

Е.Ю. Кулямина, А.О. Еркимбаев

Электронная библиотека как средство публикации научных результатов в сети: опыт распространения данных по аномалиям термического расширения вещества*

Предложена концепция малоформатной электронной библиотеки (ЭБ), позволяющей распространять в Интернете собранную информацию по проекту, выполняемому в научном коллективе. В качестве эффективного программного средства построения ЭБ использована многоязычная система автоматизации библиотек и информационных центров ABCD, с применением сервисных возможностей которой создано универсальное средство хранения, систематизации и распространения научных данных. Разработанная библиотека используется для распространения в сети данных и документов по аномалиям термического расширения вещества. Специфика предметной области, предполагающая постоянное возникновение новых терминов, понятий и концепций, расширение круга веществ, отражена в принятой нами системе метаданных с возможностью их непрерывного расширения.

Ключевые слова: база данных, электронная библиотека, метаданные, термическое расширение, аномалии термических свойств

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающее количество исследований, проводимых во всех естественнонаучных и инженерных дисциплинах, привело к возникновению принципиально новых средств и технологий хранения, обработки и распространения научных знаний. Среди них – компьютерные базы данных (БД); электронные библиотеки (ЭБ); порталы; интегрированные среды, объединяющие разнородные ресурсы и сервисы; инструментарий *Semantic Web*, обеспечивающий автоматическое связывание опубликованных в сети тематически родственных документов. Существует обширная научная литература по использованию этих технологий в таких областях как астрономия, биология, химия и др. [1–4]. Все эти технологии нацелены на охват, систематизацию и распространение обширного потока документов и данных, актуальных для определенной дисциплины.

Необходимость в новых формах публикаций, отличных от традиционных, возникает и для задач меньшего масштаба, например, для распространения результатов, полученных в отдельной научной группе по определенному проекту [5, 6]. В настоящей статье развита концепция такой формы научных публикаций, использующей возможности самостоятельной малоформатной ЭБ, на основе которой можно сформировать обширную коллекцию электронных

документов, обеспечив их детальную рубрикацию и непрерывную эволюцию состава и структуры.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность и преимущества электронных библиотек, использованы материалы проекта Российского фонда фундаментальных исследований в области физики конденсированного вещества, связанного с аномалиями термического расширения¹.

Термическое расширение – фундаментальное свойство твердых тел. Хорошо известно, что подавляющее большинство веществ и материалов расширяются во время нагревания при постоянном давлении, т.е. они имеют положительный коэффициент термического расширения (КТР). Однако, некоторые материалы, такие как вольфрамат циркония ZrW_2O_8 , силикаты (β -эвкрипит $LiAl[SiO_4]$), цианиды ($Cd(CN)_2$), сплавы «Инвар» типа $Fe-Pt$, оксиды перовскита (на основе никеля $Bi_{0,95}La_{0,05}NiO_3$), в определенных температурных интервалах проявляют аномальные свойства, уменьшаясь в объеме (сжимаясь) во время нагрева при определенном постоянном давлении, т.е. имеют отрицательный коэффициент термического расширения (ОКТР). Подобное аномальное поведение демонстрируют не только твердые тела, но и жидкости – самая известная из которых – вода.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-08-00736

¹ Проект РФФИ «Термодинамика веществ с отрицательными коэффициентами термического расширения и Грюнайзена».

Существует ряд важных потенциальных применений веществ с отрицательным коэффициентом термического расширения. Наиболее очевидное – создание композиционных материалов, коэффициент расширения которых можно точно настроить к положительному, отрицательному или даже нулевому значению.

В ходе нашей работы была собрана обширная коллекция документов: статьи, электронные файлы, протоколы с результатами физических и компьютерных экспериментов, графические материалы, средства мультимедиа и т.п. В создаваемом хранилище каждый документ сопровождается разноплановой информацией (библиографическая и фактографическая), а также размещенные на сервере и в сети тексты публикаций и численные данные. Совокупность собранных данных в виде электронных документов разного формата образует основу ЭБ. В соответствии с принятым стандартом [7], под термином «**электронная библиотека**», понимается информационная система, предназначенная для организации и хранения упорядоченного фонда электронных объектов, а также для обеспечения доступа к этим объектам средствами навигации и поиска. Подробно электронные библиотеки рассмотрены в [8-10]. С их помощью решаются следующие задачи:

- формирование фонда (регистрация, обработка, исключение объектов);
- хранение и актуализация данных из множества ресурсов, различающихся *контентом* и средой представления;
- разносторонняя систематизация представленных данных в соответствии со стандартами, принятыми в выбранной предметной области;
- поддержка разнообразных способов представления информации;
- способность интеграции собственных документов ЭБ с документами и данными, размещенными в глобальной сети;
- предоставление пользователям возможности навигации в системе, поиска и получения информации;
- администрирование и управление системой.

ВЫБОР СИСТЕМЫ ABCD В КАЧЕСТВЕ ПЛАТФОРМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ

Для разработки и поддержки тематически-ориентированной электронной библиотеки в качестве соответствующего инструментария нами была использована *ABCD (Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación)* – интегрированная система автоматизации библиотек и информационных центров, разработанная информационным центром *BIREME* университета г. Сан-Паулу (Бразилия). Изначально она создавалась как региональная система, способная поддерживать общедоступную информацию в сфере медицины и культуры в странах Латинской Америки (подробное описание системы *ABCD* см. на сайте её разработчиков [11] или в [12, 13], где она использовалась для управления обширными хранилищами теллофизических данных).

Программный пакет *ABCD* состоит из относительно независимых модулей, которые могут взаимодействовать друг с другом, но могут работать и независимо. Основной компонент системы включает модули, обеспечивающие:

- администрирование БД (создание БД, редактирование их структуры, использование утилит);
- каталогизацию источников;
- сбор данных и источников;
- выдачу статистических данных о состоянии фонда и обращениях к нему;
- экспорт/импорт документов в различных форматах.

Электронная библиотека, созданная на основе *ABCD*, имеет возможности: варьировать форматы представления библиографических данных; хранить специализированные коллекции, включающие цифровые и графические данные; сочетать библио- и фактографическую информацию; собирать данные из внешних сред. Наряду с этим, она поддерживает классификаторы, обладает развитой системой поиска на библиотечном сервере и в сети Интернет, а также предоставляет пользователям доступ к электронным книгам и другим первоисточникам в электронном виде.

Для разработчиков ЭБ практическая ценность системы *ABCD* заключается в том, что это открытое (свободно распространяемое) приложение, способное генерировать произвольную по сложности систему полей/метаданных, адекватно отражающих систематизацию данных в достаточно сложных предметных областях. Многообразие типов и форматов данных, предусмотренное в *ABCD*, создает широкие возможности для хранения и систематизации документов, существенно различающихся по объему, структуре, среде и форме представления при весьма скромных компьютерных ресурсах, поэтому *ABCD* идеально подходит для составления сложноорганизованных коллекций и архивов научных документов, создаваемых и поддерживаемых в рамках небольших научных коллективов [5, 6, 12, 13].

Ключевую роль в проекте создаваемой ЭБ играет принцип систематизации предметной области, включающий выбор полей/метаданных и присвоение каждому из них определенного формата. В табл. 1 показаны возможности системы *ABCD* в части выбора форматов.

При разработке нашей электронной библиотеки были в основном использованы форматы трех типов: текстовой, классификатор и *HTML*.

Текстовые форматы (№ 2 и № 3 табл. 1) предоставляют возможность ввести строку фиксированной или произвольной длины.

Форматы “*Select simple*” и “*Select multiple*” наделяют поле записи функцией классификатора, позволяя выделить один или несколько элементов из предварительно составленного списка. Они фиксируют название определяющих признаков, избегая неоднозначности и свободного назначения этих понятий на этапе ввода и/или поиска. Поля записи, в которых имеет смысл использовать эти форматы, – это выбор языка, использованного в источнике, выбор метода исследования, типа документа и т.п.

Форматы ввода, предусмотренные в системе ABCD и используемые в полях записи созданной электронной библиотеки

№	Формат	Особенность формата
1	<i>Auto increment</i>	Автоматическое назначение номера
2	<i>Text</i>	Формат ввода в окне текста фиксированной длины
3	<i>Text/Textarea</i>	Формат ввода в окне текста переменной длины
4	<i>Select simple</i>	Классификатор с возможностью выбора одного элемента из составленного списка
5	<i>Select multiple</i>	Классификатор с возможностью выбора нескольких элементов из составленного списка
6	<i>Upload file</i>	Загрузка находящегося на сервере файла с генерацией соответствующей связи
7	<i>External HTML</i>	Загрузка файла из сети по заданному URL-адресу с генерацией соответствующей связи
8	<i>HTML area</i>	Предоставление пользователю полноценного редактора для ввода и редактирования текста с HTML-кодами
9	<i>Hidden</i>	Ввод данных, закрытых при просмотре

Формат “HTML area” предназначен для ввода в ЭБ сложноструктурированных блоков информации. Он позволяет при вводе текста управлять шрифтами, вводить графические элементы, гиперссылки и др. При этом, не предполагается каких-либо априорных требований к структуре блока, что является основным условием поддержки данных сложной структуры, так называемых *полуструктурированных* данных (ПСД) [14].

Кроме перечисленных, предусмотрено два формата только для связи с внешними ресурсами: “External HTML” и “Upload file”. Они реализуют в полном объеме потенциал ЭБ, включая: сочетание библиографических данных с полным текстом источника, неограниченные возможности по использованию контекстной информации, множество сред представления данных (графика, видео, аудио и др.).

МЕТАДАННЫЕ И ПОИСКОВЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ

Предусмотренные в системе ABCD форматы позволяют вводить характерный для предметной области набор метаданных. Как было отмечено, основным требованием при создании такого набора является организация сложной логической структуры данных ПСД, характерной для всей области «свойства веществ и материалов» [14-16] и необходимой в тех случаях, когда данные невозможно «встроить» в рамки жестко фиксированной схемы, что требуется в традиционных БД. Особенность полуструктурированных данных – частые вариации числа и типа метаданных в зависимости от выбора объекта. Как правило, это связано с различиями в стандартах описания разных веществ (например, с учетом их изомерии или неполной стехиометрии), а также в номенклатуре физических свойств, присущих разным классам веществ. Общий подход к решению проблем, связанных с вариацией структуры данных по свойствам веществ, изложен в работах [15, 16].

Форматы ввода ABCD обеспечивают относительно простые средства поддержки гибкой структуры данных. Посредством классификаторов удается сформировать «жесткий остов» структуры с выбором фиксированных значений метаданных. По мере заполнения электронной библиотеки новыми документами имеется возможность расширять список, используемый каждым из классификаторов, за счет новых, ранее не предусмотренных элементов, например новых видов свойств. Формат типа “HTML area” позволяет в достаточно произвольной форме расширить трактовку каждого из понятий, используемых в ЭБ.

Структура электронной библиотеки

Для развернутой аттестации документов, относящихся к тематике, связанной с аномалиями теплового расширения вещества, предложена система полей/метаданных (табл. 2). Запись, соответствующая одному документу, предусматривает заполнение 21-го поля, каждое из которых имеет определенный формат ввода, указанных в табл. 1. В совокупности все эти поля позволяют отобразить набор признаков, определяющих источник документа (библиографическая информация), особенности рассматриваемых материалов или веществ, примененные методы изучения (экспериментальные и теоретические) и описанные свойства этих материалов, а также дают возможность пользователю ознакомиться с полным текстом документа и/или с дополнительной информацией, расположенной на удаленных серверах.

Все поля, приведенные в табл. 2, можно разделить на три блока.

Поля первого блока (№№ 1–3, 10–15, 18 и 19) содержат информацию, описывающую источник: автор, название, место и время публикации и т.д. Поле № 2 указывает тип записи, позволяя в ЭБ разделить записи, содержащие библиографическую, полнотекстовую и фактографическую информацию, извлекаемую из документа. Поле № 3 выделяет тип источника

(статья, монография и т.п.) Оба эти поля, как и поле № 15, используют формат ввода “*Select simple*” – классификаторы с возможностью выбора только одного элемента из предварительно составленного списка. Поле № 18 содержит ключевые слова из текста, размещаемого в ЭБ документа, а поле № 19 – аннотацию выбранного документа. В последнем используется формат типа “*HTML area*”.

Поле № 21 не предназначено для просмотра пользователем и отражает служебную информацию, например, сведения о дате ввода и фамилию эксперта и др.

Поля второго блока определяют различные аспекты научного содержания документа: название вещества или материала, перечень свойств, состояний и методов исследований. В этом блоке активно используется формат ввода “*Select multiple*”, т. е. классификатор с возможностью выбора нескольких элементов из предварительно составленного списка. С его помощью указываются агрегатное состояние (поле № 4), метод исследования (поле № 5), названия веществ (поле № 7) и свойств (поле № 9). Возможность выбора нескольких элементов из списка позволяет наиболее полно отразить содержание большинства исследований, где одновременно рассматривается несколько веществ, определяется набор свойств и т.п.

Поля третьего блока (№№ 16, 17, 20) содержат гиперссылки на внешние ресурсы: № 16 – включает

гиперссылку на размещенный на сервере файл с полным текстом документа (статьи, монографии, обзоры и т. д.); № 17 – связывает пользователя с таким же файлом, но размещенным на удаленном сервере; комментарии и гиперссылки на справочные документы на сервере или в сети внесены в № 20. Поля этого блока могут быть полезны пользователям, так как отражают общие сведения в выбранной предметной области.

В табл. 3 раскрывается содержание списков, включенных в каждый из классификаторов, предусмотренных в системе полей (см. табл. 2).

Непрерывное развитие предметной области, возникновение новых понятий и терминов вызывает необходимость расширения классификатора новыми элементами без исключения уже имеющихся. В системе *ABCD* предусмотрена эволюция классификаторов [11–13], что и было использовано в создаваемой электронной библиотеке. Наряду с этим, учитывалось, что перечень элементов классификаторов, раскрывающих научное содержание документа, никогда не является исчерпывающим из-за сложной структуры данных [14–16]. С этой целью для ряда понятий, наряду с классификатором, использовался и текстовый формат: поле № 6 – для раскрытия понятия о веществе/материале и поле № 8 – для раскрытия понятия о свойстве.

Таблица 2

Поля записи электронной библиотеки

Номер поля	Название поля	Формат ввода
1	<i>Record index</i>	<i>Auto increment</i>
2	<i>Record type</i>	<i>Select simple</i>
3	<i>Document type</i>	<i>Select simple</i>
4	<i>State</i>	<i>Select multiple</i>
5	<i>Research methods</i>	<i>Select multiple</i>
6	<i>Substance(free title)</i>	<i>Text/Textarea</i>
7	<i>Substance</i>	<i>Select multiple</i>
8	<i>Property(free title)</i>	<i>Text/Textarea</i>
9	<i>Property(classif)</i>	<i>Select multiple</i>
10	<i>Authors</i>	<i>Text/Textarea</i>
11	<i>Affiliation</i>	<i>Text/Textarea</i>
12	<i>Title</i>	<i>Text/Textarea</i>
13	<i>Source</i>	<i>Text/Textarea</i>
14	<i>Year</i>	<i>Text</i>
15	<i>Language</i>	<i>Select simple</i>
16	<i>Full text</i>	<i>Upload file</i>
17	<i>Web source</i>	<i>External HTML</i>
18	<i>Keywords</i>	<i>Text/Textarea</i>
19	<i>Abstract</i>	<i>HTML area</i>
20	<i>Comments</i>	<i>HTML area</i>
21	<i>Service comments</i>	<i>Hidden</i>

Классификаторы, используемые в электронной библиотеке

Номер поля записи	Название	Тип	Перечень элементов
2	<i>Record type</i>	<i>Simple</i>	Полный текст Библиография Данные
3	<i>Document type</i>	<i>Simple</i>	Статья Монография Обзор Отчет Диссертация Web-документ Документ конференции Патент Препринт Презентация Сообщение Тезисы Словарь/Энциклопедия
4	<i>State</i>	<i>Multiple</i>	Твердое Жидкое Газообразное
5	<i>Research methods</i>	<i>Multiple</i>	Молекулярная динамика Уравнение состояния Первопринципный расчет Традиционный эксперимент Алмазные наковальни Ударные волны Изоэнтропа
7	<i>Substance</i>	<i>Multiple</i>	H_2O ZrW_2O_8 Si SiO_2
9	<i>Property(classif)</i>	<i>Multiple</i>	Коэффициент теплового расширения Коэффициент Грюнайзена Скорость звука Фазовый переход Плотность Температура
15	<i>Language</i>	<i>Simple</i>	Русский Английский Немецкий Французский Китайский

Средства поиска электронной библиотеки

Большой набор полей, использующих разные типы форматов ввода, позволяет вести многоаспектный поиск в ЭБ, ориентируясь на требования пользователя в отношении типа данных, вещества, свойства и т.п. Традиционный поиск с помощью конструктора запросов, реализуемый классификаторами в комбинации с логическими операторами *AND*, *OR*, *NOT* дает относительно простой, хотя и схематичный, способ выбора релевантных документов. Например, связывая оператором *AND* набор признаков

“*Record type*”=Полный текст

“*Document type*”=Статья

“*Substance*”= H_2O ,

пользователь выделит из фондов ЭБ все документы, включающие полные тексты статей, содержащих данные для H_2O .

Поиск можно сузить, выбрав дополнительно один (или несколько) элементов в классификаторах “*Research methods*” и “*Property(classif)*”, а расширить сферу поиска можно, отказавшись от использования классификаторов “*Record type*” и/или “*Document type*”, т.е. приняв все виды записей и все типы исходных документов. Наряду с поиском посредством классификаторов, система позволяет проводить так называемый, *полнотекстовый* поиск, т. е. ориентироваться на определенную лексическую единицу. В этом случае, поиск по термину включает текстовые записи в по-

лях “*Substance(free title)*”, “*Property(free title)*” и “*Keywords*”. Существенно также, что полнотекстовый поиск захватывает и поля, заполненные в формате “*HTML area*”, вне зависимости от типа и размера шрифта.

Хотя тематика электронной библиотеки ограничена определенным кругом явлений, глубокая связь этих явлений с особенностями строения вещества предполагает использование при систематизации данных достаточно широкой терминологической базы. В частности, тепловое расширение в твердой фазе зависит от деталей кристаллической решетки, фононного спектра, механических свойств и т.п. [17]. Процессы теплового расширения вещества в жидкой фазе связаны с другим кругом явлений и характеристик [18]. Это, прежде всего, фазовая диаграмма, отражающая возможность расслоения, параметры фазовых переходов, сжимаемость и коэффициент диффузии. Возможности термических аномалий в ударных волнах требуют вовлечения таких понятий как динамическая сжимаемость, ударная адиабата, изоэнтропа разгрузки и др. [19].

В научной литературе постоянно возникают новые понятия и термины, например, *полиаморфизм*, отражающий сосуществование в однокомпонентной жидкости различных аморфных состояний, или вторая критическая точка, завершающая линию фазового расслоения жидкости [20]. Непрерывный рост числа новых понятий ведет к необходимости не только ввода новых документов, но и перманентной подстройки системы метаданных, в том числе путем расширения или создания новых классификаторов, а также возможного введения в классификаторы иерархических структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе системы *ABCD* была реализована самостоятельная малоформатная электронная библиотека по аномалиям термического расширения веществ. Предложенные нами системы полей и наборы классификаторов в сочетании с возможностями *ABCD* позволили выполнить задачи сбора и регистрации в единой базе результатов мировых научных исследований в такой специфичной и узкой, но крайне важной с фундаментальной точки зрения, области знания, как аномальное поведение веществ и материалов. Созданная электронная библиотека открывает возможности для теоретического анализа и сравнения известных данных по аномалиям термического расширения и дальнейшего накопления новых данных. Использование *ABCD* в качестве рабочей платформы позволяет безболезненную модернизацию/расширение системы полей и классификаторов (электронная библиотека имеет в сети электронный адрес: <http://entropy-plus.thermophysics.ru>. Гостевой вход возможен по логину/паролю: entropy/entropy).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартунов О.С., Карпов С.В. Базы данных и астрономия - практический подход // Электронные библиотеки. – 2011. – Т. 14, № 1. – URL: <http://www.elbib.ru/index>.

- phtml?page=elbib/rus/journal/2011/part1/BK (дата обращения 03.11.2018 г.).
2. Marcondes C.H., Malheiros L.R., da Costa L.C. A semantic model for scholarly electronic publishing in Biomedical Sciences // *Semantic Web*. – 2014. – Vol. 5, № 4. – P. 313-334.
 3. Bird C.L., Frey J.G. Chemical information matters: an e-Research perspective on information and data sharing in the chemical sciences // *Chemical Society Reviews*. – 2013. – Vol. 42, № 6. – P. 6754-6776.
 4. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Серебряков В.А., Теймуразов К.Б. Технология научных публикаций в среде «открытых связанных данных» // *Научно-техническая информация. Сер. 1*. – 2013. – № 12. – С. 1-11; Erkimbaev A.O., Zitserman V.Y., Kobzev G.A., Serebrjakov V.A., Teymurazov K.B. Publishing scientific data as linked open data // *Scientific and Technical Information Processing*. – 2013. – Vol. 40, № 4. – P. 253-263.
 5. Трахтенгерц М.С. Электронная библиотека научного коллектива // *Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2011*. – Воронеж, 2011. – С. 395-396.
 6. Cragin M.H., Palmer C.L., Carlson J.R., Witt M. Data sharing, small science and institutional repositories // *Philosophical Transactions of the Royal Society*. – 2010. – Vol. 368. – P. 4023-4038.
 7. ГОСТ Р 7.0.96-2016. «СИБИД. Электронные библиотеки. Основные виды. Структура. Технология формирования» – URL: https://www.rsl.ru/datadocs/doc_7667ve.pdf (дата обращения 28.11.2018 г.).
 8. Земсков А.И., Шрайберг Я.Л. Электронные библиотеки: учебник для студентов вузов культуры и искусств и др. высших учеб. заведений. – М.: Либерия, 2003. – 352 с.
 9. Когаловский М.Р., Новиков Б.А. Электронные библиотеки – новый класс информационных систем // *Программирование*. – 2000. – № 3. – С. 3-8.
 10. Когаловский М.Р. Систематика коллекций информационных ресурсов в электронных библиотеках // *Программирование*. – 2000. – № 3. – С. 30-52.
 11. ABCD library automation software. – URL: <https://sites.google.com/site/abcdlibraryautomationsoftware/> (дата обращения 05.09.2018 г.).
 12. Трахтенгерц М.С. *ABCD* – автоматизированная библиотечная система на базе *WinISIS* // *Научно-техническая информация. Сер. 2*. – 2009. – № 8. – С. 33-35; Trakhtenherz M.S. ABCD, an Automated Library System Based on WinISIS // *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. – 2009. – Vol. 43, № 4. – P. 241-243.
 13. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Трахтенгерц М.С. Цифровая библиотека вместо традиционной базы данных для нанотехнологий: опыт использования системы

- ABCD // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2014. – № 5. – С. 12-22; Erkimbayev A.O., Zitserman V.Yu., Kobzev G.A., Trakhtenherz M.S. A digital library instead of a traditional database for nanotechnologies: An attempt to use the ABCD system // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2014. – Vol. 48, № 4. – P. 213–223.
14. Techopedia. Semi-Structured Data. – URL: <https://www.techopedia.com/definition/28802/semi-structured-data> (дата обращения 18.10.2018 г.).
15. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Фокин Л.Р. Логическая структура физико-химических данных. Проблемы стандартизации и обмена численными данными // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82, № 1. – С. 20-31.
16. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А. Роль метаданных в создании и использовании информационных ресурсов о свойствах веществ и материалов // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2008. – № 11. – С. 13-19; Yerkimbaev A.O., Zitserman V.Yu., Kobzev G.A. The Role of Metadata in the Creation and Application of Information Resources on the Properties of substances and Materials // Scientific and Technical Information Processing. – 2008. – Vol. 35, № 6. – P. 247–255.
17. Mittal R., Gupta M.K., Chaplot S.L. Phonons and anomalous thermal expansion behavior in crystalline solids // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 92. – P. 360–445.
18. Errington J.R., Truskett T.M., Mittal J. Excess-entropy-based anomalies for a waterlike fluid // Journal of Chemical Physics. – 2006. – Vol. 126, Answer № 244502.
19. Медведев А.Б., Трунин Р.Ф. Ударное сжатие пористых металлов и силикатов // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182, № 8. – С. 829-846.
20. Anisimov M.A., Duška M., Caupin F. et al. Thermodynamics of Fluid Polyamorphism // Physical Review X. – 2018. – Vol. 8, Answer № 011004.

Материал поступил в редакцию 27.12.18.

Сведения об авторах

КУЛЯМИНА Елена Юрьевна – ведущий инженер, Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва
e-mail: kulyamina.elena@gmail.com

ЕРКИМБАЕВ Адильбек Омирбекович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
e-mail: adilbek@ihed.ras.ru