

УДК 004.822, 517.9

## ОБ ОПИСАНИИ НЕКОТОРЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ В СЕМАНТИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКЕ LIBMETA

О. М. Атаева<sup>1</sup> [0000-0003-0367-5575], В. А. Серебряков<sup>2</sup> [0000-0003-1423-621X],

Н. П. Тучкова<sup>3</sup> [0000-0001-5357-9640]

<sup>1-3</sup>Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ Информатика и управление РАН, ул. Вавилова, 40, г. Москва, 119333

<sup>1</sup>oli.ataeva@gmail.com, <sup>2</sup>serebrvas@gmail.com, <sup>3</sup>natalia\_tuchkova@mail.ru

### **Аннотация**

Использован подход онтологического проектирования для описания семантики некоторых краевых задач в цифровой библиотеке LibMeta.

Для описания задач в библиотеке LibMeta установлены связи терминов и понятий с классическими определениями математической энциклопедии и других первоисточников. Установление связей позволяет сформировать словарь и тезаурус прикладной предметной области краевых задач и поместить результаты в семантическую среду цифровой библиотеки. Примеры такого подхода продемонстрированы с использованием возможностей семантической библиотеки LibMeta, в которую в процессе развития интегрированы в оцифрованном виде версия математической энциклопедии, энциклопедии математической физики, классификаторы, прикладные математические тезаурусы и словари. Новые термины из публикаций после добавления в контент библиотеки отразились со связями в математической энциклопедии. Тезаурус для задач предметной области теории упругости был впервые создан путем интеграции предметных словарей, классификаторов, метаданных публикаций профильного журнала и энциклопедического контента библиотеки LibMeta. Цель таких исследований состоит в предоставлении пользователю дополнительных сервисов в поиске публикаций в прикладной научной области.

**Ключевые слова:** *прикладная онтология, тезаурус предметной области, источники данных, разработка онтологии, цифровая семантическая библиотека LibMeta*

## ВВЕДЕНИЕ

Структурированные данные трактуются в информационных технологиях как знания. В работе мы обращаемся к *оцифрованным научным, математическим знаниям*, которые собраны в математической энциклопедии, классических монографиях и рецензированных публикациях. Работа посвящена вопросам описания в цифровой среде задач математической физики. Онтологическое проектирование позволяет реализовать структурирование этих данных с учетом их смысловой составляющей. Назначение такого проектирования – в создании описания предметной области (ПрО) *для информационного сопровождения научных исследований*, что необходимо в связи с ускорением развития математики и науки в целом.

Задача семантического описания математики решается не впервые, многие отечественные и зарубежные исследователи продвинулись в этом направлении. Не уменьшая значимости других проектов, отметим только наиболее известный проект глобальной математической библиотеки [1]. Надо отметить, что описание задач математической физики – это бесконечная тема в силу обширной сферы их применения, и каждый новый результат составляет очередной шаг в этих исследованиях.

Семантическое описание в работе основано на разработке тезауруса ПрО [2]. Поиск и навигация по ПрО в семантической библиотеке организована с помощью графа знаний [3].

Идея навигации по заранее систематизированной информации существовала, начиная с первых цифровых коллекций, и была развита на основе онтологического проектирования [4–6] и семантического подхода [7], которые логически привели сегодня к навигации по дереву графа.

Технология графа знаний при информационном запросе в семантической библиотеке LibMeta для выбранной ПрО обсуждается в статье на примерах уравнений смешанного типа и уравнений теории упругости.

Специфика современного представления ПрО краевых задач изучалась на основе публикаций специалистов научных журналов, классических монографий, энциклопедии математической физики под ред. академика Л.Д. Фаддеева [8] и математической энциклопедии под ред. академика И.М. Виноградова [9]. В процессе развития библиотеки эти ресурсы в оцифрованном виде, включая

формулы, интегрированы в семантическую библиотеку LibMeta. Специалисты – сотрудники журналов и коллеги – оказывали консультации и высказывали экспертные мнения при работе над описанием выбранных ПрО.

Вопросам представления уравнений смешанного типа в цифровой среде авторы уже посвящали исследования ранее. Подробно эти вопросы были изложены в работах [10–13]. В работе, ссылаясь на эти исследования, мы демонстрируем конкретную их реализацию в библиотеке LibMeta. Были проведены исследования *для уравнений смешанного типа теории упругости* и продолжены исследования *предметной области теории упругости* (ПрО ТУ) для ее интеграции в цифровую среду библиотеки LibMeta. В работе показано, как формируется тезаурус для новой ПрО в LibMeta и строится граф знаний для навигации по ПрО.

Для семантического описания ПрО был сформирован представительный список понятий и соответствующих им терминов, были установлены связи между ними для построения тезауруса и онтологии.

Отличие предлагаемого исследования заключается в *интегрированном подходе* в развитии семантической цифровой персональной библиотеки LibMeta, когда добавление новых разделов математики приводит к насыщению связями онтологии библиотеки, достраиванию графа знаний локальной и/или нескольких ПрО.

## **1. ОПИСАНИЕ СТАТЕЙ ТЕЗАУРУСА**

Проблемы информационного представления математических знаний непосредственно связаны с описанием логических структур, задаваемых внутри математических ПрО. В цифровом представлении логика ПрО задается посредством отношений (семантических связей) в тезаурусе. Тезаурус составляет основу для онтологического проектирования в семантической библиотеке.

*Устойчивые словосочетания и структура изложения*, характерные для большинства математических научных трудов, известны и предлагаются как стандарт издательствами, на них можно опираться при первичной обработке текстов статей. Для учета специфики ПрО необходимо изучить текстовые конструкции (контексты терминов), характерные именно для конкретной ПрО, на основе представительного списка трудов.

Для понимания логики ПрО краевых задач математической физики обра-

тимся к определению академика В.С. Владимирова [14]: «*Математическая физика – это теория математических моделей физических явлений. Она относится к математическим наукам; критерий истины в ней – математическое доказательство. Однако, в отличие от чисто математических наук, в МФ исследуются физические задачи на математическом уровне, а результаты представляются в виде теорем, графиков, таблиц и т. д. и получают физическую интерпретацию. При таком широком понимании математической физики к ней следует относить и такие разделы механики, как теоретическая механика, гидродинамика и теория упругости*».

Таким образом, при описании ПрО краевых задач математической физики (ПрО УРМФ) надо выделять понятия для *моделей физических явлений, физических задач, математических уравнений*. Эти особенности позволяют перейти на язык онтологий для описания ПрО уравнения смешанного типа (ПрО УЧП СМТ) как части ПрО уравнения с частными производными (ПрО УЧП) и, соответственно, ПрО уравнений математической физики (ПрО УРМФ). То есть можно использовать следующую иерархию для уравнений смешанного типа

$$\text{ПрО УЧП СМТ} \subset \text{ПрО УЧП} \subset \text{ПрО УРМФ}.$$

### **1.1. Структура статьи тезауруса для уравнений смешанного типа математической физики**

Уравнения смешанного типа являются частью предметной области уравнений в частных производных (УЧП) и принимают гиперболический тип, параболический тип или эллиптический тип в зависимости от области определения (рассмотрения). По результатам предыдущих исследований для уравнений смешанного типа в библиотеку был добавлен раздел «*словарь уравнений смешанного типа*» и описан тезаурус [10]. Благодаря наполнению контента библиотеки новыми данными [15] и применению векторных алгоритмов при обработке статей, произошло насыщение онтологии новыми связями. Понятия словаря [10] также получили новые связи. На Рис. 1. показано, что в описании понятия «Трикоми уравнение» появились ссылки на связи, которые возникли при добавлении этих понятий в граф знаний с вершиной УДК (517.956.6).

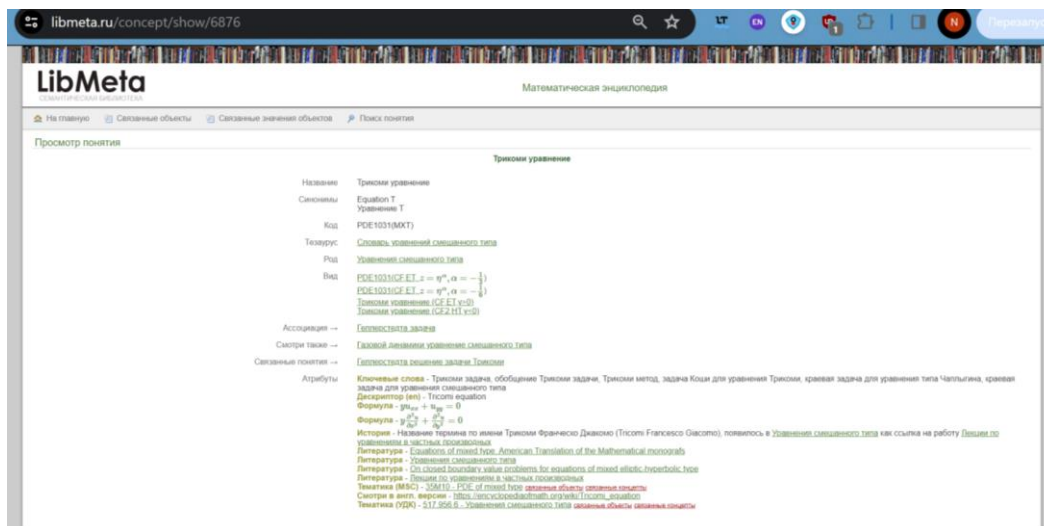


Рис. 1. Просмотр понятия «Трикоми уравнение» со связями в LibMeta

На Рис. 2. показаны объекты, связанные с вершиной «517.956.6 – Уравнения смешанного типа (УДК)».

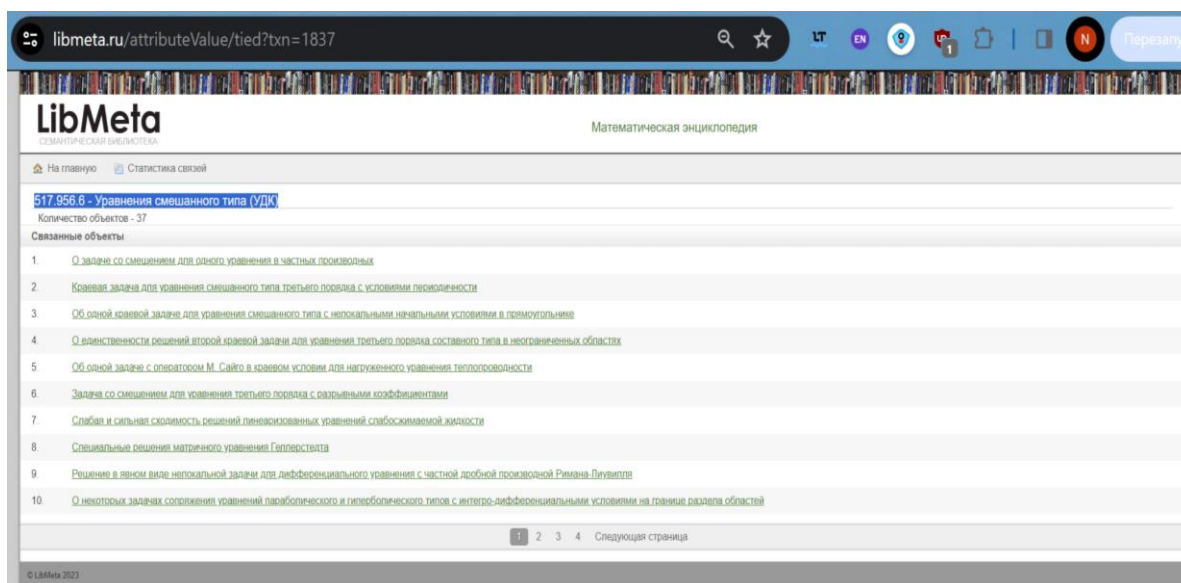


Рис. 2. Просмотр связанных объектов понятия «Трикоми уравнение» в библиотеке LibMeta

Добавление новых публикаций в Про краевых задач позволило также обозначить лакуны в цифровой версии математической энциклопедии. Например, термин «Пенлеве тест» отсутствовал, хотя термин «Пенлеве теорема» был в энциклопедии. Включение метаданных публикации (Рис. 3) привело к расширению математической энциклопедии в LibMeta и добавлению недостающего термина

и соответствующего описания тезауруса LibMeta. Новый термин получил все связи, такие как УДК, связь с англоязычной версией энциклопедии, и т.д., (Рис. 4).

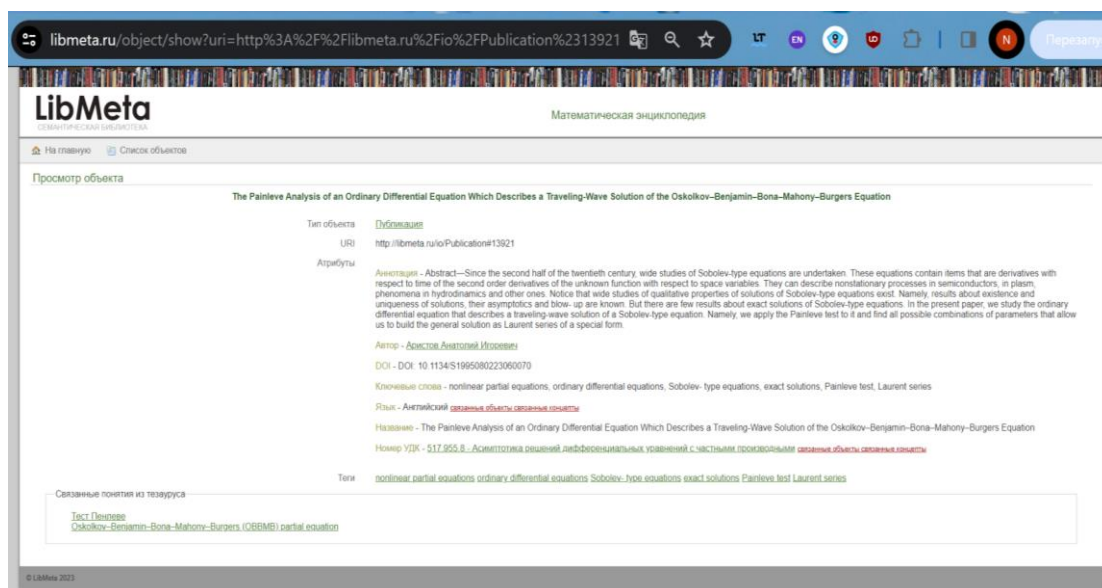


Рис. 3. Просмотр описание добавленной публикации в LibMeta

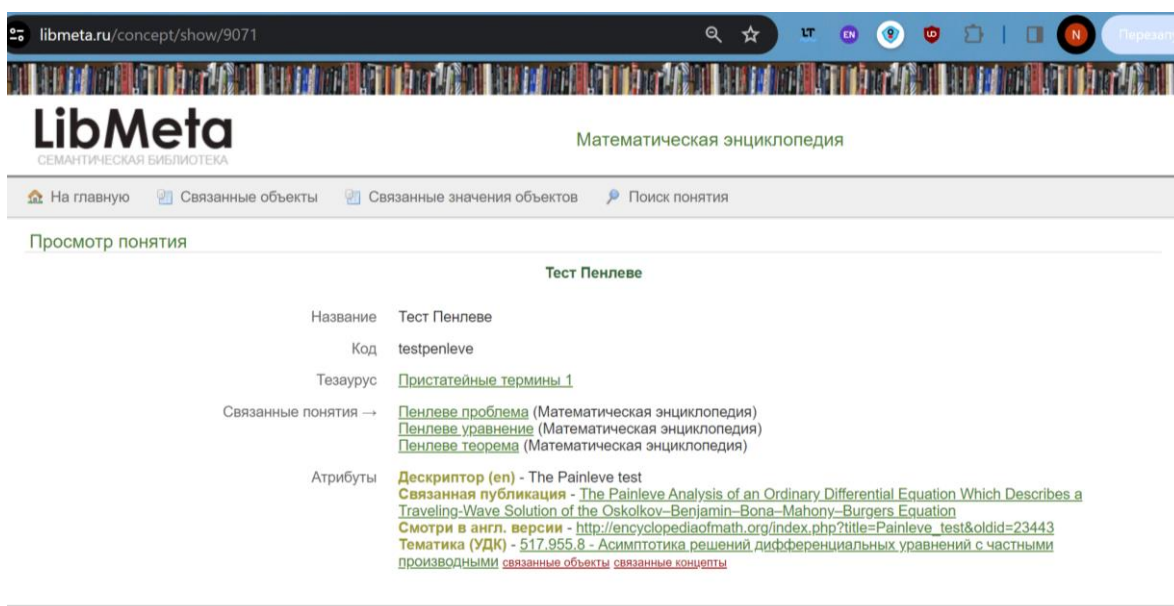


Рис. 4. Просмотр добавленного к математической библиотеке термина

## 1.2. Структура статьи тезауруса для теории упругости

Специфика современного представительства предметной области *краевых задач теории упругости* в цифровой среде изучалась на основе контента науч-

ного журнала «Механика композиционных материалов и конструкций» (МКМК, <https://mkmk.ras.ru/>).

Для создания описания, кроме энциклопедий [8, 9], были использованы первоисточники классиков этого направления [17–20]. ПрО ТУ – также новая область для библиотеки LibMeta, опишем статьи тезауруса для этой предметной области.

Для термина «задач теории упругости» в качестве основных понятий были выбраны задачи и их видовые формы (частные случаи).

Основные термины – формулировки задач в виде уравнений математической физики (см. Таблицы 1 и 2 как примеры статей тезауруса «Дифференциальные уравнения линейной теории упругости»).

Таблица 1. Статья для термина «Основные уравнения линейной теории упругости. Дифференциальные уравнения линейной теории упругости».

Метка	Описание	Идентификатор
<b>D:</b>	Основные уравнения линейной теории упругости. Дифференциальные уравнения линейной теории упругости.	<b>EqTE000</b>
<b>BT:</b>	Дифференциальные уравнения с частными производными	<b>PDE000</b>
<b>NT:</b>	Уравнения статики в объеме. Уравнения равновесия.	<b>EqTE001</b>
<b>NT:</b>	Определение линейного тензора деформации через вектор перемещения. Геометрическая сторона задачи, связь 3-х компонент перемещений с 6-ю компонентами симметричного тензора деформации.	<b>EqTE002</b>
<b>NT:</b>	Закон состояния линейно-упругого тела. Обобщенный закон Гука для изотропного тела в изотермическом или адиабатическом процессах. Физическая модель теории упругости, связь компонентов тензора напряжения с компонентами тензора деформации.	<b>EqTE003</b>
<b>SeeAlso:</b>	Гипотеза <i>сплошности (сплошной среды)</i> (link MathEnc)	
<b>Ref:</b>	Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970 (link p.124)	<b>RefTE001</b>

Таблица 2. Статья термина «Краевые задачи линейной теории упругости»

Метка	Описание	Идентификатор
<b>D:</b>	Краевые задачи линейной теории упругости	<b>EqTE200</b>
<b>BT:</b>	Краевые задачи для уравнений математической физики	<b>BdMF001</b>
<b>NT:</b>	Первая задача. Для системы уравнений <b>EqTE001</b> , <b>EqTE002</b> , <b>EqTE003</b> .	<b>EqTE201</b>
<b>NT:</b>	Вторая задача. Для системы уравнений <b>EqTE001</b> , <b>EqTE002</b> , <b>EqTE003</b> .	<b>EqTE202</b>
<b>NT:</b>	Третья задача. Для системы уравнений <b>EqTE001</b> , <b>EqTE002</b> , <b>EqTE003</b> .	<b>EqTE203</b>
<b>Ref:</b>	<b>RefTE001</b> (link, p.124)	
<b>SeeAlso:</b>	Решения задач теории упругости.	<b>EqTE300</b>
<b>SeeAlso:</b>	Приведение к краевым задачам для уравнений Лапласа и Пуассона. (link MathEnc) <b>RefTE001</b> (link p. 388)	
<b>SeeAlso:</b>	Задача о кручении. <b>RefTE001</b> (link p. 388)	
<b>SeeAlso:</b>	Изгиб силой. <b>RefTE001</b> (link p. 430)	
<b>SeeAlso:</b>	Задача Мичелла. <b>RefTE001</b> (link p. 443)	

**Замечание 1.** Погружение в терминологию предметной области означает принятие некоторых нестандартных терминов, установившихся у специалистов, например, термины «сплошность», «условие сплошности». В обычных текстах эти термины могли бы считаться неправильными с точки зрения русского языка, но они характерны для *теории упругости*.

**Замечание 2.** Для навигации по первоисточникам исследуемой предметной области в цифровой библиотеке создан и пополняется список литературы, который также может быть использован для цитирования читателями. Отметим один из наиболее полных в русскоязычном сегменте список по механике – это (<https://mechmath.ipmnet.ru/lib/?s=solid>), ресурс факультете Мехмат МГУ имени М.В. Ломоносова. Тем не менее, наличие специального списка литературы в цифровой библиотеке LibMeta отличается навигацией по терминам из первоисточников, что можно проследить на примерах Таблиц 1 и 2. Эта особенность позволяет организовать отсылку к конкретному контексту термина в первоисточнике, использовать связь тезауруса **SeeAlso** и связи метаданных источников. Эти свойства списка литературы в LibMeta также позволяют пользователю самому составить мнение о достоверности предъявленных описаний понятий и терминов и/или самостоятельно получить дополнительную информацию в первоисточнике.



В Таблице 3 приведен фрагмент списка литературы по теории упругости, на которую есть ссылки в Таблице 3. Список сформирован в порядке появления ссылок при описании терминов (порядок возрастания номера во второй части идентификатора) и учитывает первую букву фамилии в метке и количество меток с этой буквой в английской транскрипции независимо от языка публикации. Такая логика списка позволяет продлевать его, не переформатируя по алфавиту, и организовывать связи с помощью идентификатора.

Таблица 3. Литература по «теории упругости»

Метка	Библиографическое описание	Идентификатор
<b>L1:</b>	Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970, 940 с.	<b>RefTE001</b>
<b>L2:</b>	Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. Гостехиздат, 1955, 491с.	<b>RefTE002</b>
<b>L3:</b>	Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980, 512 с.	<b>RefTE003</b>
<b>T1:</b>	Тимошенко С.П. Курс теории упругости. Киев: Наук. думка, 1972.	<b>RefTE004</b>
<b>M1:</b>	Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. М.: Мир, 1974.	<b>RefTE005</b>
<b>S1:</b>	Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1, 2. М.: Наука, 1970	<b>RefTE006</b>
<b>V1:</b>	Vasiliev V.V., Morozov E.V. Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures. Fourth Edition, Elsevier, 2018, 856 p.	<b>RefTE100</b>

Таблица 4. Статья термина «Решения задач теории упругости»

Метка	Описание	Идентификатор
<b>D:</b>	Решения задач теории упругости.	<b>EqTE300</b>
<b>NT:</b>	Решение <b>в перемещениях</b> : находится вектор перемещения и по нему вычисляется тензор деформации. Чаще применяется к первой задаче <b>EqTE201</b>	
<b>NT:</b>	Решение <b>в напряжениях</b> : находится такой статически возможный тензор напряжения $T$ , что, определяемый по нему тензор деформации $e$ , удовлетворяет условию <i>сплошности</i> .	

Решения задач теории упругости в самом общем виде различаются постановкой «в перемещениях» или «в напряжениях». Таким образом, термин «Решения задач теории упругости» представляет собой главный дескриптор к остальным формулировкам.

**Замечание 3.** В Таблицах 1–4 также встречается указание на связь с математической энциклопедией[9] *link MathEnc* для терминов из теории упругости, которые в ней присутствуют.

На Рис. 5 приведен пример понятия из тезауруса для ПрО ТУ.

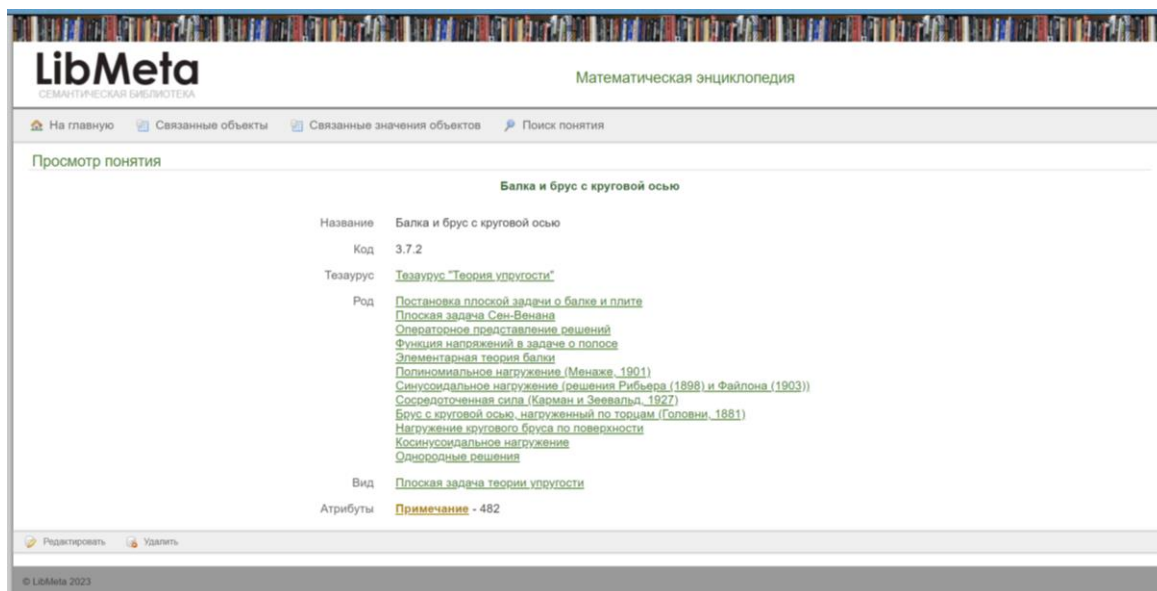


Рис. 5. Понятие из тезауруса ПрО ТУ в LibMeta

В результате, с учетом особенностей предметной области получаем следующий состав статьи тезауруса «задача теории упругости»:

- *идентификатор термина(понятия);*
- *объекты исследования (описание материала, конструкции);*
- *постановка задачи (модель, процесс);*
- *математическая постановка задач (уравнение);*
- *методы решения (численные, аналитические);*
- *решение (представление решения в виде аналитическом, численном, спецфункций и т. д.);*
- *авторы (первоисточников и статей журнала);*
- *ключевые слова (из первоисточников и статей);*
- *синонимы;*
- *видовые термины (частные случаи задач);*
- *ассоциативные термины (все термины из статей, где встречается эта задача);*

- примечания (любые комментарии к статье тезауруса, которые не подходят к перечисленным позициям статьи).

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОДХОДА В БИБЛИОТЕКЕ LIBMETA

Были обработаны текстовые документы, которые содержали информацию о ГОСТе (<https://docs.cntd.ru/document/1200113813>), предметном указателе [16] и его оглавлении, а также список задач теории упругости и связанные с ними решения, уравнения, методы, список дескрипторов и список связей.

В качестве внешних базовых таксономий, с которыми устанавливаются связи, использованы математическая энциклопедия, энциклопедия математической физики, тезаурус обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), словарь специальных функций математической физики и другие источники и составляющие библиотеки.

Для размещения в библиотеку LibMeta тексты статей подвергались предварительной обработке. Решались задачи по очистке и предварительной обработке, извлечения именованных сущностей и т. д. [21]. Предварительно при необходимости выполнялось приведение слов к именительному падежу, единственному числу, начальной форме глагола, мужскому роду. Затем проводится сравнение терминов, при этом порядок слов не учитывается. Если совпадение полное, то устанавливалась связь типа «*sameAs*». Если совпадение терминов не полное, то выполнялся поиск понятия, которое соответствует совпавшим словам. Если такой термин есть, то устанавливается связь «*seeAlso*» и «*narrower*». В результате на основе онтологии были получены файлы в формате *xml*, пригодные для пакетной загрузки в систему.

### 2.1 ФОРМИРОВАНИЕ ТЕЗАУРУСА ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Термины в тезаурусе для задач теории упругости были расставлены в соответствии с разделами: «Задача», «Метод», «Решение», «Материал», «Уравнение», поскольку они составляют особенности статей в ПрО МКМК. Часть работы по составлению разделов была выполнена вручную, часть связей сформировалась автоматически на основе связей между терминами тезауруса. Если коды классификаторов были проставлены у «родовых» понятий, то термины, которые связались по связям «*sameAs*», получают код автоматически. Работа по формированию этих разделов является итеративным процессом и зависит от новых по-

ступающих публикаций журнала.

## 2.2 ПРИМЕР ДОБАВЛЕНИЯ СТАТЬИ В ТЕЗАУРУС

В математической энциклопедии встречается понятие «*Краевая задача*», которое является *родовым* для следующих понятий из математической энциклопедии:

1. внешняя и внутренняя краевые задачи,
2. первая краевая задача,
3. аппроксимация дифференциальной краевой задачи разностной,
4. коэрцитивная краевая задача,
5. нелинейная краевая задача,
6. линейная краевая задача,
7. третья краевая задача,
8. вторая краевая задача,
9. смешанная и краевая задачи для гиперболических уравнений и систем,
10. смешанная и краевая задачи для параболических уравнений и систем.

В результате связывания с понятиями теории упругости у понятия математической энциклопедии «*Краевая задача*» появляются связи типа «*seeAlso*» со следующими понятиями из тезауруса ПрО МКМК:

1. Интегральные уравнения первой краевой задачи;
2. Интегральные уравнения второй краевой задачи;
3. Сопоставление интегральных уравнений первой и второй краевых задач;
4. Вторая внутренняя краевая задача;
5. Первая внешняя краевая задача;
6. Краевая задача для двусвязного тела вращения;
7. Первая краевая задача для полупространства;
8. Первая краевая задача;
9. Вторая краевая задача для сферы;
- 10....

При этом каждое из этих понятий ПрО МКМК является *видовым* понятием для рассматриваемого понятия из математической энциклопедии. Каждое из них в свою очередь может образовывать свои связи с математической энциклопедией. Например, понятие из математической энциклопедии «*Интегральное*

уравнение» оказывается связанным с понятием из тезауруса ПрО МКМК «Интегральные уравнения первой краевой задачи» и одновременно оказывается для него *родовым* понятием. Связи «*seeAlso*» устанавливаются изначально между понятиями разных источников. На Рис. 6 представлен фрагмент тезауруса с установленными связями между понятиями из различных источников.

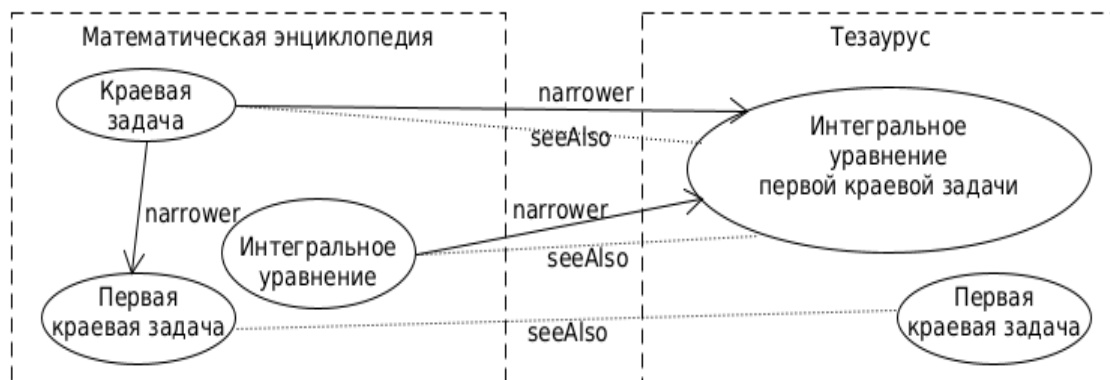


Рис. 6. Фрагмент тезауруса ПрО МКМК со связями между понятиями из различных источников

При дополнительном анализе эти понятия могут связываться дополнительными связями, как в случае, представленном на Рис. 7, новая связь «*narrower*» (видовое понятие) демонстрирует *иерархическую* связь между понятиями.

Включение задач теории упругости в библиотеку LibMeta расширило возможности навигации по контенту библиотеки. На примере странички публикации из МКМК (Рис. 8), можно видеть, что пользователю предоставляются дополнительные поля для навигации по терминам. Показано, что появились связи с различными первоисточниками, которых раньше в библиотеке не было.

### 3. НАВИГАЦИЯ ПО КОНТЕНТУ БИБЛИОТЕКИ

Представление предметной области в виде тезауруса (онтологии) составляет основу для формирования графа знаний для организации навигации по данным библиотеки. Для размещения нового объекта в граф происходит предобработка данных, которая заключается в формировании метаданных и подготовке текстов к включению в инфраструктуру графа знаний. В качестве объекта могут выступать разные типы узлов графа знаний такие, как публикации, авторы, формулы, теоремы и т. д. Классификаторы могут дополняться (углублять) эле-

ментами из разных (других, например, УДК дополняется MSC) классификаторов. В качестве понятий на концах ребер графа могут также выступать понятия разных тезаурусов (частей тезауруса, «кустов» тезауруса). На Рис. 7 представлена схема такого графа, где сплошные линии представляют связи публикации с контентом библиотеки, а пунктирные – заданные в онтологии библиотеки.

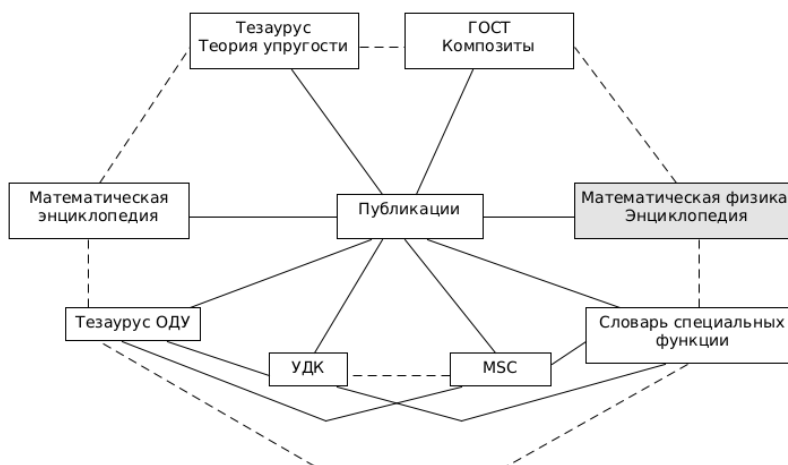


Рис. 7. Схема графа знаний для узла «публикация»

Каждому элементу данных, загруженных в библиотеку, можно сопоставить вершину онтологии, определяющую положение элемента данных в онтологии. Для навигации по графу знаний предметной области журнала МКМК естественно выбрать «публикации» в качестве узлов графа.

Реальное изображение публикации в библиотеке LibMeta и связей для навигации показано на Рис. 8. Центральное изображение – это страничка публикации, а левый нижний столбец – список терминов, встречающихся в тексте статьи, которые можно применять для навигации по терминам из тезауруса. Список сформирован при обращении к публикации, поскольку она связана с тезаурусом Про ТУ. Навигация по терминам также обеспечивается пересечением метаданных в LibMeta, а не только связями в тезаурусе.

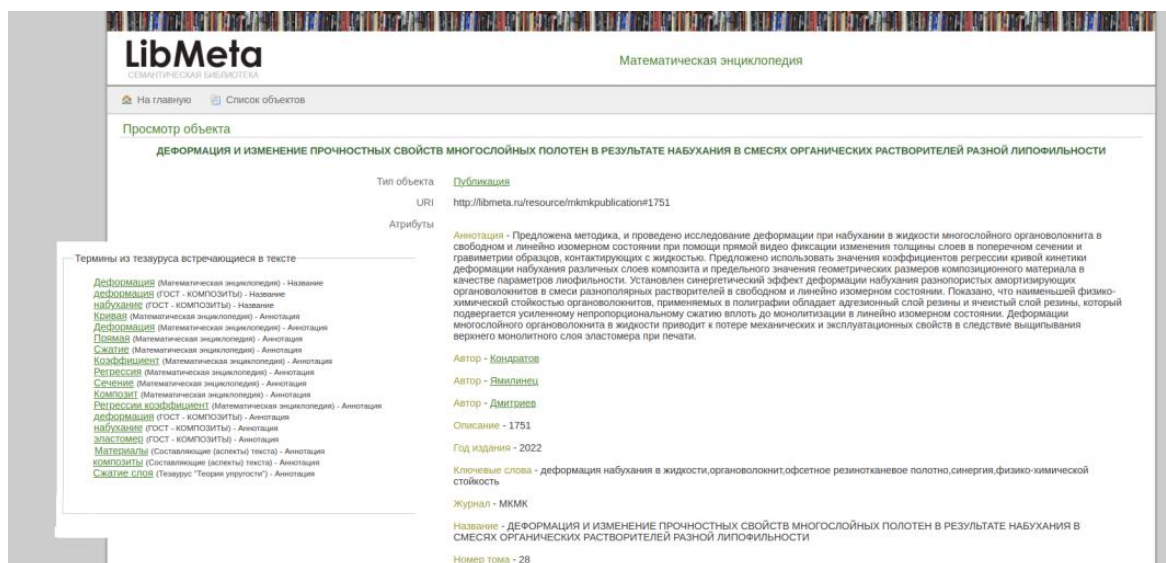


Рис. 8. Пример странички публикации из МКМК с терминами для навигации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная работа содержит некоторые результаты исследований вопросов представительства русскоязычного научного контента в цифровых информационных ресурсах. Дальнейшие исследования направлены на персонафикацию предметных областей для предоставления пользователю возможностей навигации по авторским публикациям с учетом специфики информационного запроса, таких как задачи, методы, решения и т. д.

Полученные результаты могут быть использованы в численном и аналитическом моделировании задач математической физики. Возможность навигации по знаниям в цифровой среде может улучшить информационное сопровождение научных исследований. Для этого цифровая библиотека расширяется за счет новых результатов и новых предметных областей.

Часть обработки трудов журнала МКМК была выполнена с применением нейросети на вычислительном комплексе ФИЦ «Информатика и управление» РАН ЦКП «Информатика».

Работа представлена в рамках выполнения темы НИР 0063-2019-0003 ФИЦ Информатика и управление РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ion P.D.F., Watt S.M.* The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge Trust // In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10383. Springer, Cham. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62075-6\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62075-6_5).
2. *Серебряков В.А., Атаева О.М.* Основные понятия формальной модели семантических библиотек и формализация процессов интеграции в ней // Программные продукты и системы. 2015. № 4. С. 180–187.
3. *Liu L., Omidvar A., Ma Z., Agrawal A., An A.* Unsupervised Knowledge Graph Generation Using Semantic Similarity Matching // Proceedings of the Third Workshop on Deep Learning for Low Resource Natural Language Processing. 2022. P. 169–179. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.deeplo-1.18>
4. *Gruber T.* Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS). 2007. V. 3. No. 1. P. 1–11.
5. *Vrandečić D.* Ontology Evaluation, In Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems, edited by S. Staab, R. Studer, 2009. P. 293–313. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_13).
6. *Елизаров А.М., Кириллович А.В., Липачёв Е.К., Невзорова О.А.* Онтология математического знания OntoMathPRO // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2022. Т. 507. № 1. С. 29–35. <https://doi.org/10.31857/S2686954322700011>
7. Web. <https://www.w3.org/standards/semanticweb>.
8. Математическая физика. Энциклопедия. Гл. ред. Л.Д. Фаддеев. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.
9. *Виноградов И.М.* (ред.) Математическая энциклопедия (в 5 томах). М.: Советская энциклопедия. 1977–1985.
10. *Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П.* О тезаурусе предметной области смешанные уравнения математической физики // CEUR Workshop Proceedings. 2018. V. 2260. P. 395–405.



11. Муромский А.А., Тучкова Н.П. Представление математических понятий в онтологии научных знаний // Онтология проектирования. 2019. Т. 9. № 1 (31). С. 50–69. <https://doi.org/0.18287/2223-9537-2019-9-1-50-69>.
12. Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. Подходы к организации математических знаний при формировании предметных тезаурусов различных разделов математики // CEUR Workshop Proceedings. 2018. V. 2260. P. 42–54.
13. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N. Development of the semantic space 'Mathematics' by integrating a subspace of its applied area // Lobachevskii J. of Mathematics, 2022. V. 43, No. 12. P. 3435–3446. <https://doi.org/10.1134/S1995080222150069>.
14. Владимиров В.С. Что такое математическая физика? Препринт МИАН № НС-06-001, 2006.
15. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N. Creating the Applied Subject Area Ontology by Means of the Content of the Digital Semantic Library // Lobachevskii J. of Mathematics, 2022. V. 43, No. 7. P. 1795–1804. <https://doi.org/10.1134/S1995080222100043>
16. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
17. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980.
18. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. М.: Гостехиздат, 1955.
19. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. М.: Мир, 1974.
20. Vasiliev V.V., Morozov E.V. Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures. Fourth Edition, Elsevier, 2018.
21. Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных. М.: ВШЭ, 2017.

## ABOUT DESCRIPTIONS OF SOME BOUNDARY-VALUE PROBLEMS IN THE SEMANTIC LIBRARY LIBMETA

O. M. Ataeva<sup>1</sup> [0000-0003-0367-5575], V. A. Serebryakov<sup>2</sup> [0000-0003-1423-621X],

N. P. Tuchkova<sup>3</sup> [0000-0001-5357-9640]

<sup>1-3</sup>FRS «Computer Sciences and Control», Russian Academy of Sciences, Vavilov str.,  
40, Moscow, 119333, Russia

<sup>1</sup>oli.ataeva@gmail.com, <sup>2</sup>serebrvas@gmail.com, <sup>3</sup>natalia\_tuchkova@mail.ru

### Abstract

An ontological design approach was used to describe the semantics of some boundary value problems in the LibMeta digital library. To describe problems in the LibMeta library, connections of terms and concepts with classical definitions of the mathematical encyclopedia and other primary sources have been established. Establishing links allows you to form a dictionary and thesaurus of the applied subject area of new boundary value problems and place the results in the semantic environment of the digital library. Examples of this approach are demonstrated using the capabilities of the LibMeta semantic library, which contains a digitized version of the mathematical encyclopedia, encyclopedia of mathematical physics, classifiers, and applied mathematical thesauri and dictionaries. New terms from publications, after being added to the content of the library, were reflected with links in the mathematical encyclopedia. The thesaurus for problems in the elasticity theory domain was created for the first time by integrating subject dictionaries, classifiers, metadata of specialized journal publications and encyclopedic content of the LibMeta library. The purpose of such research is to provide the user with additional services in the search for publications in the applied scientific field.

**Keywords:** *applied ontology, subject domain thesaurus, data sources, ontology development, LibMeta semantic digital library*

## REFERENCES

1. *Ion P.D.F., Watt S.M.* The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge Trust // In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10383. Springer, Cham. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62075-6\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-62075-6_5).
2. *Serebryakov V., Ataeva O.* Osnovnye ponyatiya formal'noj modeli semanticheskikh bibliotek i formalizaciya processov integracii v nej // Software and systems. 2015. № 4. S. 180–187.
3. *Liu L., Omidvar A., Ma Z., Agrawal A., An A.* Unsupervised Knowledge Graph Generation Using Semantic Similarity Matching // Proceedings of the Third Workshop on Deep Learning for Low Resource Natural Language Processing. 2022. P. 169–179. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.deeplo-1.18>.
4. *Gruber T.* Ontology of folksonomy: A mash-up of apples and oranges // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS). 2007. V. 3. No. 1. P. 1–11.
5. *Vrandečić D.* Ontology Evaluation, In Handbook on Ontologies, International Handbooks on Information Systems, edited by S. Staab, R. Studer, 2009. P. 293–313. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_13).
6. *Elizarov A.M., Kirillovich A.V., Lipachev E.K., Nevzorova O.A.* OntoMath-PRO – ontology of mathematical knowledge// Doklady Mathematics. 2022. T. 507. No. 1. S. 29–35. <https://doi.org/10.31857/S2686954322700011>.
7. Semantic Web. <https://www.w3.org/standards/semanticweb>.
8. Математическая физика. Энциклопедия. Гл. ред. Л.Д. Фаддеев. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.
9. *Vinogradov I.M.* (red.). Математическая энциклопедия (в 5 томах). М.: Советская энциклопедия. 1977–1985.
10. *Moiseev E.I., Muromskij A.A., Tuchkova N.P.* O tezauruse predmetnoj oblasti smeshannye uravneniya matematicheskoy fiziki // CEUR Workshop Proceedings. 2018. V. 2260. P. 395–405.

11. *Muromskij A.A., Tuchkova N.P.* Predstavlenie matematicheskikh ponyatij v ontologii nauchnyh znaniy // *Ontology of designing*. 2019. T. 9. № 1 (31). C. 50–69. <https://doi.org/0.18287/2223-9537-2019-9-1-50-69>.
12. *Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N.* Podhody k organizacii matematicheskikh znaniy pri formirovaniya predmetnyh tezaurusov razlichnyh razdelov matematiki // *CEUR Workshop Proceedings*. 2018. V. 2260. P. 42–54.
13. *Vladimirov V.S.* Chto takoe matematicheskaya fizika? Preprint MIAN № NS-06-001, 2006.
14. *Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N.* Development of the semantic space 'Mathematics' by integrating a subspace of its applied area // *Lobachevskii J. of Mathematics*, 2022. V. 43, No. 12. P. 3435–3446. <https://doi.org/10.1134/S1995080222150069>.
15. *Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N.* Creating the Applied Subject Area Ontology by Means of the Content of the Digital Semantic Library // *Lobachevskii J. of Mathematics*, 2022. V. 43, No. 7. P. 1795–1804. <https://doi.org/10.1134/S1995080222100043>.
16. *Lurie A.I.* Teoriya uprugosti. M.: Nauka, 1970.
17. *Lurie A.I.* Nelinejnaya teoriya uprugosti. M.: Nauka, 1980.
18. *Lurie A.I.* Prostranstvennye zadachi teorii uprugosti. M.: Gostekhizdat, 1955.
19. *Mais J.* Teoriya i zadachi mekhaniki sploshnyh sred. M.: Mir, 1974.
20. *Vasiliev V.V., Morozov E.V.* Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures. Fourth Edition, Elsevier, 2018.
21. *Bolshakova E.I., Vorontsov K.V., Efremova N.E., Klyshinsky E.S., Lukashevich N.V., Sapin A.S.* Automatic natural language text processing and data analysis. M.: HSE, 2017.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**АТАЕВА Ольга Муратовна** – старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, кандидат техн. наук, специалист в области системного программирования и баз данных.

**Olga Muratovna ATAeva** – senior researcher of the of Dorodnicyn computing center FRC SCS RAS, PhD, expert in the field of system programming and databases.

email: oli.ataeva@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0367-5575



**СЕРЕБРЯКОВ Владимир Алексеевич** – специалист в области теории формальных языков и её приложений, доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. отделом Вычислительного центра им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН. Руководитель и участник разработки ряда известных программных проектов, в частности, ИСИР и ИСИР РАН, «Научный портал РАН».

**Vladimir Alekseevich SEREBRYAKOV** – expert in the field of theory of formal languages and its applications, doctor of sciences, professor, head of Dorodnicyn computing center FRC SCS RAS department. Head and participant in the development of a number of well-known program projects, in particular, ISIR and ISIR RAS, Scientific portal RAS.

email: serebrvas@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1423-621X



**ТУЧКОВА Наталия Павловна** – старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, кандидат физ.-мат. наук, окончила ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова. Специалист в области алгоритмических языков и информационных технологий.

**Natalia Pavlovna TUCHKOVA** – senior researcher of Dorodnicyn computing center FRC SCS RAS, PhD in physics with a math degree, graduated from CS Faculty of Lomonosov MSU. The expert in the field of algorithmic languages and information technologies.

email: natalia\_tuchkova@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5357-9640

*Материал поступил в редакцию 26 декабря 2023 года.*