выполняет поиск минимального и максимального значения числового ряда, и их порядковых номеров
17	RegAn	Выполняет анализ тренда кривой. Анализ ведется на основе расчета коэффициентов регрессии уравнений <ol style="list-style-type: none"> 1. $Y = a + b \cdot X$ 2. $Y = a + b \cdot X^2$ 3. $Y = a + b \cdot X^{0.5}$ 4. $Y = a \cdot \text{Exp}(b \cdot X)$ 5. $Y = a + b \cdot \ln(X)$ 6. $Y = a \cdot X^b$ 7. $Y = a + b/X$

Продолжение таблицы 2.1

18	ResDn	Подпрограмма вывода данных (запись в нижний заголовок)
19	ResUp	Подпрограмма вывода данных (запись в верхний заголовок)
20	ResUpComm	Подпрограмма вывода данных (запись в верхний заголовок объединенного файла)
21	RSavGol	Подпрограмма для сглаживания числовой последовательности
22	SavGol	Подпрограмма расчета коэффициентов ряда Савицкого-Голея
23	SortTwo	Процедура сортировки двумерного массива по возрастанию
24	Stat	Процедура вычисления статистических параметров: среднее, дисперсия, среднеквадратичное отклонение и т.д.
25	Stat_Fit	Построение регрессионной зависимости для экспериментальных данных с использованием метода наименьших квадратов для термодинамических величин. Аппроксимируется экспериментальный набор данных регрессионным уравнением вида: $y = \text{Sum}(a(i) \cdot x^n) \quad n = 0..NTERM$

Источник: собственная разработка

2.3. Формат ввода данных в управляющий файл расчетного кода. Пример

Образец формата управляющего работой программы PAED файла Input.inp приведен на рисунке 2.1. В правой части управляющего файла приведены комментарии по каждой из строчек формата.

0001	9	Количество файлов с экспериментальными данными
0002	2048	Макс количество экспер точек в текущем расчете
0003	f:\Pr_14\ExperData\Bi_209\Th...\Inp\	Путь к файлам с исходными данными
0004	f:\Pr_14\ExperData\Bi_209\Th...\Out\	Путь к файлам с результатами расчета
0006	.out	Расширение файлов с наборами выходных данных
0007	.dat	Расширение файлов с выходными данными в виде таблиц
0008	CommFile	Название ф-ла с результатами расчета обобщенным данным
0009	CommFileTbl	Название файла с результатами в табличном виде
0010	Li	Вещество
0011		
0012		
0013		
0014		
0015		

Источник: собственная разработка

Рисунок 2.1 – Формат управляющего файла программы PAED

Отличительной особенностью разработанного расчетного кода является возможность записи результатов расчета в виде текстового файла с подробными комментариями и в виде таблиц, для удобства дальнейшей обработки, если таковая потребуется.

2.4 Описание формата задания параметров в файлах источниках экспериментальных данных

Формат файла источника экспериментальных данных приведен на рисунке 2.2. В правой части управляющего файла приведены комментарии по каждой из строчек формата.

0001	22					! Количество точек в наборе данных
0002	Температура(K)					
0003	Плотность(кг/м ³)					
0004	Погрешность					
0005	Погрешность					
0006	2					! Левая граница фильтра
0007	2					! Правая граница фильтра
0008	2					! Число членов ряда Савицкого-Галя
0009	1					! Метод измерения
0010	1					! Влияние примесей
0011	2					! Число членов в регрессионном выражении
0012	vargaftik-1963					! Автор, год
0013						
0014	CTD0092					
0015						
0016						
0017						
0018						
0019						
0020						
0021						
0022						
0023	6.00E+02	5.03E+02	0.5	5.0		
0024	7.00E+02	4.93E+02	0.5	5.0		
0025	8.50E+02	4.83E+02	0.5	5.0		
0026	9.00E+02	4.78E+02	0.5	5.0		
0027	9.50E+02	4.68E+02	0.5	5.0		
0029	1.00E+03	4.63E+02	0.5	5.0		
0030	1.05E+03	4.57E+02	0.5	5.0		
0031	1.10E+03	4.52E+02	0.5	5.0		
0032	1.15E+03	4.47E+02	0.5	5.0		
0033	1.20E+03	4.42E+02	0.5	5.0		
0034	1.25E+03	4.37E+02	0.5	5.0		
0035	1.30E+03	4.32E+02	0.5	5.0		
0036	1.35E+03	4.27E+02	0.5	5.0		
0037	1.40E+03	4.22E+02	0.5	5.0		
0038	1.45E+03	4.16E+02	0.5	5.0		
0039	1.50E+03	4.11E+02	0.5	5.0		
0040	1.55E+03	4.06E+02	0.5	5.0		
0041	1.60E+03	4.01E+02	0.5	5.0		
0042	1.65E+03	3.96E+02	0.5	5.0		
0043	1.70E+03	3.91E+02	0.5	5.0		
0044	1.75E+03	3.86E+02	0.5	5.0		
0045	1.80E+03	3.81E+02	0.5	5.0		

Источник: собственная разработка

Рисунок 2.2 – Формат файла источника экспериментальных данных программы PAED

Из рисунка 2.2 видно, что в файле задаются все необходимые для расчета величины, количество экспериментальных точек, размерность величин зависимых и независимых переменных, их размерность, погрешности измерения каждой из величин, авторы работы, год публикации работы и т.д. Собственно сами данные начинаются со строки 0023 и могут содержать до 4096 значений. В общем случае количество экспериментальных точек может быть произвольно большим.

Две последние колонки в файле – это погрешности измерения зависимой и независимой величины. В наиболее общем случае они могут быть равны «0». В этом случае погрешность измерения будет определяться систематической погрешностью метода измерения зависимой и независимой переменных.

Основные термодинамические и теплофизические свойства лития приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Основные термодинамические и теплофизические свойства лития.

Свойства		Li
Атомный номер		3
Атомная масса		6,94
Температура плавления, °К		453,7
Температура кипения, °К		1620
Теплота плавления,	кДж/кг	663
	кДж/моль	4,6
Теплота испарения,	кДж/кг	19409
	кДж/моль	134,7
Плотность, кг/м ³	при 20 °С (твердый)	534
	при 450°С (жидкий)	491
Теплоемкость, кДж/кг К	при 20 °С (твердый)	3,569
	при 450°С (жидкий)	4,205
Теплопроводность, кДж/кг К	при 20 °С (твердый)	84,7
	при 450°С (жидкий)	51,3
Вязкость, м ² /с при 450°С		7,1*10 ⁻⁷
Число Прандтля при 450°С		0,0287
Коэффициент поверхностного натяжения, мН/м при 450°С		371
Изменение объема при плавлении, %		+3,9
Критическая температура, К		3503 ± 10
Критическое давление, МПа		38,42 ± 0,54
Критическая плотность, кг/м ³		110,4 ± 0,5
Сжимаемость $z=P_x V_k / RT_k$		0,0832

Глава 3. Верификация Оценённых Данных. Аттестация Справочных Данных В Качестве Рекомендуемых

3.1 Расчетные соотношения для лития

Рекомендуемые к использованию соотношения для расчета термодинамических свойств лития приведены в данном разделе. Как уже упоминалось выше, эти соотношения были получены путем тщательного анализа и отбора достаточно большого количества экспериментальных данных и являются полуэмпирическими.

3.2 Плотность

Рекомендуемое полуэмпирическое расчетное соотношение для плотности лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [2-22] и имеет вид:

$$\rho = 562,753 - 0,0971 \cdot T \quad (3.1)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.1) $T = 453 - 2000$ К. Размерность ρ - [кг/м³].

Для сравнения точности расчета по соотношению (3.1) были выполнены сравнительные расчеты по формулам, приведенным в справочнике по теплогидравлическим расчетам в атомной энергетике под ред. П.Л. Кириллова [1].

Результаты сравнительного расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.1)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	0,16%	0,15%

Источник: собственная разработка

Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.1) приведено на рисунке (3.1).

Оценка была выполнена по 297 экспериментальным точкам, приведенным в 21 экспериментальных работах.

3.3 Вязкость

Полуэмпирическое расчетное соотношение для вязкости лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [20; 23; 37; 43-47] и имеет вид:

$$\mu = 1597,2 + 86239770 \cdot 10^{-8} \cdot T - 216,442 \cdot \ln(T) + 57873304/T^2 \quad (3.2)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.2) $T = 453 - 2250$ К. Размерность μ - [Па*с].

Результаты сравнительного расчета по соотношениям, приведенным в работе [1], приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.2)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	4,67%	3,18%

Источник: собственная разработка

Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.2) приведено на рисунке (3.2).

Оценка была выполнена по 103 экспериментальным точкам, приведенным в 9 экспериментальных работах.

3.4 Теплоемкость

Расчетное регрессионное полуэмпирическое соотношение для теплоемкости лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [3; 11; 24; 36; 28-31] и имеет вид:

$$c_p = 5,331492 - \frac{3292,4618}{T} + \frac{3029040}{T^2} - \frac{1126891600}{T^3} + \frac{595032 \cdot 10^6}{T^4} - \frac{69894 \cdot 10^{10}}{T^5} + \frac{67789 \cdot 10^{15}}{T^7} \quad (3.3)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.3) $T = 453 – 2050$ К. Размерность c_p [КДж/(кг*К)].

Результаты сравнительного расчета по соотношениям, приведенным в работах [1], приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.3)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	3,50%	0,41%

Источник: собственная разработка

Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.3) приведено на рисунке (3.3).

Оценка была выполнена по 175 экспериментальным точкам, приведенным в 8 экспериментальных работах.

3.5 Теплопроводность

Полуэмпирическое рекомендуемое расчетное соотношение для теплопроводности лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [19; 23-27] и имеет вид:

$$\lambda = 34,9015 + 0,0190126.T + 1816.10^{-9}.T^2 \quad (3.4)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.4) $T = 453 – 1600$ К. Размерность λ - [Вт/(м²*К)].

Результаты сравнительного расчета по соотношениям, приведенным в работе [1] приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.4)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	4,76%	3,48%

Источник: собственная разработка

Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.4) приведено на рисунке (3.4).

Оценка была выполнена по 120 экспериментальным точкам, приведенным в 6 экспериментальных работах.

3.6 Коэффициент поверхностного натяжения

Расчетное регрессионное полуэмпирическое соотношение для теплоемкости лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [8; 26; 32-37] и имеет вид:

$$\sigma = 0,41623324 - 2524 \cdot 10^{-8} - 6138 \cdot 10^{-11} \cdot T^2 \quad (3.5)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.5) $T = 453 - 1750$ К. Размерность σ - [Н/м].

Результаты сравнительного расчета по соотношениям, приведенным в работе [1], приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.5)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	1,19%	1,17%

Источник: собственная разработка

Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.5) приведено на рисунке (3.5).

Оценка была выполнена по 117 экспериментальным точкам, приведенным в 8 экспериментальных работах.

3.7 Удельное электрическое сопротивление

Рекомендуемое полуэмпирическое расчетное соотношение для удельного электрического сопротивления лития в жидкой фазе получено на основании анализа экспериментальных данных, приведенных в работах [11; 18; 19; 38-42] и имеет вид:

$$r = 13,681936 + 0,025555408 \cdot T \quad (3.6)$$

Здесь T – температура [К]. Диапазон применимости соотношения (3.6) $T = 453 - 1270$ К. Размерность r - [Ом*м].

Для сравнения точности расчета по соотношению (3.6) были выполнены сравнительные расчеты по формулам, приведенным в справочнике по теплогидравлическим расчетам в атомной энергетике под ред. П.Л. Кириллова [1].

Результаты сравнительного расчета приведены в таблице 3.6.

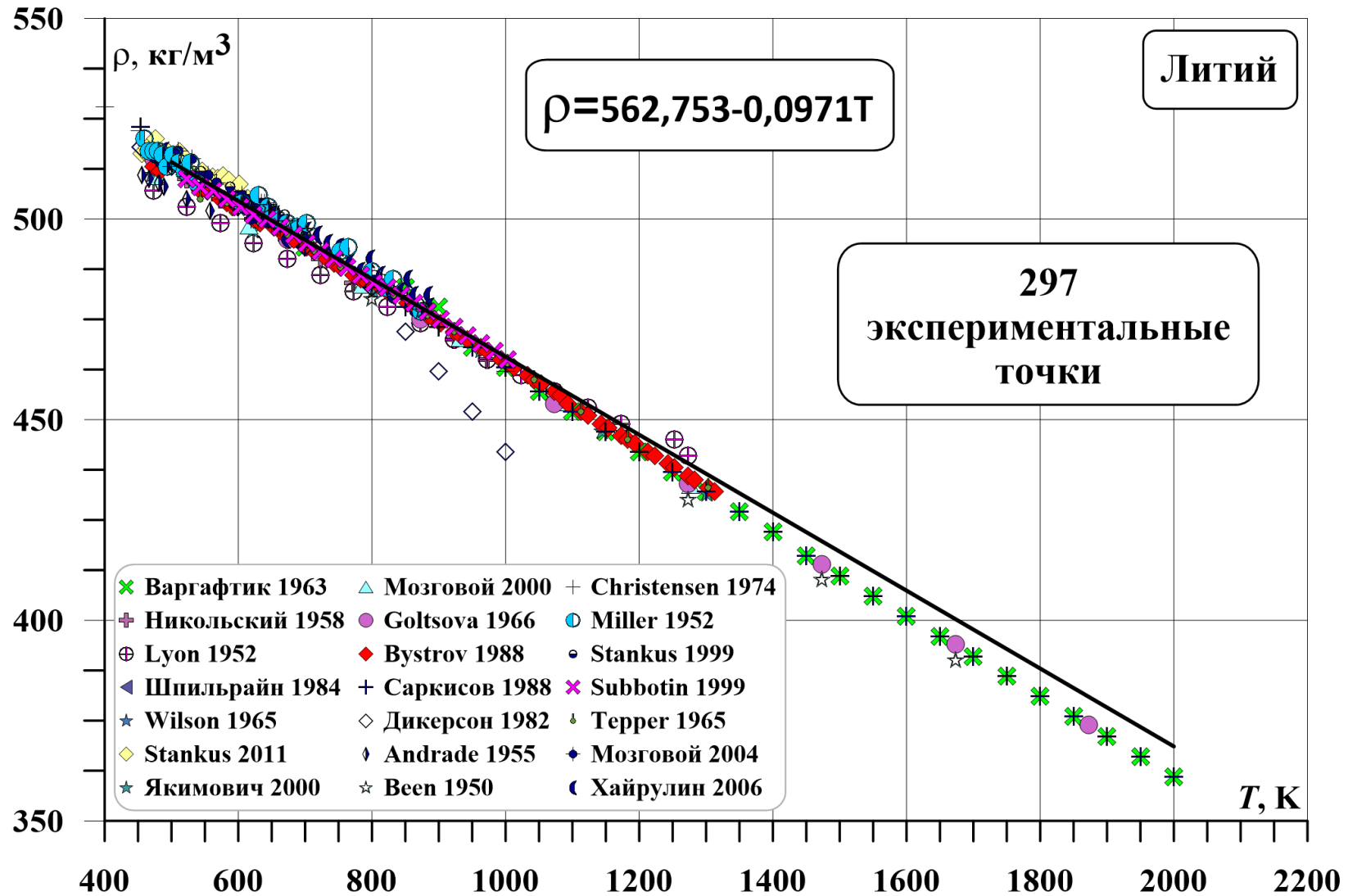
Таблица 3.6 – Сравнение точности расчета по различным соотношениям

	Соотношение (3.6)	П.Л. Кириллов
Относительная точность	1,8%	1,5%

Источник: собственная разработка

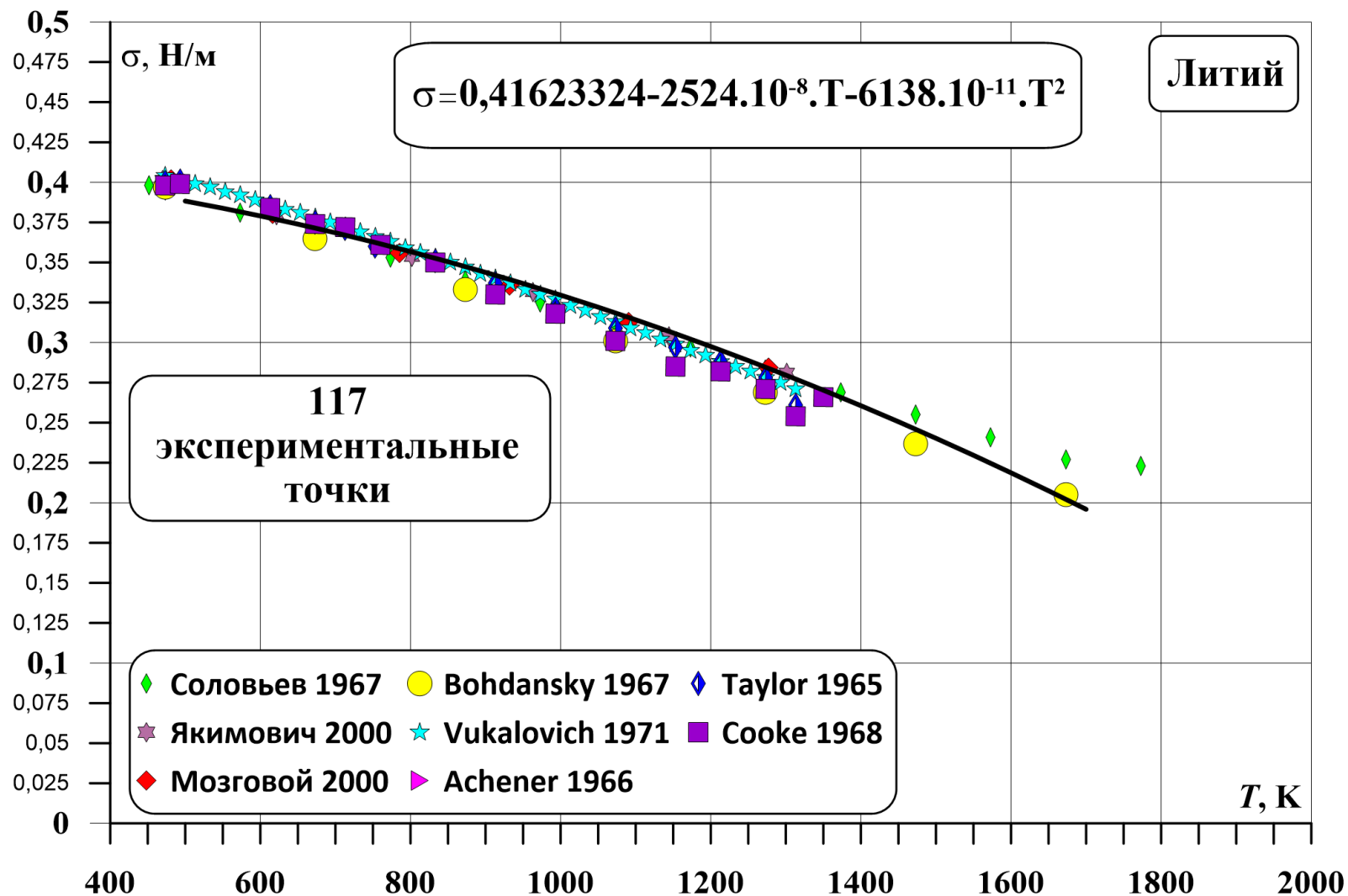
Графическое представление результатов расчета по соотношению (3.6) приведено на рисунке (3.6).

Оценка была выполнена по 88 экспериментальным точкам, приведенным в 7 экспериментальных работах.



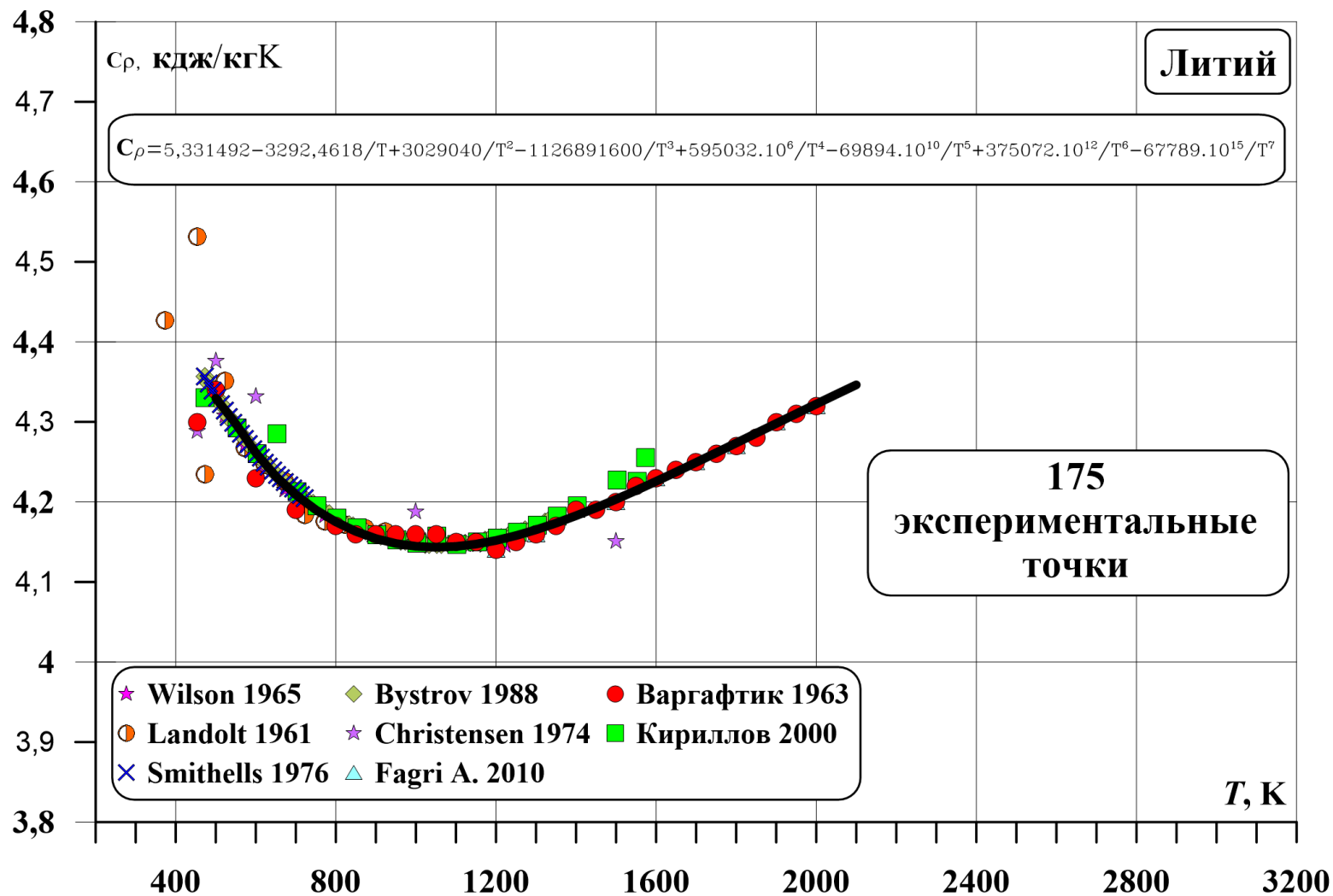
Источник: собственная разработка

Рисунок 3.1 – Зависимость плотности лития от температуры по данным различных авторов



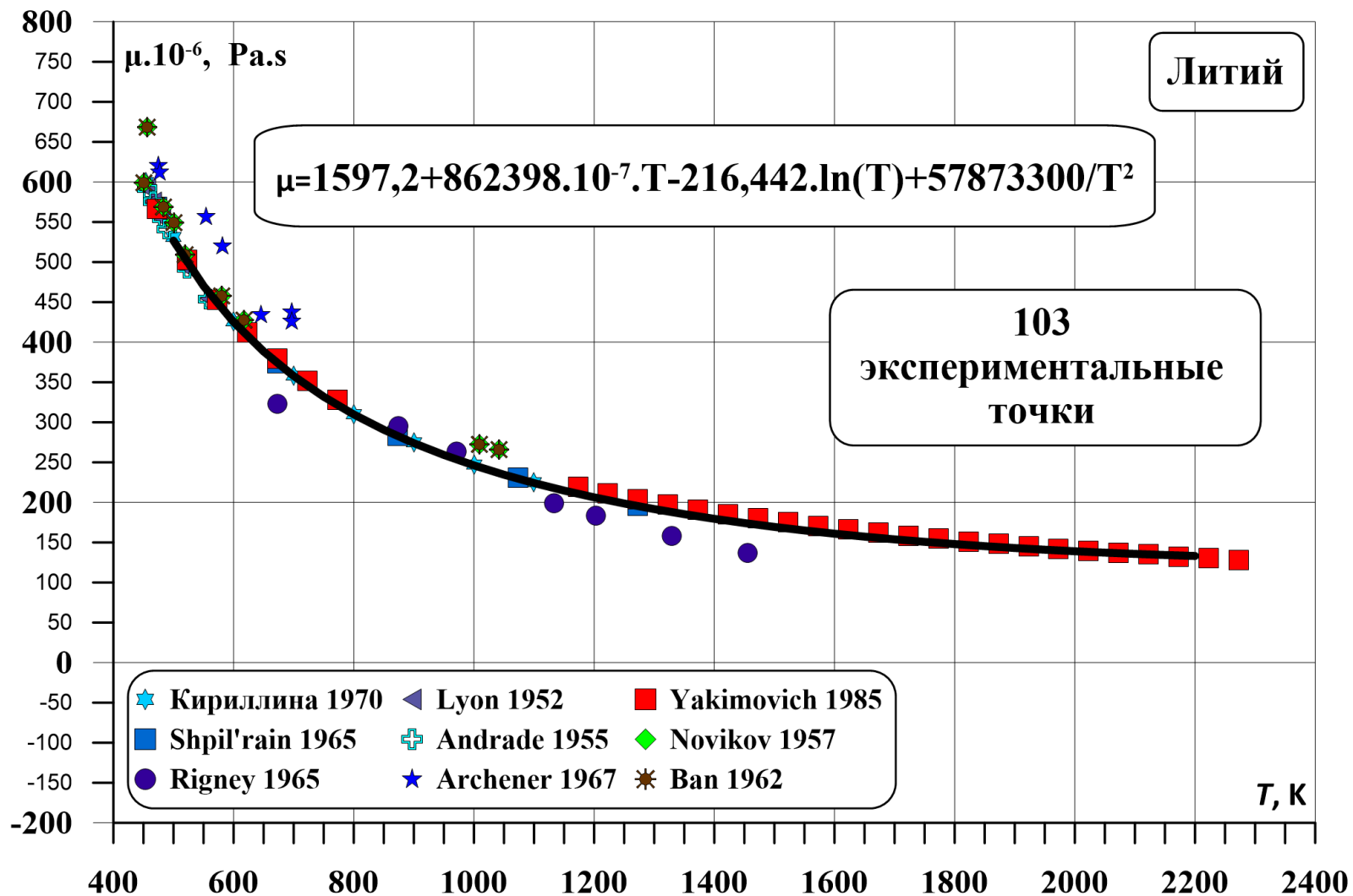
Источник: собственная разработка

Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициент поверхностного натяжения лития от температуры по данным различных авторов



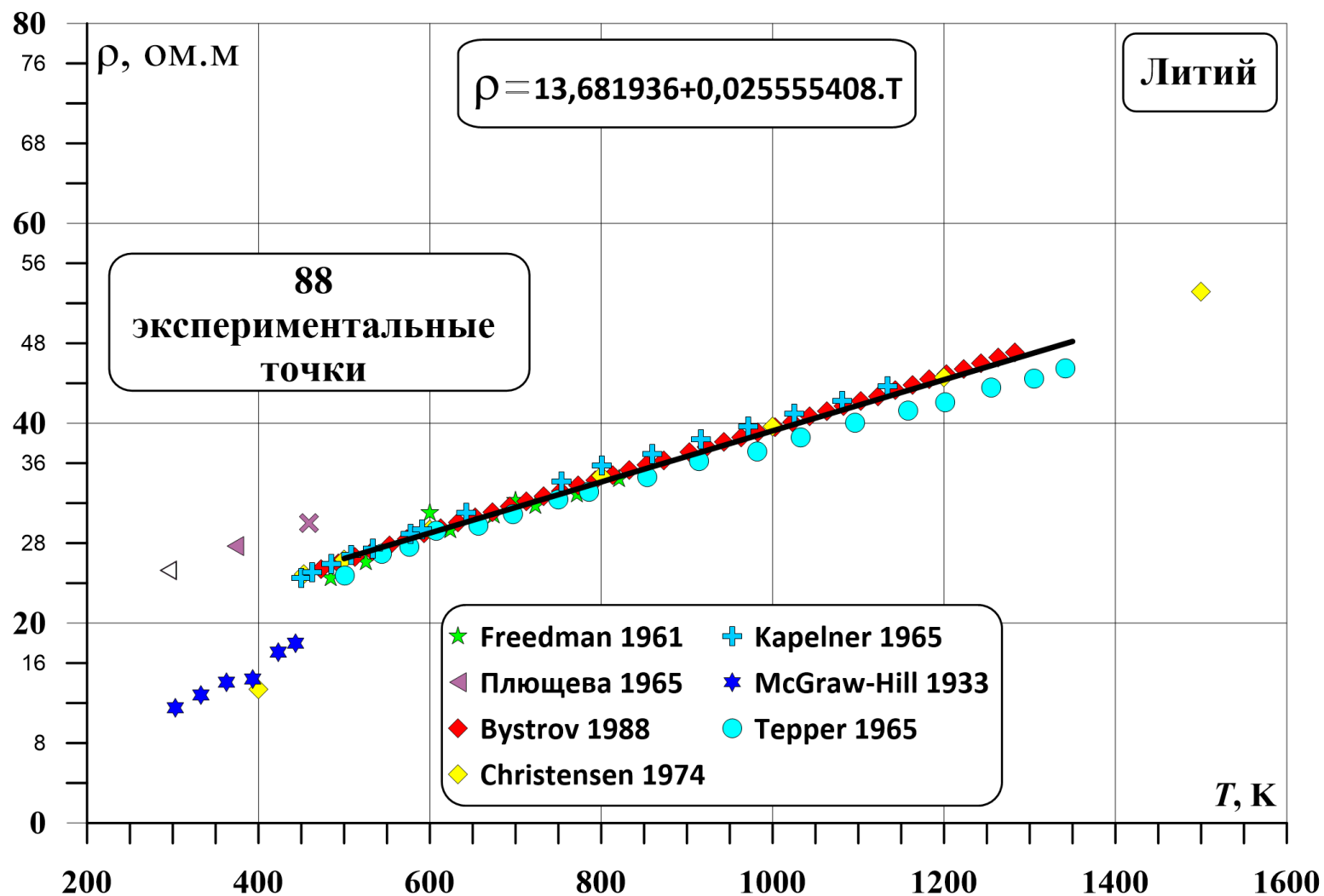
Источник: собственная разработка

Рисунок 3.3 – Зависимость теплоемкости лития от температуры по данным различных авторов



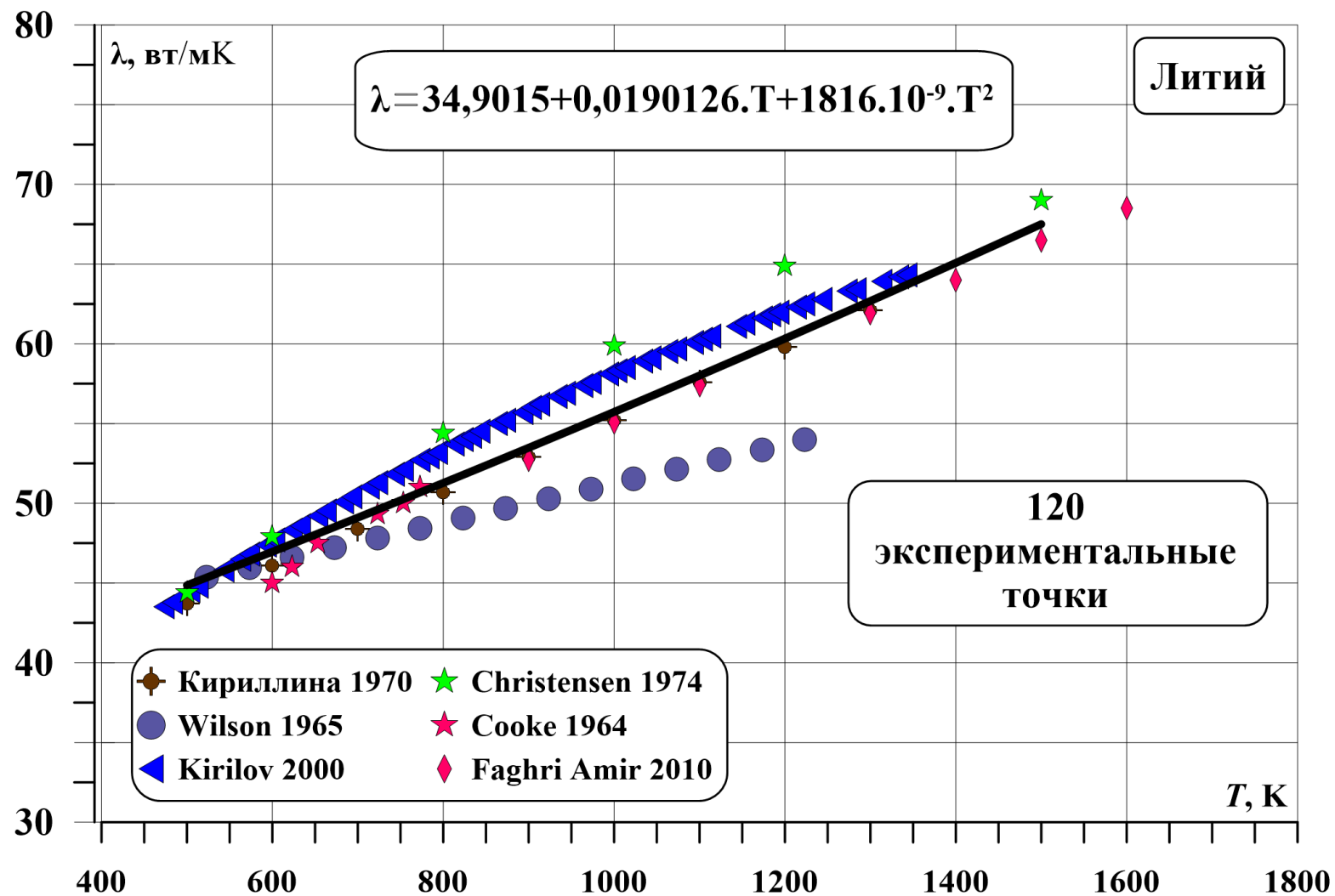
Источник: собственная разработка

Рисунок 3.4 – Зависимость вязкости лития от температуры по данным различных авторов



Источник: собственная разработка

Рисунок 3.5 – Зависимость удельное электрическое сопротивление лития от температуры по данным различных авторов



Источник: собственная разработка

Рисунок 3.6 – Зависимость теплопроводность лития от температуры по данным различных авторов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе приведены сведения о вновь разработанной базе данных для хранения и упорядочения сведений о жидкометаллических теплоносителях. Дано описание физической и логической схем базы данных. Приведено ее сравнительно подробное описание, методов ввода информации и методах извлечения информации из базы.

В настоящей работе приведены сведения о сборе термодинамической экспериментальной информации по жидкометаллическим теплоносителям. В частности, данные собирались по: литью. Глубина поиска составила 1952 – 2018 г. При проведении анализа использовались данные, начиная с 50-х годов прошлого столетия.

В ходе выполнения работ был разработан расчетный код, выполняющий обработку собранной экспериментальной информации. Конечным результатом работы кода является формулировка регрессионного выражения аппроксимирующего данные опытов. Во всех случаях проводится статистическая обработка данных и вычисляется погрешность предлагаемой регрессионной зависимости.

Основные результаты работы по настоящей дипломной работе изложены в главе номер три. В нем приведены рекомендуемые зависимости по расчету термодинамических свойств литья. Здесь же приведены диапазоны применимости рекомендованных соотношений. Отдельно приведены погрешности расчета по рекомендованным соотношениям в сравнении с соотношениями других авторов. Результаты сравнения приведены в таблицах. Из них следует, что

полученные соотношения могут быть использованы в качестве рекомендованных при расчете термодинамических свойств жидкометаллических теплоносителей.

Список Использованных Источников

1. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике. Под ред. П.Л. Кириллова., В 3-х томах, -М.: ИздДат, - 2014 г.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд. - М.: Наука, 1972. См. также Handbook of Physical Properties of Liquids and Gases / N.B. Vargaftik, V.K. Vinogradov, V.S. Yargin, 3-rd ang. and rev. ed. Begell House Inc., N.Y., 1996.
3. Никольский Н. А. сб. <Теплопередача и тепловое моделирование>М. АН СССР, 1958 стр 54
4. Lyon R. N. Liquid-metals handbook, 1952
5. Шпильрайн Э.Э, Якимович К.А, Мозговой А.Г, Цицаркын А.Ф, Цицаркын А.Ф, Экспериментальное исследование плотности жидкого лития при высоких температурах, ТВТ. 1984. Т. 22. № 4. С. 802.
6. S.V. Stankus, R.A. Khairulin, A.G. Mozgvoi, Experimental Study of Density and Thermal Expansion of the Advanced Materials and Heat Transfer Agents for Liquid Metal Systems of Thermonuclear Reactor: Lithium,
7. Vol. 49, No. 2, pp. 196–200. 2011
8. К. А. Якимович, Экспериментальное Исследование Плотности и Поверхностного Натяжение Расплавленного Лития При Температурах до 1300 К. Том 38, No:4
9. Мозговой А.Г. и др. Перспективные материалы. 2004, № 6, с. 30-36
10. E. I. Goltsova, "Densities 0: Lithium, Sodium, and Potassium at Temperatures up to 1500-1600 C," - High Temperature No:4, p. 348, 1966
11. Bystrov P.M., Kagan D.N., Krechetova G.A., Liquid Metal Coolants of Heat Pipes and Power Plants / Ed. by V.A. Kirilin. – М.: Nauka, 1988.
12. Г. И. Саркисов, Справочник и Расчетно-Графическим Работам по курсу "Теплопередача", Печ. Л. 4,25; уч. -изд. 3,50 Тираж 1000
13. Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 652 с.

14. Хайрулин Рашид Амирович, Термические свойства перспективных тритийвоспроизводящих материалов и теплоносителей итдкометаллического blankets термоядерного реактора. Литий, 2006. – 49 с.
15. А. Г. Мозговой, Экспериментальное Исследование Плотности и Поверхностного Натяжение Расплавленного Лития При Температурах До 1300 К, Том 38, No:5
16. Станкус С.В., Хайрулин Р.А. Теплофизика высоких температур. 1999, т. 37, № 2, с. 216-219.
17. Miller R.R. In: Liquid-Metals Handbook. Ed. Lyon R.N. Washington, D.C., USA: US Government Printing Office, 1952. P. 38-102.
18. Christensen N. E. Fenbacher B Volume and surface photoemission from tungsten 1 Calculation of band structure and emission spectra J Phys Rev B - 1974 - V 10, No 6, p 2349-2361
19. Tepper, F.; Zelenak, J. S.; Roehlich, F., Jr.; and May, V. B.: Thermophysical and Transport Properties of Liquid Metals. MSA Research Corp. (AFML-TR-65-99, DE No. AD-464138), May 1965.
20. Andrade, E. N. da C. ; and Dobbs, E. R. : The Viscosities of Liquid Lithium, Rubidium and Caesium. Proc. Roy. SOC., Ser. A, vol. 211, no. 1104, Feb. 7, 1952, pp. 12-30.
21. Been, S. A., et al. : The Densities of Liquids at Elevated Temperatures. Rep. NEPA- 1585, Fairchild Engine and Airplane Corp. , Sept. 7, 1950.
22. Субботин В.И., Арнольдов М.Н., Ивановский М.Н. и др. Литий. М.: ИзДАТ, 1999.
23. В. А. Кириллина, под ред. Акад. Изд-востандартов, Теплофизические свойства щелочности металлов 1970
24. J. Wilson Met. Rev. 1965, 10, 381.
25. Webber, Henry A. ; Goldstein, David; and Fellingner, Robert C. : Determination of the Thermal Conductivity of Lithium. Trans. ASME, vol. 77, no. 2, Feb. 1955, pp. 97-102.
26. Cooke, J. W. : Experimental Determination of the Thermal Conductivity of Molten Lithium from 320Oto 830' C. J. Chem. Phys., vol. 40, no. 7, Apr. 1, 1964, pp. 1902-1909.

27. Faghri Amir , Zhang Yuwen , Howell John, 2010, Advanced Heat and Mass Transfer, Global Digital Press, Columbia, MO
28. Варгафтик Н. Б Справочник По Теплофизический Свойствам газов и жидкостей. М., Физмагиз, 1963. 708 с.
29. Кириллов П. Л Денискина Теплофизические свойства жидкометаллических теплоносителей, 2000
30. P. E. Landolt, M. Sittig, "Lithium," Rare Metals Handbook, 2nd Edition, pp. 239-252, 1961.
31. Smithells C.J. Metal Reference Book/Ed. by S.G. Glazunov. Translated from English (5th ed. London: Publ. Butterworth and Co. Ltd., 1976). М.: Metallurgiya. 1980
32. Соловьев А. Н. Исследование теплофизических свойств веществ , изд-во <Наука> 1967
33. А. Г. Мозговой Экспериментальное Исследование Плотности и Поверхностного Натяжение Расплавленного Лития При Температурах До 1300 К, Том 38, No:4
34. J. Bohdansky, H. E. J. Schins, "The Surface Tension of the Alkali Metals," J. Inorg. Nucl. Chem. 29, p. 2173, 1967.
35. Vukalovich M.P, Ivanov A.I, Fokin L.R. Thermophysical Properties of Mercury. – М.: Izdatelstvo, Standartov, 1971
36. Taylor, J. W. : The Surface Energies of the Alkali Metals. Phil. Mag., vol. 46, Aug. 1955, pp. 867-876.
37. Achener, P. Y.: Alkali Metals Evaluation Program. Rep. AGN-8202, Aerojet General Corp. , Nov. 1966.
38. Freedman, J. F. ; and Robertson, W. D. : Electrical Resistivity of Liquid Sodium,
39. Liquid Lithium, and Dilute Liquid Sodium Solutions. Vol. 34, no. 1, Mar. 1961, pp. 769-780.
40. Kapelner, Samuel M.: The Electrical Resistivity of Lithium and Sodium and Sodium Potassium Alloy. Rep. PWAC-349, Pratt & Whitney Aircraft, June 30, 1961.
41. Плющева В. Е. Справочник по редким металлам. <МИР> 1965

42. International Critical Tables, National Research Council, McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y. – 1933
43. Novikov, I. I.; Soloviev, A. N.; Khabakhasheva, E. M.; Gruzdev, V. A.;
44. Pridantzev, A. I.; and Vasenina, M. Ya.: The Heat-Transfer and High Temperature Properties of Liquid Alkali Metals. J. Nucl. Energy, vol. 4, no. 3, pt. II, 1957, pp. 387-408.
45. Rigney, D. V.; Kapelner, S. M.; and Cleary, R. E.: The Viscosity of Lithium.
46. Rep. TIM-849, Pratt & Whitney Aircraft, July 1965
47. Ban, N. T. ; Randall, C. M. ; and Montgomery, D. J. : Effect of Isotopic Mass on Viscosity of Molten Lithium. Phys. Rev., vol. 128, no. 1, Oct. 1, 1962, pp. 6-11.

Приложения

Приложение А

Описание таблиц БД свойств реакторных материалов

Таблица: WRKS

Описание: Работы, которые являются основным контейнером для наборов данных. Одна работа может содержать произвольное количество наборов данных.

Поле	Описание
wrkid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор работы).
name	Уникальное имя работы.
year	Год публикации.
authors	Список авторов через запятую.
descr	Описание работы в произвольной форме.
created	Дата и время создания. Формат: dd/ММ/уууу hh:mm.

Источник: собственная разработка

Таблица: DATASETS

Описание: Наборы данных.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор набора данных).
name	Уникальное имя набора данных.
descr	Описание набора данных в произвольной форме.
datatype	Описание типа приведенных в наборе данных (1 – эксперимент, 2 – оценка, 3 – описание).
created	Дата и время создания. Формат: dd/ММ/уууу hh:mm.
mmid	Идентификатор методики измерений

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: MMETHODS

Описание: Справочник методик проведения экспериментов.

Поле	Описание
mmid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор методики проведения экспериментов).
name	Название методики.
descr	Оptionальное описание методики проведения экспериментов в произвольной форме.

Источник: собственная разработка

Таблица: PDFS

Описание: Ссылки на документы в формате pdf.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
docid	Синтетический идентификатор записи.
doctype	Тип документа (1 – данные в виде таблиц или функциональных зависимостей, 2 – геометрия эксперимента, 3 – публикация).
path	Полный путь к документу.
descr	Описание документа в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: COMPOSITIONS

Описание: Описание составов материалов рабочего тела. К одному набору данных может относиться неограниченное количество записей в данной таблице.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
elemid	Синтетический идентификатор композиции (химический состав материала из одного или нескольких химических элементов).
recid	Синтетический идентификатор элемента (номер конкретного химического элемента, который может входить в состав описываемого материала).
substance	Описание свойств материала из одного элемента, приведённого в списке химических символов из таблицы Менделеева. Пример: CO ₂ .
descr	Оptionальное описание свойств материала из одного химического элемента, приведённого в поле “substance”. Пример: углекислый газ.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: FRTCODES

Описание: Текст или подпрограмма на языке фортран.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
codeid	Синтетический идентификатор записи.
code type	Тип записи (1 – уравнение для функциональной зависимости, записанное с использованием синтаксиса ФОРТРАН-90, 2 – подпрограмма на языке ФОРТРАН-90 для расчёта функциональной зависимости).
codetxt	Код на языке ФОРТРАН-90.
descr	Описание кода в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Таблица: TBLS

Описание: Данные в виде текстовых таблиц.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
tblid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор таблицы).
descr	Описание таблицы в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: TBLHDRS

Описание: Заголовки столбцов текстовой таблицы с данными.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
tblid	Идентификатор таблицы.
hdrid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор столбца).
name	Имя столбца в произвольном виде.
uid	Идентификатор единицы измерения, в которой представлены значения в столбце.
oid	Ссылка на наблюдаемую величину.

Источник: собственная разработка

Таблица: TBLCELLS

Описание: Значения в ячейках текстовой таблицы в привязке к столбцам.

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
tblid	Идентификатор таблицы.
hdrid	Идентификатор столбца.
cellid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор ячейки в столбце).
value	Описание документа в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: DSOBSERV

Описание: Список физически наблюдаемых в привязке к наборам данных. Значения величины могут быть не заданы совсем, заданы дискретным значением или как диапазон значений (min-max).

Поле	Описание
wrkid	Идентификатор работы.
dsid	Идентификатор набора данных.
oid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор физически наблюдаемой).
min	Минимальное значение диапазона.
max	Максимальное значение диапазона.
uid	Идентификатор единицы измерения, в которой представлены значения наблюдаемой величины.
descr	Описание наблюдаемой величины в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Таблица: OBSERVABLES

Описание: Справочник физически наблюдаемых величин.

Поле	Описание
oid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор наблюдаемой величины).
catid	Идентификатор категории, к которой относится наблюдаемая величина.
name	Сокращенное обозначение наблюдаемой величины (пример, «Т»).
fullname	Полное название наблюдаемой величины (пример: «Температура»).
descr	Описание наблюдаемой величины в произвольном формате.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: CATEGORIES

Описание: Справочник категорий наблюдаемых.

Поле	Описание
catid	Синтетический идентификатор записи (идентификатор категории).
name	Название категории (пример: «Основные теплофизические наблюдаемые», «Термодинамические величины»).
descr	Описание категории в произвольном формате.
rendered	Флаг сигнализирующий о необходимости отображения категории пользователям.

Источник: собственная разработка

Таблица: UNITS

Описание: Справочник единиц измерения, в которых задаются значения наблюдаемых.

Поле	Описание
uid	Синтетический идентификатор записи.
ubrief	Краткое обозначение единицы измерения (например: м, км, л).
ufull	Развернутое наименование единицы измерения (например: метр, километр, литр).

Источник: собственная разработка

Таблица: OBSERVUNITS

Описание: Реализация связи «многие-ко-многим» для наблюдаемых (OBSERVABLES) и единиц измерения (UNITS).

Поле	Описание
oid	Идентификатор наблюдаемой величины.
uid	Идентификатор единицы измерения.

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: RECALC

Описание: Пересчет единиц измерения между собой.

Поле	Описание
fromid	Идентификатор единицы измерения, которая должна быть преобразована.
toid	Идентификатор единицы измерения, в которую необходимо перевести исходную единицу (fromid).
formula	Алгебраическое выражение для перевода из единицы измерения fromid в единицу измерения toid. Например: fromid=км, toid=м, formula=fromid*1000.

Источник: собственная разработка

Таблица: USERS

Описание: Таблица, содержащая список пользователей зарегистрированных в системе.

Поле	Описание
username	Имя учетной записи пользователя
passwd	Пароль
enabled	Статус учетной записи (активна/заблокирована)
email	Адрес электронной почты
expired	Срок действия учетной записи (формат: dd/MM/yyyy)

Источник: собственная разработка

Таблица: AUTHORITIES

Описание: Таблица, позволяющая назначать роли пользователей в системе.

Поле	Описание
username	Имя учетной записи пользователя
authority	Роль (например, ROLE_ADMIN)

Источник: собственная разработка

Продолжение Приложения А

Таблица: PARAMS

Описание: Таблица содержащая параметры системы в виде пар «ключ-значение».

Поле	Описание
parname	Уникальное имя системного параметра
parvalue	Значение параметра

Источник: собственная разработка

Приложение Б

Снимок экрана с главной страницей системы ExThermD и открытым диалогом авторизации пользователей



База данных термодинамических свойств реакторных материалов

Авторизация

О системе

Поддержка

Контакты

Логин:

Пароль:


[Гостевой доступ](#)

© Центр Данных Термодинамических Свойств (ЦДТС), 2017-2018

Источник: собственная разработка

Приложение В

Снимок экрана с формой поиска и результатами выполнения поискового запроса


База данных термодинамических свойств реакторных материалов

Каталог Справочники
Пользователь: admin. Выйти

Фильтр
Дополнительно

Материалы:

**Примеры: Pb, C20%газ, H2%, свинец%висмут%44*

Наблюдаемые:

*Категория	*Наблюдаемая	Мин. значение	Макс. значение	
Независимая переменная ▼	Температура материала, Температура ▼	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="1000"/>	✘
Зависимая переменная ▼	Коэффициент поверхностного натяжения, σ ▼	<input type="text"/>	<input type="text"/>	✘

* - поля обязательные для заполнения

Найдено записей: 2

31/10/2017 01:24
⋮ ⬇ ⬆ ✘

Номер работы: ЦДТС0009
Год публикации: 2003
Автор(ы): Б.Б. Алчагиров, О.И. Куршев, А.Г. Мозговой
Описание: Поверхностное натяжение жидкой свинец-висмутовой эвтектики при технически важных температурах. Перспективные материалы 2003 №6, с.50-54. Методом большой (лежащей) капли измерено поверхностное натяжение (ПН) расплавленной эвтектики системы Pb-Vi в интервале от температуры плавления до 623 К. Исследованный сплав приготовлялся весовым способом из свинца и висмута высокой чистоты, а его состав определялся комплексометрическим методом с погрешностью $\pm 0,2$ масс. % и оказался следующим: 44,6 масс. % Pb и 55,4 масс. % Vi. Доверительная погрешность проведенных экспериментов составляла около 1%. Полученные результаты сравниваются с имеющимися в литературе опытными данными и ПН жидких свинец-висмутовых сплавов эвтектического и околовтектических составов.

Наборы данных:

ЦДТС0009002 31/10/2017 02:28	Серия №1: измерения проводились при повышении температуры	⬆ ✘
ЦДТС0009003 31/10/2017 02:46	Серия №2: измерения проводились при понижении температуры	⬆ ✘

25/10/2017 08:21
⋮ ⬇ ⬆ ✘

Номер работы: ЦДТС0007
Год публикации: 2003
Автор(ы): Б.Б. Алчагиров, А.М. Чочаева, А.Г. Мозговой, М. Н. Арнольдов, В.Б. Бекулов, Х.Б. Хоконов
Описание: Поверхностное натяжение жидких околовтектических сплавов системы свинец-висмут ТВТ, 2003, том 41, выпуск 6, 852-859

Источник: собственная разработка

Приложение Г

Снимок экрана с главной страницей системы ExThermD и открытым диалогом редактирования выбранной работы

The screenshot displays the ExThermD system interface. At the top, there is a table for defining observed variables with columns for category, variable name, and min/max values. Below this is a search bar and a list of works. A dialog box titled 'Работа' is open, showing the details of a selected work for editing.

Наблюдаемые:

*Категория	*Наблюдаемая	Мин. значение	Макс. значение
Независимая переменная	Температура материала, Температура		

Добавить наблюдаемую

Найдено записей: 20

Работа

*Номер работы : ЦДТС0042
*Год публикации : 1962
*Автор(ы) : S. Takeuchi and H. Endo
*Описание работы : The Electric Resistivity of the Metals in the Molten State

OK Cancel

Источник: собственная разработка

Приложение Д

Снимок экрана системы ExThermD с открытым редактором наборов данных

Описание набора данных

*Номер набора данных: ЦДТС00070002

*Тип данных:
Эксперимент

Методика измерений:
Лежащей капли

Описание:
Сплав № 1.
Содержание Вi: 33.3 мас. %, (33.1 ат. %)

Состав материала

Наблюдаемые

Таблицы

Программные коды

Файлы данных

OK Cancel

Источник: собственная разработка

Приложение Е

Снимок экрана системы ExThermD с открытым редактором наборов данных (редактирование таблицы с данными)

The screenshot displays the ExThermD software interface for editing data sets. It features a sidebar with categories like 'Описание набора данных', 'Состав материала', 'Наблюдаемые', and 'Таблицы'. The main area shows a table with columns for 'Структура', 'Описание', and 'Данные'. A dialog box titled 'Структура таблицы' (Table Structure) is open, allowing configuration of columns for density and temperature. Another dialog, 'Значения в ячейках' (Values in cells), shows a grid of numerical data.

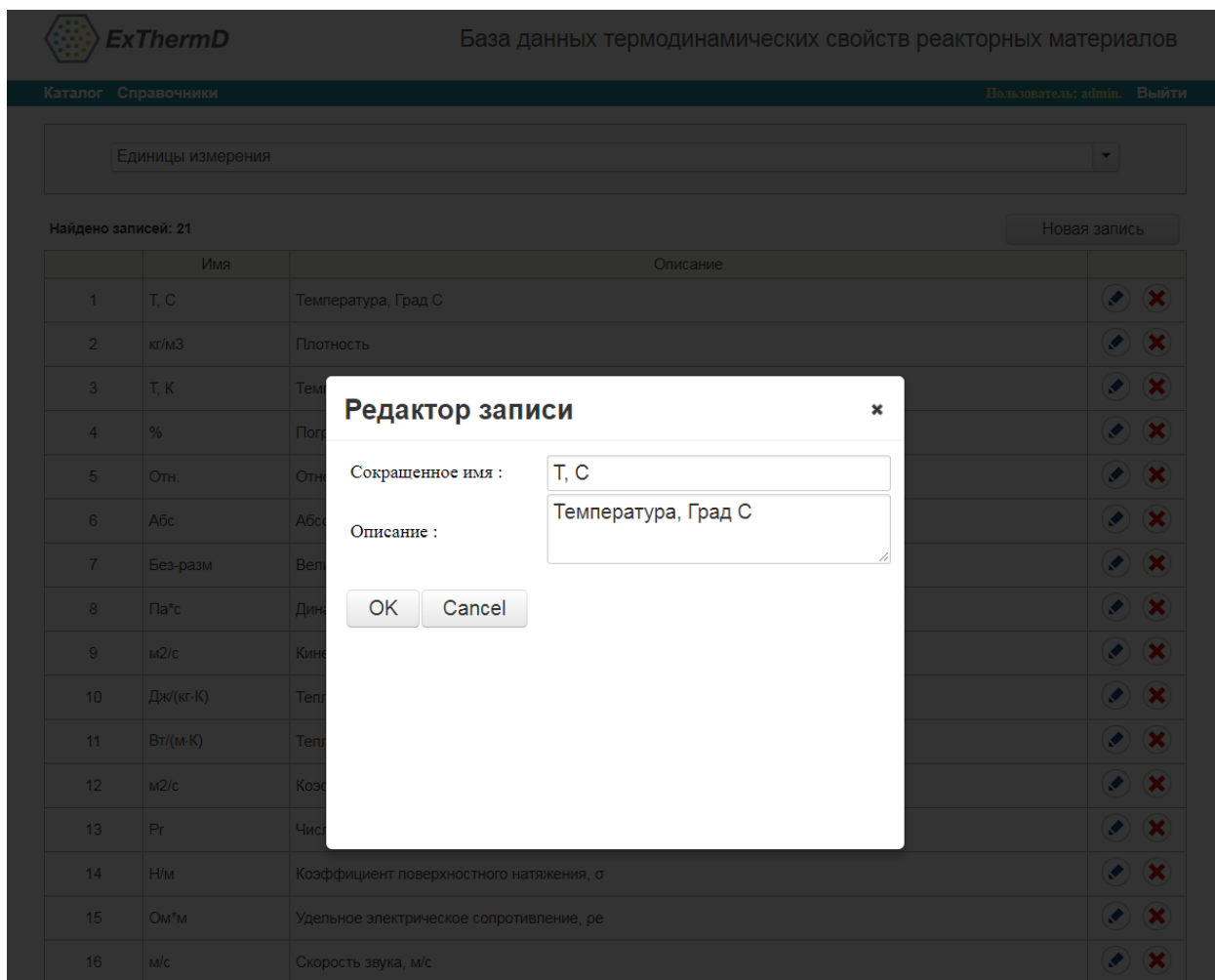
Структура	Описание	Данные
1 Плотность, Погрешность, Температура Изменить		Значения в ячейках Загрузить файл

8902.9	0.4	1505.1
8927.2	0.4	1492.0
8937.0	0.4	1478.9
8953.8	0.4	1465.6
8968.3	0.4	1452.3
9395.6	0.4	1102.1
9402.1	0.4	1090.4
9413.0	0.4	1079.0
9426.3	0.4	1067.7
9428.1	0.4	1056.5
9435.8	0.4	1045.3
9466.3	0.4	1033.4

Источник: собственная разработка

Приложение Ж

Снимок экрана системы ExThermD с открытым редактором записей в справочнике единиц измерения для физических величин



Источник: собственная разработка

Приложение И

Снимок экрана системы ExThemD с открытой страницей просмотра подробных данных по выбранной работе и набору данных

[Вернуться](#)

Номер работы: ЦДТС0042
 Год публикации: 1962
 Автор(ы): S. Takeuchi and H. Endo
 Описание: The Electric Resistivity of the Metals in the Molten State

Выберите набор данных:

[Описание](#) [Таблицы](#) [Состав материала](#) [Файлы](#) [Коды](#)

Температура	Эл. Сопр
T, C	Ом*м
100.0	144.55261
120.456505	155.87323
130.75269	169.6634
148.00989	179.6025
197.64856	216.58293
210.0224	230.65083
214.7809	243.33292
229.95224	254.09663
257.48926	280.0306
261.5934	287.4758
265.01456	293.54233
271.9203	297.13214
272.43884	133.98306
300.86765	133.18567
334.81982	135.42548
400.67926	135.21796
449.1955	136.64604
478.96777	141.63745
498.4009	138.62604

[Сохранить как](#)

Текстовый файл (*.txt)
 XML файл (*.xml)
 XLS файл (*.xls)

Источник: собственная разработка