УДК 519.6:004.738.52

ОБ ОНТОЛОГИИ АДРЕСАТА В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Муромский[1], Н. П. Тучкова[2]

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, 119333, ул. Вавилова, 40

[1]murom@ccas.ru, [2]tuchkova@ccas.ru

Аннотация

Обсуждена проблема представления математических предметных областей в цифровых библиотеках и полезности этих ресурсов для специалистов. Дан вариант представления математических предметных областей в интернете. В качестве информационной модели для единицы записи выбрана статья тезауруса. Реализация схемы показана на примере уравнений с частными производными. Предложен подход к организации информационного пространства автора, основанный на использовании тезауруса адресата. На основе описаний предметных областей индивидуумов предполагается построение онтологии научного междисциплинарного сообщества, что, по мнению авторов, позволит не утерять новый результат или открытие в науке, соблюсти приоритеты авторов, встроить новое знание в устоявшуюся систему классических предметных областей.

***Ключевые слова**: контролируемая лексика, дескрипторные словари, тезауруса адресата, онтология адресата*

ВВЕДЕНИЕ

Одна из задач научной коммуникационной среды – создание и поддержка высокого конкурентно-способного уровня научно-исследовательских работ. Если эта задача не выполняется, то в коллективе, задействованном в этой среде, нет исследований и публикаций, которые признаны актуальными в научном сообществе, по крайней мере, в некоторый временной период, или содержание информационной среды не отражает достижений в определенной предметной области, с чем чаще всего приходится сталкиваться пользователям. Однако заметим, что в отечественном научном сообществе нет такой всеми признанной системы, как, например, webofknowledge.com или www.zbmath.org, где собрана информация о достижениях ученых (в основном европейского и американского научного сообщества) в систематизированном виде и с учетом цитирования, что позволяет естественным образом выделить наиболее значимые и актуальные исследования, высокорейтинговые публикации и наиболее активные коллективы авторов. Наряду с общими причинами отставания российских информационных ресурсов, связанными с ориентацией научной администрации на «западные» образцы, недофинансированием проектов и пр., можно упомянуть недостаточное количество оцифрованных научных публикаций российских ученых в библиотечных системах и/или их недоступность для научного сообщества и отдельного исследователя – адресата этих знаний. Действительно, база данных, которая используется в webofknowledge.com создавалась под руководством Ю. Гарфилда в частном Института научной информации (Institute for Scientific Information) [1] с середины 1980-х, а первые тезаурусы на основе Математических заметок Американского математического общества записывались на карточках учениками Кеннета Мея[1] [2], начиная с 1960-х годов. Многие знают, что Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) на основе e-library.ru начал создаваться только в начале XXI в. (при поддержке того же Ю. Гарфилда). Это свидетельствует о значительном отрыве российского сегмента цифровых научных библиотек от существующих тенденций. Отечественная фундаментальная школа в естественных науках, тем более, в математике, никогда не отставала от мирового уровня, и необходимо использовать этот багаж для представления знаний на основе цифровых технологий, разрабатывать информационные системы для специалистов отдельных предметных областей, помещать их в онтологии для интеграции накопленных знаний. В настоящей работе мы остановимся на представлении математических знаний в области задач математической физики и приведем примеры, в качестве возможных вариантов, для уравнений с частными производными.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Kenneth_O._May

ОНТОЛОГИЯ АДРЕСАТА

Ниже предложен подход, который базируется на создании тезауруса адресата (ТА) (термин «тезаурус адресата (индивидуума)» введен в информатику Ю.А. Шрейдером [3]) как основы для представления предметной области (ПО) автора в виде онтологии (онтологии адресата (ОА)). На особенностях тезауруса адресата в научно-информационной среде авторы подробно останавливались в работе [4]. Здесь отметим только, что в процессе информатизации могут встречаться следующие случаи:

- в результате изучения адресатом входной общественной информации *ТА изменился*, пополнился новым знанием; в этом случае можно полагать, что входная общественная информация является «информацией для адресата» (по мнению адресата);
- если же в результате изучения адресатом входной общественной информации *ТА не изменился*, то можно считать, что входная общественная информация является «неинформацией» для адресата (по мнению адресата).

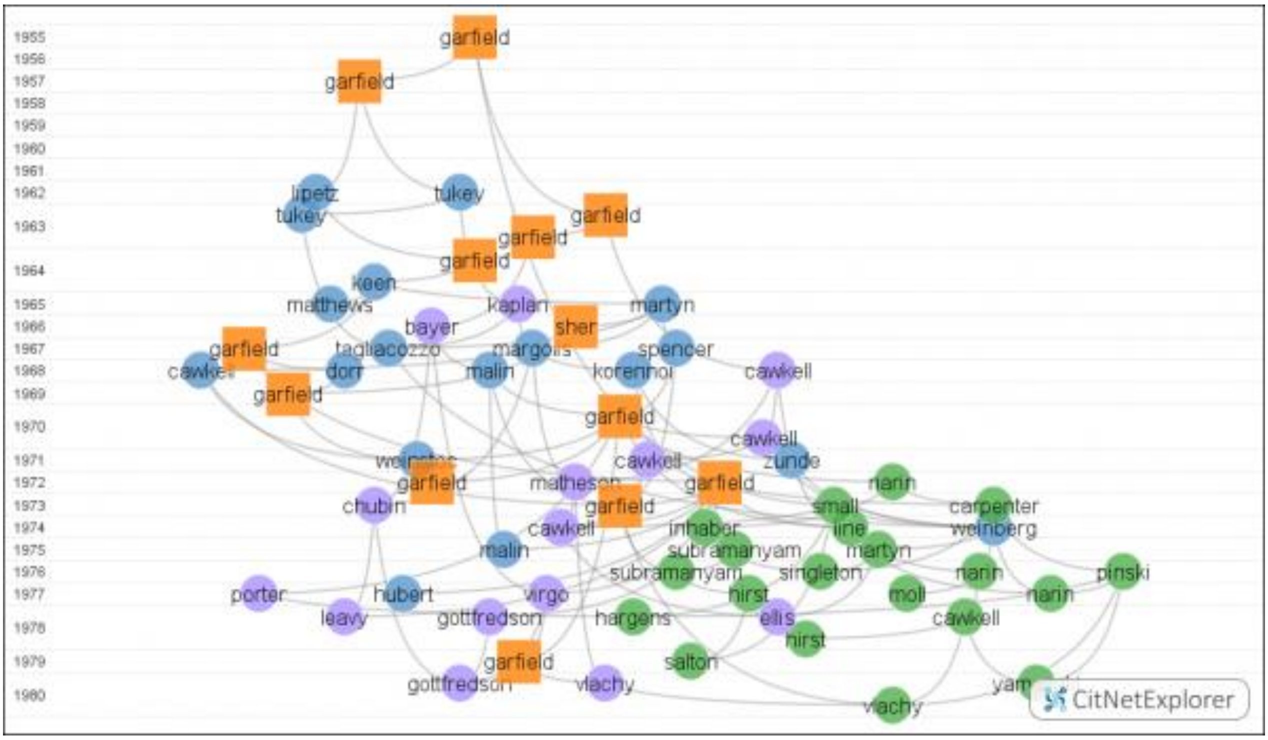

Рисунок 1. Оранжевые квадраты – работы, цитируемые Ю. Гарфилдом, остальные – работы, цитирующие Ю. Гарфилда

Например, влияние тезауруса такого адресата, как Юджин Гарфилд, показано на рис. 1, процитированном из статьи, посвященной этому выдающемуся ученому (https://www.cwts.nl/news?article=n-q2y2c4&title=eugene-garfield-1925--2017-visionary-information-scientist). На рисунке 1 представлена графическая иллюстрация влияния его ранних работ (1955–1980 гг.), построенная на основе WoS.

Картина влияния работ на рис. 1 отражает, в том числе, иерархические связи работ: «синие ссылки» – это цитирование работ Юджина Гарфидла, «фиолетовые» – цитирование «синих» работ, а «зеленые» – цитирование «фиолетовых». Показано влияние во втором и третьем «поколениях цитирования».

Совокупность накопленной информации в виде публикаций, отчетов, патентов и других видов научных результатов составляет множество, с помощью которого можно создать описание предметной области исследований автора или авторского коллектива.

В представлении ОА мы опираемся на множество ключевых слов (КС) из произведений автора, публикаций автора и тех публикаций, на которые он ссылается, где на него ссылаются, а также тех, которые автор включил в список своих интересов. Именно это множество составляет основу для создания ТА и модели предметной области его исследований, для краткости назовем его «информацией адресата» (с учетом того, что было сказано выше о том, что является информацией для адресата).

Например, в таблице 1 приведены русско-английские термины для дескриптора «Геллерстедта задача – The Gellerstedt problem», связанные с ним родовидовыми отношениями, выписанные на основе приведенного реферативного списка с условными идентификаторами «XXGL», где «XX» – номер, а «GL» указывает на название термина.

Это ключевые слова из цитируемых работ, объединенных заданной тематикой. С другой стороны, из реферативного списка можно получить список авторов, также объединенных данной тематикой, и включить эти ключевые слова в ТА перечисленных авторов. Также выделить «корневые» работы, основополагающие труды, где впервые встретились те и или иные термины, так как на них ссылаются все остальные авторы. При появлении поискового запроса по одному из авторов можно предлагать в позиции «см. также» работы других авторов, связанные с этими терминами. Собственно, так устроены все современные поисковики. Особенность, на которую мы обращаем внимание, заключается в том, что выборка производится не из любого множества терминов, а из списка, ограниченного связями: реализуется механизм поиска с контролируемой лексикой из ТА, а не из истории запросов.

Таблица 1. Ключевые слова по тематике «Геллерстедта задача»

01Gl	уравнение для Геллерстедта задачи [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- equation for Gellerstedt problem [9] - problem G [9]
02Gl	уравнение типа Чаплыгина [8]	- equations of Chaplygin's type [9] - Chaplygin type equation [9]
03Gl	уравнение смешенного типа[25, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- equations of mixed type [9]
04Gl	Трикоми задача [13, 15, 17, 8, 19, 22, 23]	- Tricomi problem [9] - problem T [9]
05Gl	обобщение Трикоми задачи [13, 15, 17, 8, 19, 22, 23]	- generalized Tricomi problem [9] - generalized problem T [9]
06Gl	Трикоми метод [13, 15, 17, 8, 19, 22, 23]	- Tricomi's method [9] - Tricomi method [9]
07Gl	задача Коши для уравнения Трикоми [13, 15, 17, 8, 19, 22, 23]	- Cauchy's problem or Tricomi's equation [9]
08Gl	краевая задача для уравнения типа Чаплыгина [8]	- boundary-value problem Chaplygin type equation [9]
09Gl	краевая задача для уравнения смешанного типа [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- boundary-value problem for a mixed-type equation [9]
10Gl	эллиптичность уравнения для Геллерстедта задачи [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- ellipticity of the equation for Gellerstedt problem [9]
11Gl	параболичность для уравнения Геллерстедта задачи [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- parabolicity of the equation for Gellerstedt problem [9]

12Gl	гиперболичность для уравнения Геллерстедта задачи [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- hyperbolicity of the equation for Gellerstedt problem [9]
13Gl	теорема существования и единственности для уравнения Геллерстедта задачи [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- existence and uniqueness theorem for the equation for Gellerstedt problem [9]
14Gl	теорема существования и единственности для обобщенной задачи Трикоми [13, 15, 17, 8, 19, 22, 23]	- existence and uniqueness theorems for the generalized Tricomi problem [9]
15Gl	метод Геллерстедта [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- Gellerstedt's method [9]
16Gl	уравнение газовой динамики смешанного типа [8]	- gaz dinamycal equation of mixed type [9]
17Gl	приложения уравнения Геллерстедта задачи в околозвуковой газовой динамике [8]	- applications of the Gellerstedt problem in transsonic gas dynamics [9]
18Gl	уравнение для Геллерстедта задача смешанного типа с оператором Лаврентьева-Бицадзе [5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]	- Gellerstedt problem for the mixed type equation with Lavrentyev-Bisadze operator [9] - mixed type problem G with LB operator[9]

Например, на рис. 2 показано, что ТА автора «Моисеев Е.И.» связан с терминами из таблицы 1. В свою очередь при запросе, содержащем указанные термины, будет производиться обращение к ТА этого автора, где возможно присутствуют другие термины и связи с соавторами и дополнительная информация адресата, а КС связаны с дескрипторами предметной области, в которой работает автор.

В обобщенном виде связи из рис. 2 можно представить в виде таблицы 2 «Содержание ТА» с входами «через» автора, КС, дескрипторы ПО и публикации. Используя технологию языка онтологий, можно составить ОА.

Пополнив данные таблицы 2, можно расширить ОА. Заметим, что в виде схемы технология создания и пополнения онтологии автора выглядит достаточно просто. Однако суть проблемы представления знаний ПО и автора заключается не в перечислении публикаций и КС, а в отслеживании связей, как сделано на рис. 1. Эти связи диктуются внутренней логикой предметных областей, а также результатами исследований, представленных в данном случае в публикациях. Именно это составляет проблемы представления ПО и математических ПО, в частности. Остановимся на одном из вариантов идентификации некоторых основных понятий ПО «математическая физика» (МФ) и смежных областей и парадигматических связей между ними.

исунок 2. Связи ТА с терминами предметной области

Таблица 2. Содержание ТА

✓ Автор	• Кс1 • Кс2 • Кс3 • ... • КсN	➢ Термин - дескриптор1 ПО1 ➢ Термин - дескриптор1 ПО2 ➢ Термин - дескриптор1 ПО3 ➢ ...... ➢ Термин - дескрипторN ПОN	➢ Публикации

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА» И СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Уравнения математической физики выражают с некоторой точностью моделируемые физические или технические процессы: «Математическая модель – приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики», академик А.Н. Тихонов [24].

Учитывая основные закономерности физического процесса, мы создаем его математическую модель (там же). Например, задача о колебаниях струны, после описания определенных ограничений и допущений, приводится к приближенному уравнению

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{a^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2},$$

где a – постоянная, зависящая от физических свойств струны. Это приближение пригодно в случае, так называемых, малых колебаний струны. Уравнение носит название «волнового уравнения с двумя независимыми переменными или уравнения колебания струны».

Смежные области для ПО МФ (МФ СМобл) возникают, поскольку сама ПО существует как подкласс исследований в области теоретической физики, что делает класс рассматриваемых задач необычайно широким. Справедливо отношение:

$$\begin{bmatrix} \textit{Уравнения} \\ \textit{математической} \\ \textit{физики} \end{bmatrix} \subset \begin{bmatrix} \textit{Методы} \\ \textit{теоретической} \\ \textit{физики} \end{bmatrix}$$

Физические и технические процессы. Приведем список физических и технических процессов, которые исследуют и моделируют с помощью математических моделей МФ, опуская для краткости изложения ссылки на первоисточники – статьи Тихонова А.Н., Самарского А.А., Свешникова А.Г., Смирнова М.М., Очана Ю.С. и других классиков МФ, см. таблицу 3.

Понятие ПО МФ СМобл может быть представлено:

- *Термином* (названием);
- • *Математической записью;*
- • • *Термином и математической записью.*

Для эффективной работы каждый термин сопровождается уникальным идентификатором с элементами мнемоники. Математическая запись в случае необходимости также сопровождается *идентификатором*.

Таблица 3. Физические и технические процессы, моделируемые в ПО МФ

Задача о свободных поперечных колебаниях однородной бесконечной струны	|PrPDE0001|
Задача о свободных продольных колебаниях однородного стержня	|PrPDE0002|
Задача о свободных электрических колебаниях в проводах	|PrPDE0010|
Задача о колебаниях газа в бесконечной цилиндрической трубке	|PrPDE0031|
Задача о стационарном тепловом состоянии однородного тела	|PrPDE0040|
Задача о распространении тепла в ограниченном стержне, на концах которого происходит свободный теплообмен с окружающей средой	|PrPDE0052|
Задача оптимального граничного управления смещением на одном конце струны при свободном втором ее конце за произвольный достаточно большой промежуток времени	|PrPDE0100|
Задача о деформировании изотропного линейного упругого стержня, находящегося под действием собственного веса	|PrPDE0150|
Задача о растяжении одноосного составного упругого тела с учетом масштабных эффектов в окрестности границы контактов	|PrPDE0160|

Представленная выше (в таблице 3) идентификация задач позволяет оперировать записями типа «задача PrPDEXXX» или просто «PrPDEXXX» (обозначение определенной физической задачи), где используются сокращения: Pr – Problem (задача), PDE – Partial Differential Equation (уравнения с частными производными), XXXX –десятичный номер.

Требования к терминологическим обозначениям. В общем случае терминология предметной области обычно представлена в виде дескрипторов, недескрипторов, синонимов. Другие виды терминологии могут быть преобразованы (при необходимости) к перечисленным выше с помощью известных методов.

Приведем типичные требования и допущения при назначении / образовании терминологического обозначения понятия предметной области МФ СМобл для интернет-среды:

- словесное обозначение должно быть однозначным в рамках ПО и, вместе с тем, универсальным при использовании данного понятия;
- словесное обозначение должно быть информативным, т. е. содержать основные свойства, признаки рассматриваемого понятия, совокупность которых идентифицирует в определенной мере это понятие, но зачастую не без привнесения избыточности информации;

- словесная идентификация понятия может быть «длинной», т. е. представлять собой терминологическое словосочетание их нескольких слов-терминов;
- терминологическое обозначение может содержать специфическую информацию, имеющую определенное значение и обрамляемую круглыми скобками (сокращения, аббревиатура и др.);
- терминологическое обозначение может быть оформлено как предложение естественного языка, но без причастных оборотов, местоимений, числительных (по возможности);
- терминологическое обозначение может быть так называемым «именным понятием».

В литературе по затронутым вопросам можно отметить следующие тенденции:

а) в наименовании PDE указываются область применения уравнения, а также материальный объект физического процесса;

б) в наименовании PDE содержится в основном краткая информация о свойствах уравнения;

в) наименование PDE содержит фамилии исследователей[2].

Вот характерные примеры обозначения (терминов) различных видов PDE из литературы [24] по МФ и PDE, см. пример 1 с формулами.

Пример 1.

– «*уравнение свободных колебаний струны*» и поясняющее «уравнение колебаний в отсутствии внешних сил»,

$$u_{tt} - \frac{1}{a^2} u_{xx} = 0,\ a = \sqrt{T/\rho},$$

T – натяжение струны, ρ – линейная плотность струны, T и ρ – постоянные;

– «*уравнение продольных колебаний однородного стержня постоянного сечения*»,

$$u_{tt} - a^2 u_{xx} = 0,\ a = \sqrt{E/\rho_0},$$

[2] вместо словосочетания «наименование вида PDE» используем «наименование PDE»

E – модуль упругости материала (модуль Юнга), ρ_0 – объемная плотность стержня;

– «*уравнение электрических колебаний в линии, свободной от искажения*»,

$$v_{tt} = a^2 v_{xx},\ a = 1 \big/ \sqrt{LC},$$

L – коэффициент самоиндукции, C – коэффициент емкости;

– «*уравнение свободных поперечных колебаний мембраны*»

$$u_{tt} = a^2 (u_{xx} + u_{yy}),\ a = T_0 \big/ \Gamma,$$

T_0 – постоянная плотность натяжения во всех точках мембраны, Γ – постоянная поверхностная плотность мембраны;

– «*уравнение колебаний*»

$$\rho u_{tt} = \mathrm{div}(p \cdot \mathrm{grad} u) - q \cdot u + F(x,t),$$

неизвестная функция $u(x, y)$ зависит от $n (n = 1,2,3)$ пространственных координат $x = (x_1, x_2, ..., x_n)$ и времени t; коэффициенты ρ, p, q определяются свойствами среды, где происходит колебательный процесс; $F(x,t)$ – свободный член, выражающий интенсивность внешнего возмущения;

– «*уравнение Лаврентьева–Бицадзе*»

$$u_{xx} + \mathrm{sign}\, y \cdot u_{yy} = 0;$$

– «*волновое уравнение*»

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} \right),$$

a – любая постоянная (например, $a = 1$);

– «*уравнение колеблющейся струны*», «*уравнение плоских волн*»

$$Z_{xx} - \alpha^2 Z_{tt} = 0,$$

α – некоторая постоянная, зависящая от массы поперечного сечения струны и ее натяжения; положив $t = \alpha y$, имеем

$$Z_{xx} - Z_{yy} = 0;$$

– «*уравнение Трикоми*», «*уравнение Т*»

$$yZ_{xx} + Z_{tt} = 0;$$

– «*однородное волновое уравнение*»

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2}\right) u(x,t) = 0,$$

c – заданная постоянная;

– «*двумерное волновое уравнение*»

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} - c^2 \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\right) u(x_1, x_2, t) = 0,$$

c – заданная постоянная.

Приведенные выше примеры – в основном PDE гиперболического типа («волновые» уравнения»). Однако «характерные особенности», свойственные этим примерам, имеют место и для PDE других типов.

Родовидовые связи некоторых задач ПО МФ. Приведем пример 2 задач ПО МФ, где термин с идентификатором PrPDE3501 – родовой дескриптор, а PrMXPDE3502 и PrMXPDE3503 – видовые термины, «MX» – часть идентификатора, указывающая на тип уравнения, – «уравнение смешанного типа». Родовой дескриптор обозначим «Д», а видовой «→».

Пример 2.

Д: |PrPDE3501|«*Задача ПО МФ*»

→ |PrMXPDE3502| «*Смешанная задача для волнового одномерного уравнения свободных поперечных колебаний однородной ограниченной струны с закрепленными концами*»

$$u_{tt} - a^2 u_{xx} = 0, \quad 0 < x < l, t > 0,$$

$$u(x,t)\big|_{t=0} = u(x,0) = \varphi(x), u_t(x,t)\big|_{t=0} = u_t(x,0) = \varphi(x),$$

$$u(x,t)\big|_{x=0} = u(0,t) = 0, u_x(x,t)\big|_{t=0} = u_{x=l}(l,t) = 0;$$

→ |PrBXPDE3503| «*Граничная задача для волнового одномерного* *однородного уравнения с трением*»

$$u_{tt} = a^2 u_{xx} - \alpha u_t \quad \alpha > 0; u(0,t) = \mu_1(t), u(l,t) = \mu_2(t).$$

В предыдущей задаче (|PMXPDE3503|) фактически для PDE мы назначили новый дескриптор: «*Волновое одномерное однородное уравнение с трением*».

Изложенный весьма краткий анализ примеров позволяет терминологически обозначить приведенную выше структуру с соблюдением определенных требований при идентификации понятий МФ и СМобл. Практически сказанное сводится к установлению родовидовых и других отношений и в массиве {PDE}, и в общем между понятиями предметной области на примере раздела «*математическое описание процессов колебаний*».

Приведем некоторые примеры, где «Линейное неоднородное PDE второго порядка с постоянными коэффициентами и двумя независимыми переменными» – общего характера родовой дескриптор (РД).

Пример 3.

РД: «*Линейное неоднородное PDE второго порядка с постоянными коэффициентами и двумя независимыми переменными*»

→ Одномерное однородное *волновое уравнение*, $\square_{\alpha} u = 0$ (1*).

Термин (1*) является основанием для использования следующей терминологии:

1. «*Волновое одномерное однородное уравнение*», |PDE1046|,

$$u_{tt} = a^2 u_{xx},\ u_{tt} - a^2 u_{xx} = 0,\ u_{xx} - \frac{1}{a^2} u_{tt} = 0,\ a > 0.$$

2. «*Волновое одномерное неоднородное уравнение*», |PDE1047|,

$$u_{tt} = a^2 u_{xx} + f(x,t),\ u_{tt} - a^2 u_{xx} = f(x,t).$$

3. «*Волновое двумерное однородное уравнение*», |PDE1048|,

$$u_{tt} = a^2 (u_{xx} + u_{yy}),\ u_{tt} - a^2 (u_{xx} + u_{yy}) = 0.$$

4. «*Волновое двумерное неоднородное уравнение*», |PDE1049|,

$$u_{tt} - a^2 (u_{xx} + u_{yy}) = f(x,y,t),\ u_{tt} - a^2 (u_{x_1x_1} + u_{x_2x_2}) = f(x_1, x_2, t).$$

5. «*Волновое n-мерное неоднородное/ однородное уравнение*»,

$$u_{tt} - a^2 \sum_{i=1}^{n} u_{x_i x_i} = \Phi(x_1, x_2, ..., x_n, t) / \Phi = 0\,.$$

В приложениях обычно $1 < n < 3, a > 0$ – постоянная.

6. «*PDE гиперболического типа*»

Все эти термины могут рассматриваться как родовые дескрипторы для перечисленных выше в примере 3 (причем для п. 6 только именно так).

Для термина «волновое одномерное однородное уравнение» как родового дескриптора имеем видовые дескрипторы, см. пример 4.

Пример 4.

Д: «*волновое одномерное однородное уравнение*»

→ «*волновое одномерное однородное уравнение свободных поперечных колебаний бесконечной/ограниченной однородной струны*» (для ограниченной струны, например, «с закрепленными концами»);

→ «*волновое одномерное однородное уравнение свободных продольных колебаний однородного ограниченного стержня постоянного сечения с закрепленными концами*»;

→ «*волновое одномерное однородное уравнение электрических колебаний в линии без искажений*».

«*Волновое n-мерное неоднородное/однородное уравнение*» – видовые дескрипторы по отношению к дескриптору «*PDE гиперболического типа*», см. пример 5.

Пример 5.

Д: «*PDE гиперболического типа*»

→ «*Волновое n-мерное неоднородное/однородное уравнение*»

Приведенные дескрипторы (см. пп. 1–4 примера 3) являются видовыми по отношению к дескриптору п. 5 соответственно при $\Phi \neq 0$ и $\Phi = 0$.

Состав статьи тезауруса «математической задаче ПО МФ», основные сведения. Приведем информацию о математической задаче ПО МФ в таблице 4 «основных сведений». Более подробно об особенностях в связи с описанием парадигматических отношений ПО МФ сказано в работе [25].

Таблица 4. Основные сведения математической задаче ПО МФ

Терминологическое обозначение – название данной задачи дескриптор данной задачи: [<Название задачи><Дескриптор PDE> <Информация о физическом процессе> <Сведения о материальной объекте>]
Термины-синонимы
Литература
Математическая запись задачи Дескриптор PDE. Идентификатор PDE с указанием типа PDE Запись PDE в декартовой системе координат Запись PDE в используемой системе координат (отличной от декартовой) Начальные условия Граничные условия. Однородные, неоднородные условия Интерпретация независимых переменных
Корректность постановки задачи Утверждение о существовании и единственности решения задачи Непрерывная зависимость решения задачи от исходных данных (условий)
Решение задачи Точное решение задачи в виде формульной зависимости (аналитическое решение). Название точного решения Приближенное решение задачи (численное решение). Название приближенного решения. Табличное решение задачи
Методы решения задачи Методы точного решения Методы приближенного решения Методы табличного решения
Связи <физические | технические задачи> → <задача предметной области МФ> : идентификаторы, ссылки
Ключевые слова:
См. также:
Историческая справка:
Примечание: поясняющая и дополняющая информация

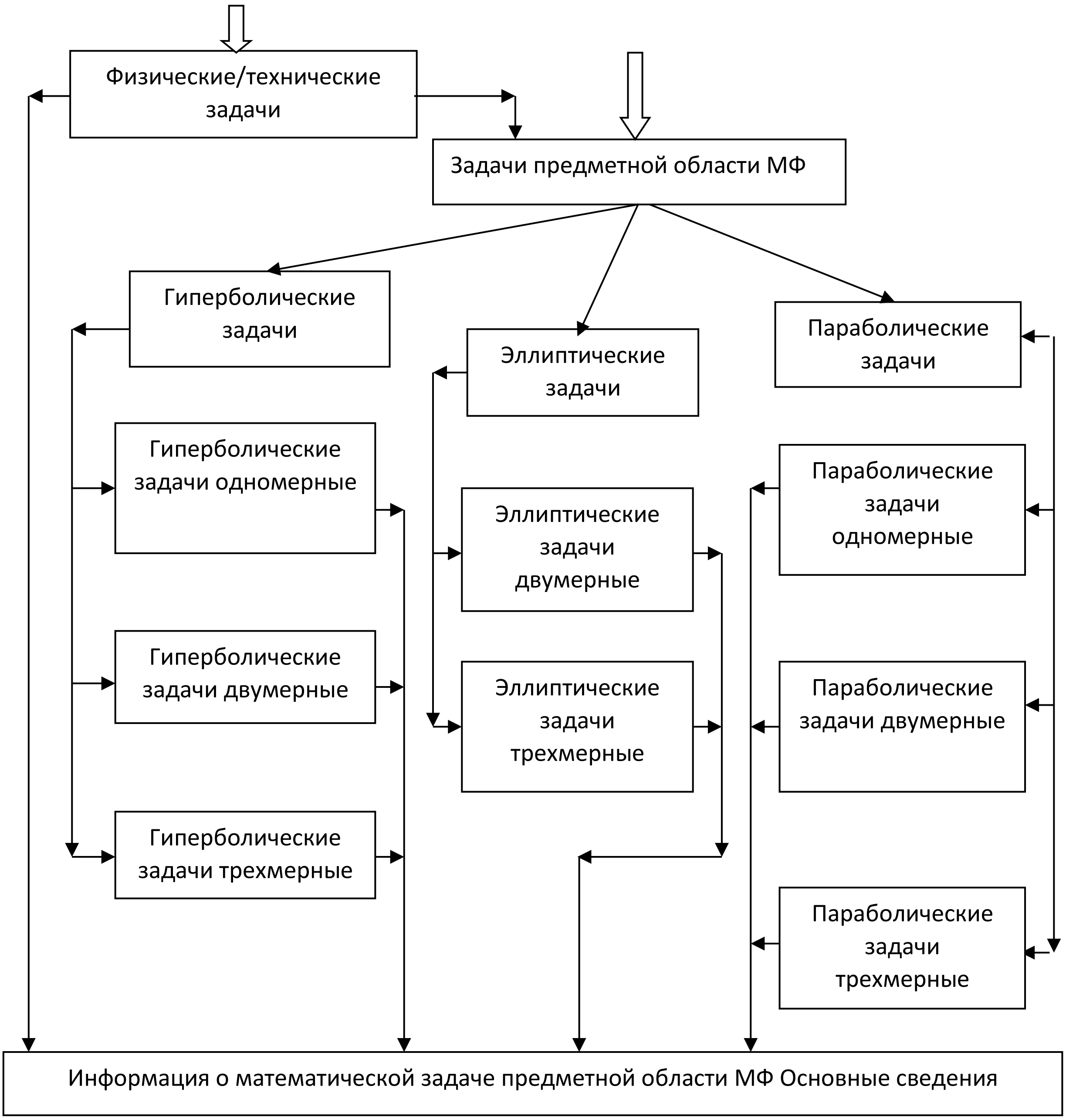

Рисунок 3. Схема иерархических связей задач МФ

В «Основных сведениях» могут быть предусмотрены различные входы в информационный массив конкретной задачи МФ. Тем не менее, нелишне иметь общую иерархическую систему связей задач МФ. На рис. 3 приведен один из возможных вариантов, где «…мерность» определяется пространственными переменными.

Приведем также схематически родовидовые отношения для PDE второго порядка с двумя независимыми переменными, см. рис. 4.

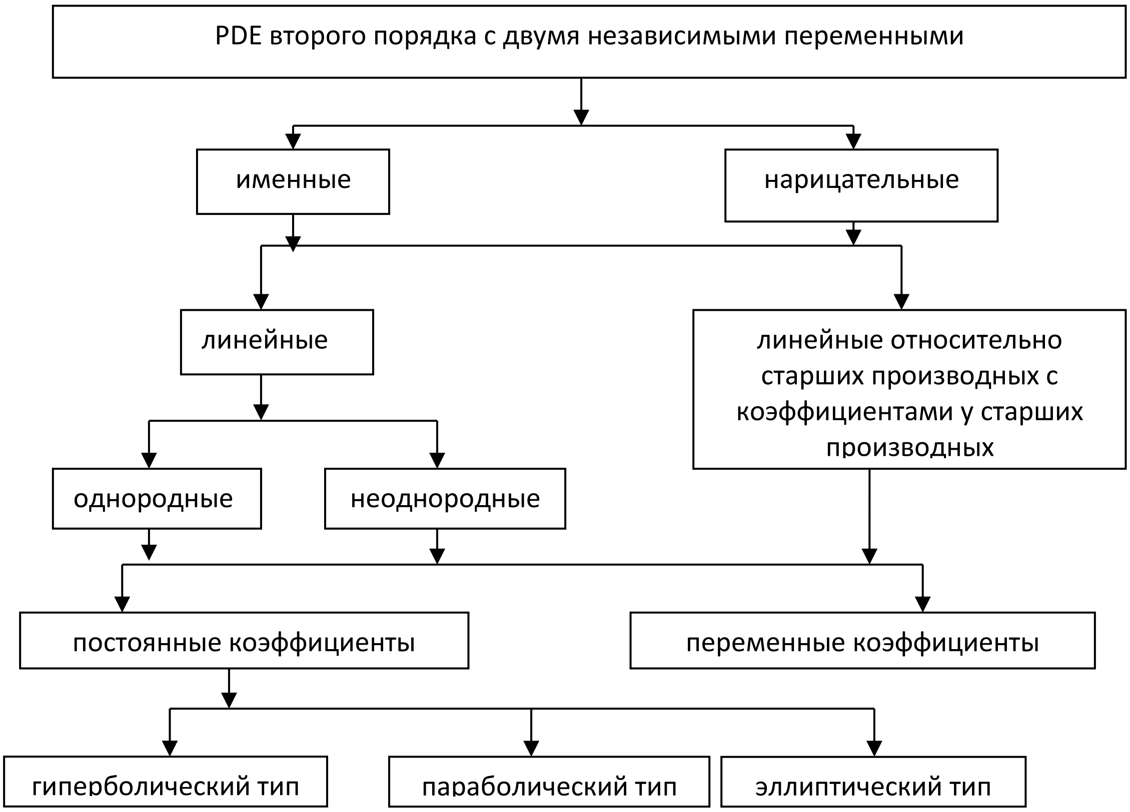

Рисунок 4. Схема связей PDE второго порядка с двумя независимыми переменными

Дескрипторы некоторых разделов ПО МФ. На основании схемы рис. 3 можно выписать дескрипторы раздела «Задачи ПО МФ», см. таблицу 5.

Таблица 5. Дескрипторы раздела «Задачи ПО МФ»

✓ Задачи ПО МФ	|PH1PDE4500| «Гиперболические задачи одномерные» |PH2PDE4499| «Гиперболические задачи двумерные» |PH3PDE4498| «Гиперболические задачи трехмерные» |PP1PDE4495| «Параболические задачи одномерны |PP2PDE4494| «Параболические задачи двумерные» |PP3PDE4493| «Параболические задачи трехмерные» |PE2PDE4497| «Эллиптические задачи двумерные» |PE3PDE4496| «Эллиптические задачи трехмерные»

Многие физические процессы подразделяются на этапы, для каждого из которых может быть использована модель, воплощаемая задачей из приведенного списка. Далее приведем дескрипторы с математическими записями для некоторых конкретных задач для родового дескриптора «Задачи смешанного типа», см. таблицу 6.

Таблица 6. Дескрипторы раздела «Задачи смешанного типа»

✓ Задачи смешанного типа	• |PMXPDE3506| «Смешанная задача для одномерного однородного уравнения теплопроводности о распределении температуры в ограниченном, однородном, с тепловой изоляцией, на концах которого задан тепловой режим» ○ $u_t - a^2 u_{xx} = 0, \quad 0 < x < l, t > 0$; ○ $u(x,0) = \varphi(x), 0 \le x \le l$, ○ $u(0,t) = \alpha(t), u(l,t) = \beta(t), t \ge 0$. • |PMXPDE3505| «Смешанная задача для волнового одномерного неоднородного уравнения вынужденных поперечных колебаний ограниченной однородной струны, закрепленной на концах» ○ $u_{tt} = a^2 u_{xx} + f(x,t), \quad 0 < x < l, t > 0$; ○ $u(x,0) = \varphi(x), u_t(x,0) = \psi(x)$, ○ $u(0,t) = 0, u(l,t) = 0$. • |PMXPDE3507| «Смешанная задача для волнового двумерного однородного уравнения свободных поперечных колебаний однородной прямоугольной мембраны с закрепленными краями» ○ $u_{tt} = a^2(u_{xx} + u_{yy}), \quad 0 < x < l, 0 < y < m, t > 0$; ○ $u(x,y,t)\big\|_{t=0} = \varphi(x,y), \quad u_t(x,y,t)\big\|_{t=0} = \psi(x,y)$, ○ $u(0,y,t) = 0, u(l,y,t) = 0$, ○ $u(x,0,t) = 0, u(x,m,t) = 0$. • |PMXPDE3508(pol)| «Смешанная задача для волнового однородного уравнения свободных поперечных колебаний однородной круглой мембраны с закрепленной границей» ○ $u_{tt} = a^2(u_{xx} + u_{yy})$; ○ $u_{tt} = \frac{a^2}{r}\left(\frac{\partial u}{\partial r} + r\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}\right), \quad 0 \le r \le l, 0 < \varphi < 2\pi, t > 0$; ○ $u(l,\varphi,t)\big\| = 0$, ○ $u(r,\varphi,0) = f(r,\varphi)$, ○ $u_t(r,\varphi,0) = \psi(r,\varphi)$.

Статья тезауруса с заглавным дескриптором PDE. По результатам анализа приведенных примеров приведем вариант содержания статьи тезауруса с заглавным дескриптором PDE для общего случая, см. таблицу 7.

Таблица 7. Состав статьи тезауруса с заглавным дескриптором данного PDE (общий случай)

Терминологическое обозначение – дескриптор данного PDE
Термины - синонимы
Литература
Запись данного PDE в декартовой системе координат (с указанием геометрической (пространственной) и иной интерпретации независимых переменных)
Структура данного PDE в декартовой системе координат: главная часть; младшие члены; правая часть.
Запись данного PDE в полярной системе координат (r,φ) с указанием ссылки об использовании
Запись данного PDE в цилиндрической системе координат (r,φ,z) с указанием ссылки об использовании
Запись данного PDE в сферической системе координат (ρ,θ,φ) с указанием ссылки об использовании
Запись данного PDE в криволинейной системе координат (q_1,q_2,q_3) с указанием ссылки об использовании
Запись данного PDE с помощью понятий и символики векторного анализа с указанием ссылки об использовании
Характеристическое уравнение. Характеристики PDE
Каноническая форма данного PDE с указанием канонического преобразования
Тип данного PDE: HT, ET, PT, MX
Общее решение данного PDE с указанием метода получения этого решения, а также ссылок
Нетривиальное частное решение данного PDE с указанием ссылок. При необходимости ограничиваются только ссылками.
Идентификаторы математических задач, в которых данное PDE используется (в любой записи)
Родовые дескрипторы (по крайней мере, ближайший) Видовые дескрипторы (по крайней мере, ближайший) Ассоциативные дескрипторы
Ключевые слова
См. также
Историческая справка
Примечание: пояснения, ссылки, связи, дополнительная необходимая информация

В таблице 7 обозначено: HT – уравнения гиперболического, ET – эллиптического, PT – параболического, MX – смешанного типов.

Характерные особенности приведенных примеров в определенной мере типичны для рассматриваемой предметной области. Представленные здесь «общее и частное» – констатация на информационном уровне, она позволяет перейти к терминологическому рассмотрению PDE второго порядка с двумя независимыми переменными с дальнейшей детализацией при указании типов уравнений.

PDE второго порядка с двумя независимыми переменными. Имеем следующие *термины*:

- «*Линейное* *неоднородное/однородное PDE второго порядка с постоянными коэффициентами и двумя независимыми переменными*»

$$Au_{xx} + 2Bu_{xy} + Cu_{yy} + Du_x + Eu_y + Fu = \begin{cases} f(x,y), & |\,\text{PDE1007}| \\ 0, & |\,\text{PDE1003}| \end{cases}, \tag{1}$$

где A, B, C, D, E, F – постоянные;

- «*Линейное* *неоднородное/однородное PDE второго порядка с переменными коэффициентами и двумя независимыми переменными*»

$$a_{11}(x,y)u_{xx} + 2a_{12}(x,y)u_{xy} + a_{22}(x,y)u_{yy} + b_1(x,y)u_x + b_2(x,y)u_y + b_3(x,y)u = \\ = \begin{cases} f(x,y), & |\,\text{PDE1023}| \\ 0, & |\,\text{PDE1019}| \end{cases}, \tag{2}$$

$a_{11}, a_{12}, a_{22}, b_1, b_2, b_3$ – функции только переменных x, y и с определенной степенью гладкости;

Дескриптор «*Линейное* *PDE второго порядка с двумя независимыми переменными*» |PDE1001|, математическая запись уравнения состоит из выражений (1), (2). Этот *дескриптор* (с идентификатором |PDE1001|) является *родовым* по отношению к каждому из дескрипторов, уравнения которых представлены в выражениях (1) и (2).

- «*Линейное относительно старших производных* *PDE второго порядка с постоянными коэффициентами у старших производных (с правой частью/без правой части) и двумя независимыми переменными*»

$$A_1u_{xx} + 2B_1u_{xy} + C_1u_{yy} + F_1(x, y, u, u_x, u_y) = \begin{cases} \varphi(x,y), & |\,\text{PDE1015}| \\ 0, & |\,\text{PDE1011}| \end{cases}, \tag{3}$$

где A_1, B_1, C_1 – постоянные;

- «*Линейное относительно старших производных PDE второго порядка с переменными коэффициентами у старших производных (с правой частью/без правой части) и двумя независимыми переменными*»

$$A_2(x,y)u_{xx}+2B_2(x,y)u_{xy}+C_2(x,y)u_{yy}+F_2(x,y,u,u_x,u_y)=\begin{cases}\varphi_1(x,y), |\mathrm{PDE1031}|\\ 0, \qquad |\mathrm{PDE1027}|\end{cases}, \quad (4)$$

где A_2, B_2, C_2 – достаточно гладкие функции только переменных x, y;

Дескриптор «*Линейное относительно старших производных PDE второго порядка с двумя независимыми переменными*» |PDE1002|, математическая запись уравнения содержит PDE из выражений (3) и (4).

Дескриптор с идентификатором |PDE1002| является *родовым* по отношению к каждому из дескрипторов, уравнения которых представлены в выражениях (3) и (4).

Функции F_1 и F_2 – неглавные части уравнений естественно рассматривать (как один из вариантов) таким образом, чтобы выражения (3) и (4) не дублировали линейные выражения (1) и (2).

Далее: «*Уравнение в частных производных называется квазилинейным, если оно линейно относительно всех старших производных искомой функции*».

Термин «Квазилинейное дифференциальное уравнение второго порядка с двумя независимыми переменными» используется для PDE вида

$$a\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+2b\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial y}+c\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\Phi(x,y,u,\frac{\partial u}{\partial x},\frac{\partial u}{\partial y})=0,$$

где коэффициенты a, b, c – функции переменных x, y и принадлежат классу C^2 в некоторой области переменных.

В общем случае имеем *дескрипторы*:

– «*Квазилинейное PDE второго порядка с двумя независимыми переменными (с правой частью/без правой части)*»

$$A_3(x,y,u,u_x,u_y)u_{xx}+2B_3(x,y,u,u_x,u_y)u_{xy}+C_3(x,y,u,u_x,u_y)u_{yy}+$$
$$+F_3(x,y,u,u_x,u_y)=\begin{cases}\varphi_2(x,y), |\mathrm{PDE1044}|\\ 0, \qquad |\mathrm{PDE1045}|\end{cases} \quad (5)$$

Список дескрипторов далеко не полон и отражает взгляды авторов на проблему представления тезауруса ПО МФ СМобл в цифровой среде. В дальнейших исследованиях предполагается продолжить эти работы по идентификации терминов, включая методы решений и решения задач этой ПО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен один из подходов к решению проблемы поиска в больших информационных ресурсах, основанный на представлении предметных областей с помощью их терминов, которые в дальнейшем используются в поисковых запросах. При успешной реализации этот подход обеспечивает уменьшение информационного шума, времени обработки запроса и повышает эффективность поиска публикаций из заданной предметной области. Однако остается открытым вопрос о последующем информационном терминологическом наполнении моделей предметных областей, что связано с естественным развитием науки и техники. Использование информационного пространства пользователя, автора, работающего в некоторой предметной области, дает возможность пополнять знания предметной области через тезаурус адресата. Рассмотрен вариант идентификации понятий математической предметной области, задач и дескрипторов предметной области уравнений с частными производными, состав статьи тезауруса с заглавным дескриптором из этой предметной области, который реализуется на базе цифровой библиотеки LibMeta [26].

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № 17-07-00217 и № 18-07-00297.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cawkell T., Garfield E.* Chapter 15. Institute for Scientific Information // A century of science publishing: a collection of essays / Einar H. Fredriksson (Ed.). IOS Press, 2001. P. 149–160.

2. *Lewis A.C.* Kenneth O. May and Information Retrieval in Mathematics // Historia Mathematica. 2004. No 31 (2). P. 186–195.

3. *Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П.* Онтология научного пространства или как найти гения // Онтология проектирования. 2014. №4 (14). С. 18–33.

4. *Шрейдер Ю.А.* Тезаурусы в информатике и теоретической семантике // Научно-техническая информация. Сер. 2. 1971. № 3. С. 21–24.

5. *Gellerstedt S.* Doctoral Thesis, 1935; Jbuch Fortschritte Math. 61, 1259.

6. *Rassias J.M.* Lecture Notes on Mixed Type Partial Differential Equations. World Scientific, 1990, 144 p.

7. *Трикоми Ф.Д.* Лекции по уравнениям в частных производных, пер. с итал., М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. 446 с.

8. *Смирнов М.М.* Уравнения смешанного типа. М., 1970. 296 с.

9. *Smirnov M.M.* Equations of mixed type. American Translation of the Mathematical monografs. Vol. 51. Mathematical Soc., 31 Dec 1978. P. 232.

10. *Моисеев Е.И., Таранов Н.О.* Решение одной задачи Геллерстедта для уравнения Лаврентьева–Бицадзе // ДУ. 2009. Т. 45, № 4. С. 543–548.

11. *Моисеев Е.И., Таранов Н.О.* Интегральное представление решения одной задачи Геллерстедта // ДУ. 2009. Т. 45, № 11. С. 1554–1559.

12. *Моисеев Е.И., Лихоманенко Т.Н.* Об одной нелокальной краевой задаче для уравнения Лаврентьева–Бицадзе // ДАН. 2012. Т. 446, № 3. С. 256–258.

13. *Moiseev E.I., Nefedov P.V.* Tricomi problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation in a 3d domain // IT&SF. 2012. Vol. 23, No 10. P. 761–768.

14. *Moiseev E.I., Nefedov P.V.* Gellerstedt problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation in a 3D-domain // IT&SF. 2014. Vol. 25, Issue 7. P. 509–512.

15. *Моисеев Е.И., Холомеева А.А., Нефедов П.В.* Аналоги задач Трикоми и Франкля в трехмерных областях для уравнения Лаврентьева–Бицадзе // ДУ. 2014. Т.50, № 12. С. 1672–1675.

16. *Moiseev E.I., Nefedov P.V., Kholomeeva A.A.* Analog of the Gellerstedt problem for the Lavrent’ev–Bitsadze equation in a 3D domain Differential Equations // Differential Equations. 2015. Vol. 51. No. 6. P. 827–829.

17. *Moiseev E.I., Moiseev T.E., Vafodorova G.O.* On an Integral Representation of Neumann–Tricomi Problem for the Lavrent'ev–Bitsadze Eguation // Differential Equations. 2015, Vol. 51. No. 8. P. 1065–1071.

18. *Моисеев Е.И., Лихоманенко Т.Н.* Собственные функции задачи Трикоми с наклонной линией изменения типа // ДУ. 2016. Т. 52, № 10. С. 1375–1382.

19. *Zarubin A.N., Kholomeeva A.A.* Tricomi problem for an advance-delay equation of mixed type with variable deviation of the argument // Differential Equations. 2016. Vol. 52, No. 10. P. 1312–1322.

20. *Моисеев Е.И., Моисеев Т.Е., Холомеева А.А.* О разрешимости задачи

Геллерстедта с данными на параллельными характеристиках // ДУ. 2017. Т. 53, N 10. С. 1379–1384.

21. *Moiseev E.I., Likhomanenko T.N.* Eigenfunctions of the gellerstedt problem with an inclined-type change line // IT&SF. 2017. Vol. 28, No 4. P. 328–335.

22. *Moiseev E.I., Likhomanenko T.N.* Eigenfunctions of the tricomi problem with an inclined type change line // Differential Equations. 2016. Vol. 52, No 10. P. 1323–1330.

23. *Moiseev E.I., Gulyaev D.A.* The completeness of the eigenfunctions of the Tricomi problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation with the Frankl gluing condition // IT&SF. 2016. Vol. 27. No 11. P. 893–898.

24. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. Изд-е 2-е, исправл. и дополн. М.: ГЛАВЛИТ, 1953. 679 с.

25. *Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П.* Интернет и математические знания: представление уравнений математической физики в информационно-поисковой среде. М: Изд-во МАКС Пресс, 2008. 80 с.

26. *Серебряков В.А., Атаева О.М.* Информационная модель открытой персональной семантической библиотеки LibMeta // Труды XVIII Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет». Новороссийск, 19–24 сентября 2016 г. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. С. 304–313.

ABOUT ONTOLOGY OF THE ADDRESSEE IN MATHEMATICAL SUBJECT DOMAIN

A. A. Muromskiy[1], N. P. Tuchkova[2]

Dorodnicyn Computing Centre of Federal Research Centre "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow 119333. Vavilov str., 40

[1]murom@ccas.ru, [2]tuchkova@ccas.ru

Abstract

The problem of representation of mathematical subject domains in digital libraries and usefulness of these resources for experts is discussed. The option of representation of mathematical subject domains on the Internet is given. As information model for unit of record article of the thesaurus is chosen. Implementation of the scheme is shown on the example of the partial differential equations. Approach to the organization of information space of the author is offered, using the thesaurus by the addressee. On the basis of descriptions of subject domains of individuals creation of ontology of scientific cross-disciplinary community is supposed what, according to authors, will allow not to lose new result or opening in science, to observe priorities of authors, to build in new knowledge the settled system of classical subject domains.

Keywords*: controlled lexicon, descriptor dictionaries, thesaurus by the addressee, ontology of the addressee*

REFERENCES

1. *Cawkell T., Garfield E.* Chapter 15. Institute for Scientific Information // A century of science publishing: a collection of essays / Einar H. Fredriksson (Ed.). IOS Press, 2001. P. 149–160.

2. *Lewis A.C.* Kenneth O. May and Information Retrieval in Mathematics // Historia Mathematica. 2004. No 31 (2). P. 186–195.

3. *Moiseev E.I, Muromskiy A.A., Tuchkova N.P*. Ontologia nauchnogo prostranstva ili kak nayti geniiya// Ontologiia proektirovaniya. 2014. No 4 (14). S. 18–33.

4. *Shrejder Ju.A.* Tezaurusy v informatike i teoreticheskoj semantike // Nauchno-tehnicheskaja informacija. Ser. 2, 1971. No 3. S. 21–24.

5. *Gellerstedt S.* Doctoral Thesis, 1935; Jbuch Fortschritte Math. 61, 1259.

6. *Rassias J.M.* Lecture Notes on Mixed Type Partial Differential Equations. World Scientific, 1990. 144 p.

7. *Tricomi F.D.* Lekcii po uravnenijam v chastnyh proizvodnyh, per. s ital., M.: Izd-vo inostrannoj literatury, 1957, 446 s.

8. *Smirnov M.M.* Uravnenija smeshannogo tipa. M., 1970. 296 s.

9. *Smirnov M.M.* Equations of mixed type. American Translation of the Mathematical monografs. Vol. 51. Mathematical Soc., 31 Dec 1978. P. 232.

10. *Moiseev E.I., Taranov N.O*. Reshenie odnoj zadachi Gellerstedta dlja uravnenija Lavrent'eva–Bicadze // Differential Equations 2009. Vol. 45, No 4. S. 543-548.

11. *Moiseev E.I., Taranov N.O.* Integral'noe predstavlenie reshenija odnoj zadachi Gellerstedta // Differential Equations 2009. Vol. 45. No 11. S. 1554–1559.

12. *Moiseev E.I., Lihomanenko T.N.* Ob odnoj nelokal'noj kraevoj zadache dlja uravnenija Lavrent'eva–Bicadze // DAN. 2012. Vol. 446. No 3. S. 256–258.

13. *Moiseev E.I., Nefedov P.V.* Tricomi problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation in a 3d domain // IT&SF. 2012. Vol. 23, No 10. S. 761–768.

14. *Moiseev E.I., Nefedov P.V.* Gellerstedt problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation in a 3D-domain // IT&SF. 2014. Vol. 25, Issue 7. S. 509–512.

15. *Moiseev E.I., Holomeeva A.A., Nefedov P.V.* Analogi zadach Trikomi i Franklja v trehmernyh oblastjah dlja uravnenija Lavrent'eva–Bicadze // Differential Equations 2014. Vol. 50, No 12. S. 1672–1675.

16. *Moiseev E.I., Nefedov P.V., Kholomeeva A.A.* Analog of the Gellerstedt problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation in a 3D domain Differential Equations // Differential Equations. 2015. Vol. 51. No 6. S. 827–829.

17. *Moiseev E.I., Moiseev T.E., Vafodorova G.O.* On an Integral Representation of Neumann–Tricomi Problem for the Lavrent'ev–Bitsadze Eguation // Differential Equations 2015. Vol. 51. No 8. S. 1065–1071.

18. *Moiseev E.I., Lihomanenko T.N.* Sobstvennye funkcii zadachi Trikomi s naklonnoj liniej izmenenija tipa // Differential Equations 2016. Vol. 52. No 10. S. 1375–1382.

19. *Zarubin A.N., Kholomeeva A.A.* Tricomi problem for an advance-delay equation of mixed type with variable deviation of the argument // Differential Equations. 2016. Vol. 52, No 10. S. 1312–1322.

20. *Moiseev E.I., Moiseev T.E., Holomeeva A.A.* O Razreshimosti zadachi

Gellerstedta s dannymi na parallel'nymi harakteristikah // Differential Equations. 2017. Vol. 53, No 10. S. 1379–1384.

21. *Moiseev E.I., Likhomanenko T.N.* Eigenfunctions of the gellerstedt problem with an inclined-type change line // IT&SF. 2017. Vol. 28. No 4. S. 328–335.

22. *Moiseev E.I., Likhomanenko T.N.* Eigenfunctions of the tricomi problem with an inclined type change line // Differential Equations. 2016. Vol. 52. No 10. S. 1323-1330.

23. *Moiseev E.I., Gulyaev D.A.* The completeness of the eigenfunctions of the Tricomi problem for the Lavrent'ev–Bitsadze equation with the Frankl gluing condition // IT&SF. 2016. Vol. 27. No 11. S. 893–898.

24. *Tihonov A.N., Samarskij A.A.* Uravnenija matematicheskoj fiziki. Izd-ie 2 e, ispravl. i dopoln. M.: GLAVLIT, 1953. 679 s.

25. *Moiseev E.I., Muromskij A.A., Tuchkova N.P*. Internet i matematicheskie znanija: predstavlenie uravnenij matematicheskoj fiziki v informacionno-poiskovoj srede. M: Izd-vo MAKS Press, 2008. 80 s.

26. *Serebrjakov V.A., Ataeva O.M.* Informacionnaja model' otkrytoj personal'noj semanticheskoj biblioteki LibMeta // Trudy XVIII Vserossijskoj nauchnoj konferencii "Nauchnyj servis v seti internet". Novorossijsk, 19–24 Sep. 2016. IPM im. M.V. Keldysha RAN. S. 304–313.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МУРОМСКИЙ Александр Александрович, ст. н. с., ВЦ РАН, к. ф.-м. н., окончил мехмат МГУ им. М.В. Ломоносова и университет им. Н.Э. Баумана, долгие годы работал в ВИНИТИ. Специалист в области математического анализа и информационных технологий.

Alexander Alexandrovich MUROMSKIY, senior researcher of CCAS, PhD., graduated from mechanics and mathematics faculty of Lomonosov MSU. and the university of N.E. Bauman, for many years worked in VINITI. The expert in the field of the mathematical analysis and information technologies**.**

e-mail: murom@ccas.ru

ТУЧКОВА Наталия Павловна, ст. н. с. ВЦ РАН, к. ф.-м. н., окончила ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова. Специалист в области алгоритмических языков и информационных технологий.

Natalia Pavlovna TUCHKOVA, senior researcher of CCAS, PhD., graduated from CS faculty of Lomonosov MSU. The expert in the field of algorithmic languages and information technologies.

e-mail: tuchkova@ccas.ru

Материал поступил в редакцию 10 декабря 2018 года