



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2018 • Труды конференции



Е.И. Моисеев, А.А. Муромский,
Н.П. Тучкова

**О тезаурусе предметной области
смешанные уравнения
математической физики**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. О тезаурусе предметной области смешанные уравнения математической физики // Научный сервис в сети Интернет: труды XX Всероссийской научной конференции (17-22 сентября 2018 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2018. — С. 395-405. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2018/theses/43.pdf>
doi:[10.20948/abrau-2018-43](https://doi.org/10.20948/abrau-2018-43)

Размещена также [презентация к докладу](#)

О тезаурусе предметной области смешанные уравнения математической физики

Е.И. Моисеев^{1,2}, А.А. Муромский², Н.П. Тучкова²

¹ ФОУ ВПО "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", факультет ВМК, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 52

²Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, ул. Вавилова, 40

Аннотация. Обсуждается поиск математических статей в сети интернет и связанные с этим вопросы. Основные проблемы поиска заключаются в особенностях формирования запроса и наличии информационного шума. При использовании формул в поисковом запросе возникают дополнительные трудности и дополнительный информационный шум, хотя целью является совсем другое - уточнение запроса для получения пертинентной информации. Трудности вызваны тем, что использовать символьную нотацию в поисковом запросе, например, TeX-нотацию, готовы далеко не все, а публикации часто представлены в pdf-формате. Информационный шум возникает, как следствие поиска формул с точностью до аналогий. Проблемы усугубляются также, если формула не имеет общепризнанного названия, обозначения, в отличие, например, от таких, как формула Даламбера, уравнение Трикоми и др. Существует еще одно обстоятельство, которое недостаточно обсуждается, а именно, довольно сложный механизм пополнения информационных ресурсов формулами, которые, могут и должны использоваться в поисковом образе. На примере тезауруса по предметной области "смешанные задачи математической физики" предлагается вариант использования формул для поиска математических статей. Рассматривается версия работы осведомленного в предметной области пользователя с математическими текстами публикации выполненной с помощью TeX-нотации. Естественный механизм разметки документов задается при наличии ключевых слов в пристатейных вторичных документах. В противном случае, используя частотный анализ, составляется локальный тезаурус или словарь для статьи. Статья словаря в таком виде содержит все поля для идентификации соответствующих формул в тексте.

Ключевые слова: сравнение математических текстов, семантический поиск, тезаурус, смешанные задачи математической физики

About the thesaurus for the subject domain: equations of mixed type

E.I. Moiseev^{1,2}, A.A. Muromsky², N.P. Tuchkova²

¹*Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia*

²*Dorodnicyn Computing Center FRS «Computer Sciences and Control», Russian Academy of Sciences, Vavilov str, 40, Moscow, 119333, Russia*

Abstract. The search for mathematical articles on the Internet and related issues are discussed. The main problem of search are the features of the query formation and the presence of information noise. When using formulas in the search query, there are additional difficulties and additional information noise, although the goal is completely different - the specification of the query to obtain the pertinent, information. Difficulties are caused by the fact that not all are ready to use the symbolic notation in the search query, for example, TeX-notation, and publications are often presented in pdf-format. Information noise arises as a consequence of the search for formulas to within analogies. Problems are aggravated also if the formula does not have a generally accepted name, designations, unlike, for example, from such as the d'Alembert formula, the Tricomi equation, etc. There is one more circumstance that is not sufficiently discussed, namely, a rather complex mechanism for replenishing information resources with formulas that can and should be used in the search form. On the example of the thesaurus on the subject domain "mixed problems of mathematical physics", a variant of using formulas for searching mathematical articles is proposed. We consider a version of the work of a user knowledgeable in the subject domain with mathematical texts of a publication made using TeX-notation. A usual document markup mechanism is specified when there are keywords in secondary documents. Otherwise, using a frequency analysis, a local thesaurus or dictionary for the article is compiled. The dictionary article in this form contains all the fields for identifying the corresponding formulas in the text.

Keywords: comparison of mathematical texts, semantic search, thesaurus, mixed problems of mathematical physics

Введение

Интерес к проблеме использования символьной записи в виде формул в поисковом запросе существует давно. В работе [1] дается обзор 72 источников, посвященных основным тенденциям исследований в этой области: использованию индексирования публикаций на основе таксономии и включению формул в поисковый запрос. Есть исследования для существующих информационно-поисковых систем, где показано, что применение символьной информации в поисковом запросе повышает релевантность результата поиска при достаточной осведомленности пользователя и соответствующей разметке математических данных [2]. Разрабатываются системы контекстного поиска с учетом таксономии [3], это направление, которое сочетает семантические связи и рекурсивный поиск индексированных документов с формулами, оценивается как наиболее развиваемое и актуальное. Такой подход предполагает создание предварительной структуры и разметку документов для быстрого поиска и дальнейшего уточнения запроса по предварительной выборке. Некоторые

особенности работы с терминологией математической предметной области (ПО) изложены в работах [4, 5].

Метод

Предлагаемый вариант работы с математическими текстами рассчитан на публикации в TeX-нотации. При этом, поскольку используется идея сравнения по аналогии и контекстный поиск, то в определенной степени предложенный механизм может быть использован и для работы с текстовыми документами и word-документами. Работа с pdf-файлами - это отдельная задача. Эти файлы, если они размещены в сети для специалистов, как правило, имеют стандартные наборы сопроводительных описаний в виде библиографических записей и других полей для поиска, включая тематическую принадлежность, и указания на классификаторы. Здесь мы не рассматриваем частные коллекции публикаций в pdf, которые не предназначены для использования специалистами.

Естественный механизм "разметки" документов задается при наличии ключевых слов в пристатейных вторичных документах. В противном случае, используя частотный анализ, составляется локальный тезаурус или словарь для статьи. Т.е. выделяются главные термины, связанные с ними и реферативным материалом, работы. Таким образом, статья "приписывается" определенной ПО, где выбранные главные термины также входят в состав дескрипторов.

Основная работа, безусловно, составление самого предметного тезауруса и сопровождение его формулами в TeX-нотации. Формулы при поиске сравниваются с точностью до переменных, а наличие формул в виде "картинок" дает дополнительную визуальную информацию, это полезная информация, которая служит уточнению запроса.

Например, вот фрагмент (статья) двуязычного словаря специальных функций математической физики:

- Термин, Ru : Бесселя многочлен
- Термин, En: Bessel polynomial
- Термин, TeX: $y_{\{n\}}(z)$
- Термин, jpg: $y_n(z)$
- Определение, TeX: $y_{\{n\}}(z)=\sum_{\{k=0\}}^{\{n\}}\frac{\{(n+k)\}}{\{k!(n-k)\}}\left(\frac{\{z\}}{\{2\}}\right)^{\{k\}}$
- Определение, jpg: $y_n(z) = \sum_{k=0}^n \frac{(n+k)!}{k!(n-k)!} \left(\frac{z}{2}\right)^k$
- УДК: 517.587
- MSC: 33C45

Здесь, в словаре, мы накапливаем возможные данные (знания) о специальных функциях, помещаем в поля определений и используем их в дальнейшем поиске. Это - названия на русском и английском, запись в TeX-нотации, изображения в jpg-формате, индексы классификаторов УДК и

соответствующие в MSC. Возможна другая дополнительная информация, ссылки на литературу и на другие термины (ассоциативные связи).

Статья словаря в таком виде содержит все поля для идентификации соответствующих формул в тексте.

Поиск публикаций с уравнениями смешанного типа

Остановимся на задаче поиска математических публикаций для ПО уравнений смешанного типа, как части общего ресурса по уравнениям с частными производными (УЧП). Для этого сформируем указатель терминов и уравнений по тематике уравнений смешанного типа.

Уравнения смешанного типа принимают гиперболический тип (hyperbolic type, НТ), параболический тип (parabolic type, РТ) и эллиптический тип (elliptic type, ЕТ), в зависимости от области определения (рассмотрения), как часть УЧП на схеме на рис. 2.

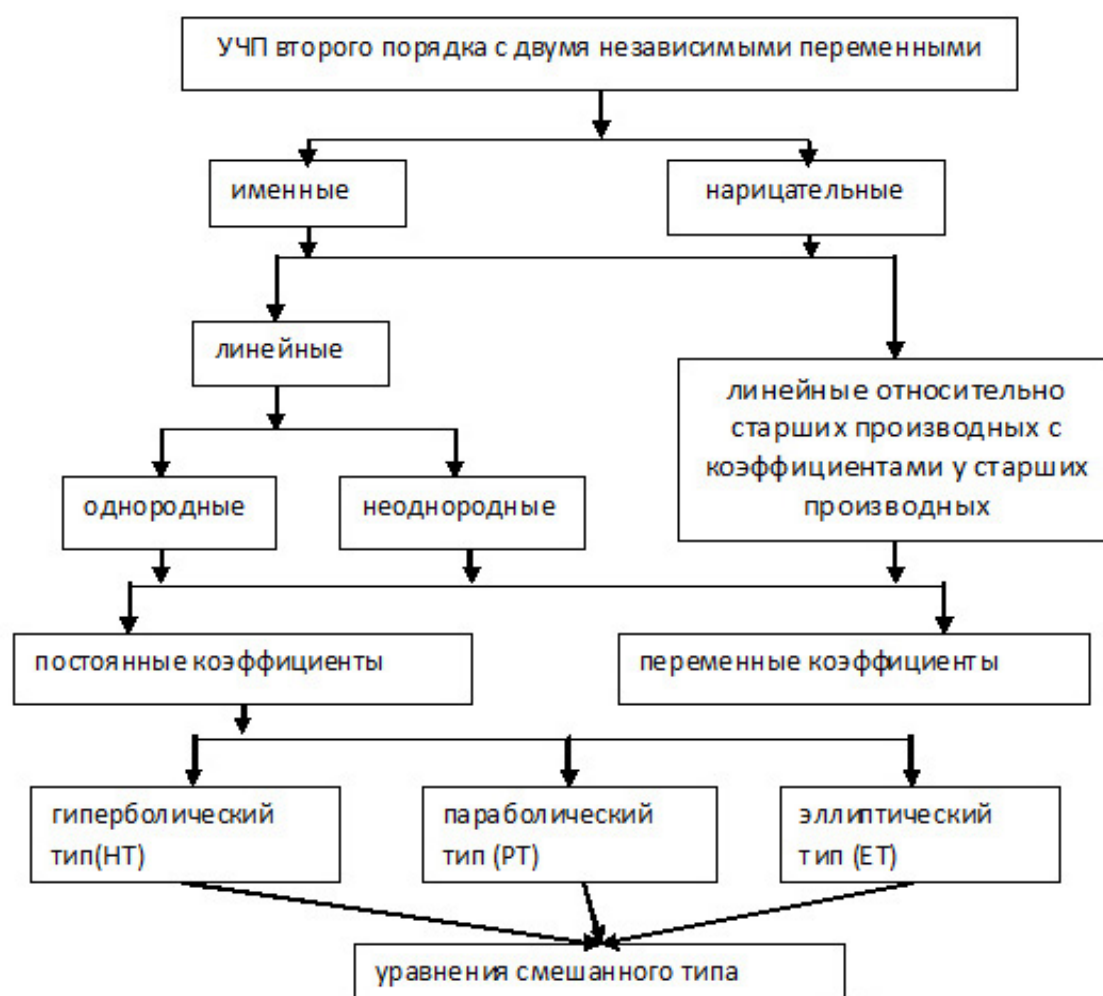


Рис. 1. Графическая схема взаимосвязей УРЧ второго порядка с независимыми переменными

Для формирования указателя рассматриваются смешанные уравнения, задачи для этих уравнений, а именно, Трикоми уравнения, Трикоми задачи и их обобщения. Устанавливаются связи терминов, примыкающих к проблематике

Трикоми [6]. Среди них приводятся результаты таких авторов как С. Геллерстедт (Gellerstedt S.) [7], Ф.И. Франкль (Frankl F.) [8], И.Н. Векуа [9], М.А. Лаврентьев [10], А.В. Бицадзе [11], К.И. Бабенко [12], П.Жермен (Germain P.) [13] и Р. Баде (Bader R.) [14], и другие.

Выбрана следующая структура указателя: все понятия, задачи, уравнения, связанные с ними, помещаются в отдельные строки, пункты статей указателя, которые нумеруются.

Для статьи указателя выделена строка (строки) в которую помещаются фамилия автора работы, название работы с приведением формульных зависимостей, а также ссылки на соответствующие опубликованные источники. Таким образом, каждый пункт содержит полную информацию о работе, в которой встречаются соответствующие символьные выражения (формулы) и сами формулы (если они есть). Пример статьи указателя для термина " Трикоми уравнение" показан на рис.2

Термин идентификатор :	EMIX002
Термин Ru:	Трикоми уравнение [1] с. 5, [2] с. 372
Термин синоним Ru:	Уравнение Т [2i] с. 382, [2i] с. 388
Термин En:	Tricomi equation
Термин синоним En:	equation T
Термин (автор) :	Трикоми Франческо Джакомо
Термин (автор) En:	Tricomi Francesco Giacomo
УДК:	517.956.6 Уравнения смешанного типа
MSC:	35M10 Equations of mixed type
Формула MS WORD:	$y \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$
Формула синоним LaTeX:	$\$y \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0\$$
Литература:	[1] с. 5, [2i] с. 372, [1en], Т [2i] с. 382, [2i] с. 388

Рис. 2 Статья указателя для термина "Трикоми уравнение"

В поисковом запросе может использоваться любое из полей статьи указателя, как термин, так и формула. На основе связей, которые созданы в рамках статьи указателя производится уточнение запроса.

Уравнения смешанного типа входят в предметную область уравнений с частными производными (Partial differential equations, PDE) и указатель по этим уравнениям составляет часть более общего тезауруса. Указатель позволяет реализовать три варианта входа:

- 1 Вход для поиска - термин
- 2 Вход для поиска - формула

3 Вход для поиска - автор

Для поиска на естественном языке можно употреблять то, что "по аналогии" можно назвать *словесной формулой*, выражающей описание объекта поиска. *Набор ключевых слов*, с высказанной выше точки зрения, - *словесная формула* в данной тематике. Приведенные определения показывают, что для поиска в запросе должна быть формулировка в виде ключевых слов (поиск на естественном языке) и уточнение в виде математической записи, например в TeX-нотации [15], для поиска в соответствующем математическом ресурсе.

Эффект от семантических связей [16] основан на использовании терминов из тезауруса математической ПО, снабженных формулами, как основы для математического запроса. Опираясь на тезис, сформулированный Муэрсом, (Moore) [20], использование информационно-поисковой системы авторам должно приносить пользу, например:

- обогащение тезауруса адресата за счет применения новых терминов из тезауруса ПО;
- использование терминов из тезауруса в качестве ключевых слов публикации для уточнения ее места в рамках ПО;
- применение терминов тезауруса в поисковых запросах при составлении реферативного списка.

Термины из тезауруса математической ПО, снабженные формулами, составляют основу для математического запроса [17]. Терминологическое описание ПО на основе словарей и тезаурусов [18] выходит на первый план при решении проблемы уменьшения поискового шума и уточнения запроса с помощью включения в него формул.

Реализация предложенного подхода производится на основе, разрабатываемой в рамках коллектива авторов, системы LibMeta [19].

Пример 1: вход - термин

Индексация терминами на основе частотного анализа подходит для публикаций различных форматов. Например, работа [21], доступна в pdf-виде. Современные поисковые средства позволяют выделять текстовые фрагменты в таких файлах. Если мы хотим выяснить соответствует ли эта статья тематике смешанных уравнений, то попытаемся найти в ней термины из словаря по таким уравнениям. Современные технологии позволяют осуществлять текстовой поиск в данном формате. Конечно, из названия следует, что отнести ее к предметной области смешанных уравнений возможно, поиск как раз и начинается с названия, но можно попытаться найти и некоторые дополнительные термины для индексации.

Встречаются термины:

уравнения смешанного типа - 3 раза

Бицадзе - 1 раз

Трикоми 1 раз
Лиувилля - 3 раза
Римана- Лиувилля - 3 раза
уравнения смешанного типа с частной дробной производной - 2 раза
и т.д.

Этими терминами из словаря индексируем статью [21] в информационной системе. Термин "уравнения смешанного типа с частной дробной производной" добавляем в словарь. Также добавляем авторов А.А.Фролов и О.Ф.Репин, как исследователей по данной ПО.

Пример 2: вход - формула

Будем искать в работах, доступных в TeX-нотации, формулы вида:
 $u_{\{xx\}} + (\text{sgn } y)u_{\{yy\}}$

Находим эти формулы в публикациях [22] и [23], что соответствует термину указателя "уравнения Лаврентьева-Бицадзе" и синониму "уравнение смешанного типа". Индексируем этими формулами и терминами эти работы в информационной системе.

Пример 3: вход - автор

Это распространенный способ искать необходимую публикацию. Сложность заключается в том, чтобы эрудиция исследователя обеспечивала знание этих авторов. Используя вход "термин", можно получить ссылки на авторов и далее искать по фамилии. Например, выбирается термин "уравнение смешанного типа", далее работа, например [22], и авторы этой работы могут использоваться как "вход" в указатель для поиска других работ этих авторов по этой или другой тематике.

Заключение

Предложен способ индексации публикаций с использованием символьной информации. Можно отметить его следующие особенности по сравнению с представленными в цитируемой литературе:

- отличие составляет учет всех свойств математического текста при поиске и индексации публикаций;
- преимущество состоит в технологии пополнения словаря;
- новое заключается в сочетании символьной и текстовой информации, как следствие - три типа входа в статьи указателя.

Дальнейшее развитие исследований в области использования математических записей в поисковых запросах идет по пути *формализации представления символьных нотаций* (TeX и его вариации, Язык формул Вольфрама «Mathematica» и пр.), *их представления в сети* (MathML и другие варианты XML) и *их представления в базах данных* (RDF и другие варианты метаданных). Использование математических символов в информационном образе публикаций составляет одно из современных расширений в описании

публикаций в информационных системах. Это стало возможным в связи с развитием аппарата сравнения в поисковых системах и использования операций сравнения с выявлением аналогичных записей, сравнения по аналогии в сочетании с семантическими методами выявления тематической близости публикаций. В рамках междисциплинарного направления развивается тематика "управление математическое знаниями" (Mathematical Knowledge Management, МКМ), (см. труды конференции [24]). Цель МКМ состоит в том, чтобы развивать новые способы управления сложным математическим контентом на основе новых технологий в информатике, развития интернета и интеллектуальной обработки знаний. Это позволит использовать огромную сумму данных, доступных в текущих математических источниках и организовать математическое знание новыми способами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-07-00217а и в рамках темы государственного задания «Математические методы анализа данных и прогнозирования» (ФИЦ ИУ РАН).

Литература

1. Guidi F., Coen C.S. A Survey on Retrieval of Mathematical Knowledge // *Mathematics in Computer Science*. — 2016. — V. 10. — Issue 4. — P. 409–427. <https://doi.org/10.1007/s11786-016-0274-0>
2. Sojka P., L'ı́ska M. Indexing and searching mathematics in digital libraries. In *Calcuemus/MKM*. — 2011. — P. 228–243. URL:<https://pdfs.semanticscholar.org/0700/ca9441906aafb7a19b75d8d8a9b075e3c05f.pdf>.
3. Miller B.R., Youssef A. Technical aspects of the digital library of mathematical functions // *Ann. Math. Artif. Intell.* 2003. — V. 38. — No. 1. — P. 121–136. URL:https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=150850.
4. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. Поиск научных публикаций для предметных областей с неустоявшейся терминологией // *Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: Труды Международной суперкомпьютерной конференции (17-22 сентября 2012 г., г. Новороссийск)*. М.: Изд-во МГУ. — 2012. — 752 с. (С. 599-601). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22447063>.
5. Моисеев Е.И., Муромский А.А., Тучкова Н.П. Интернет и математические знания: представление уравнений математической физики в информационно-поисковой среде. М.: МАКС Пресс, 2008. — 80 с.
6. Трикоми Ф.Д., Лекции по уравнениям в частных производных, пер. с итал., М.Изд-во иностранной литературы, 1957. — 446 с.
7. Gellerstedt S. Sur un problème aux limites pour une équation linéaire aux dérivées partielles du second ordre de type mixte, VII+92p., Uppsala, Almqvist och Wiksells (Thèse Uppsala 1935).

8. Frankl F. On Cauchy's problem for partial differential equations of mixed elliptico-hyperbolic type with initial data on the parabolic line (Russian, English summary) Bull. Acad. Sc. URSS, [Izvestia Akad. Nauk SSSR] Sér. Math. — 1944. — V. 8. P. 195-224.
9. Векуа И.Н. Новые методы решения эллиптических уравнений М: ОГИЗ Гостехиздат. —1948. — 296 с.
10. Лаврентьев М.А., Бицадзе А. В. К проблеме уравнений смешанного типа // ДАН, 70. 1950. — №3-4. — С. 373-376.
11. Бицадзе А.В. О некоторых задачах смешанного типа // ДАН СССР, 70. — 1950. — №4. — С. 561-565.
12. Бабенко К.И. К теории уравнений смешанного типа. Докт. дисс. Биб. Матем. Ин-та АН СССР. — 1952.
13. Germain P. An expression for Green's function for a particular Tricomi problem, Quart. appl. Math. 1956. — V. 14. — n 2. — P. 113-124.
14. Germain P., Bader R. Problèmes elliptiques et hyperboliques singuliers pour une équation du type mixte, Publ. O.N.E.R.A., Chatillon-sous-Bagneux. —1952. — n 60.
15. Кнут Д.Э. Всё про TeX. М.: Издательский дом «Вильямс». — 2003. — 560 с.
16. Тучкова Н.П., Муромский А.А., Моисеев Е.И. Уточнение поискового запроса с помощью символьной информации. // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). М.: ИПМ им. М.В.Келдыша. — 2017. — С. 356-362.
17. Kohlhase M., Sucan I. A. A search engine for mathematical formulae // in Proc. of Artificial Intelligence and Symbolic Computation, n° 4120 in LNAI. Springer, 2006. — P. 241-253.
18. Graf P. Term Indexing, ser. Number 1053 in LNCS. Springer Verlag. — 1996.
19. 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.
20. Mooers C. Information retrieval viewed as temporal signaling // Proceedings of the International Congress of Mathematicians. — 1950. — V.1. — P.572-573.
21. Репин О.А., Фролов А.А. Об одной краевой задаче для уравнения смешанного типа с частной дробной производной Римана–Лиувилля // Дифференциальные уравнения. — 2016. — V.52. — № 10. — С.1436–1440.
22. Моисеев Е.И., Моисеев Т.Е., Холмеева А.А. О неединственности решения внутренней задачи Неймана–Геллерстедта для уравнения Лаврентьева–Бицадзе // Сиб. журн. чист. и прикл. матем. — 2017. — Т.17. —№:3. — С. 52–57.

23. Моисеев Е.И., Моисеев Т.Е., Холомеева А.А. Базисность системы собственных функций задачи Геллерстедта в эллиптической части области // Дифференциальные уравнения. — 2018. — Т.54. — № 4. — С.419-422.
24. Intelligent Computer Mathematics 10th International Conference, CICM 2017, Edinburgh, UK, July 17-21, 2017 // Proceedings. Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Lecture Notes in Artificial Intelligence, XVIII, Springer. — 2017. — 375p.

References

1. Guidi F., Coen C.S. A Survey on Retrieval of Mathematical Knowledge // Mathematics in Computer Science. — 2016. — V.10. — Issue 4. — P. 409–427. <https://doi.org/10.1007/s11786-016-0274-0>.
2. Sojka P., L'ı'ska M. Indexing and searching mathematics in digital libraries. In *Calcuemus / MKM*. — 2011. — P. 228–243. URL:<https://pdfs.semanticscholar.org/0700/ca9441906aafb7a19b75d8d8a9b075e3c05f.pdf>.
3. Miller B.R., Youssef A. Technical aspects of the digital library of mathematical functions // *Ann. Math. Artif. Intell.* — 2003. — V. 38. — No. 1. — P. 121–136. URL:https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=150850.
4. Moiseev E.I., Muromskij A.A., Tuchkova N.P. Poisk nauchnyh publikacij dlya predmetnyh oblastej s neustoyavshejsya terminologiej // *Nauchnyj servis v seti Internet: poisk novyh reshenij: Trudy Mezhdunarodnoj superkomp'yuternoj konferencii (17-22 Sep. 2012. Novorossiysk)*. M.: Izd-vo MGU. — 2012 — 752 с. (С. 599-601). URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=22447063>
5. Moiseev E.I., Muromskij A.A., Tuchkova N.P. Internet i matematicheskie znaniya: predstavlenie uravnenij matematicheskoy fiziki v informacionno-poiskovoj srede. M.: MAKS Press. — 2008. — 80 s.
6. Triкоми F.D., *Lekcii po uravneniyam v chastnyh proizvodnyh, per. s ital., M.Izd-vo inostranoj literatury*. — 1957. — 446 s.
7. Gellerstedt S. Sur un problème aux limites pour une équation linéaire aux dérivées partielles du second ordre de type mixte, VII+92p., Uppsala, Almqvist och Wiksells (Thèse Uppsala 1935).
8. Frankl F. On Cauchy's problem for partial differential equations of mixed elliptico-hyperbolic type with initial data on the parabolic line (Russian, English summary) *Bull. Acad. Sc. URSS, [Izvestia Akad. Nauk SSSR] Sér. Math.* — 1944. — V. 8. P. 195-224.
9. Vekua I.N. *Novye metody resheniya ehllipticheskikh uravnenij* M: OGIZ Gostekhizdat. — 1948. — 296 s.
10. Lavrent'ev M.A., Bicadze A. V. K probleme uravnenij smeshannogo tipa // *DAN*, 70. — 1950. — №3-4. — С.373-376.
11. Bicadze A.V. O nekotoryh zadachah smeshannogo tipa // *DAN SSSR*, 70, 1950. — №4. — С.561-565.

12. Babenko K.I. K teorii uravnenij smeshannogo tipa. Dokt. diss. Bib. Matem. In-ta AN SSSR. — 1952.
13. Germain P. An expression for Green's function for a particular Tricomi problem, *Quart. appl. Math.* — 1956. — V. 14. — n 2. — P.113-124.
14. Germain P., Bader R. Problèmes elliptiques et hyperboliques singuliers pour une équation du type mixte, *Publ. O.N.E.R.A., Chatillon-sous-Bagneux.* — 1952. — n 60.
15. Knut D. *The TeXbook.* Reading Massachusetts: Addison-Wesley. — 1984. — 483 p.
16. Tuchkova N.P., Muromskij A.A., Moiseev E.I. Utochnenie poiskovogo zaprosa s pomoshch'yu simvol'noj informacii. // *Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XIX Vserossijskoj nauchnoj konferencii (18-23 sentyabrya 2017 g., g. Novorossijsk).* M.: IPM im. M.V.Keldysha. — 2017. — C.356-362.
17. Kohlhase M., Sucan I. A. A search engine for mathematical formulae // in *Proc. of Artificial Intelligence and Symbolic Computation, n° 4120 in LNAI.* Springer. — 2006. — P. 241-253.
18. Graf P. *Term Indexing, ser. Number 1053 in LNCS.* Springer Verlag. — 1996.
19. Serebryakov V.A., Ataeva O.M. Informacionnaya model' otkrytoj personal'noj semanticheskoy 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.
20. Mooers C. Information retrieval viewed as temporal signaling // *Proceedings of the International Congress of Mathematicians.* — 1950. — V.1. — P. 572–573.
21. Repin O.A., Frolov A.A. Ob odnoj kraevoj zadache dlya uravneniya smeshannogo tipa s chastnoj drobnoj proizvodnoj Rimana–Liuvillya // *Differencial'nye uravneniya.* — 2016. — V.52. — № 10. — C.1436–1440.
22. Moiseev E.I., Moiseev T.E., Holomeeva A.A. O needinstvennosti resheniya vnutrennej zadachi Nejmana–Gellerstedta dlya uravneniya Lavrent'eva–Bicadze // *Sib. zhurn. chist. i prikl. matem.* — 2017. — T.17. — №:3. — C.52–57.
23. Moiseev E.I., Moiseev T.E., Holomeeva A.A. Bazisnost' sistemy sobstvennyh funkcij zadachi Gellerstedta v ehllipticheskoy chasti oblasti // *Differencial'nye uravneniya.* — 2018. — T.54. — № 4. — S.419-422.
24. *Intelligent Computer Mathematics 10th International Conference, CICM 2017, Edinburgh, UK, July 17-21, 2017 // Proceedings.* Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). *Lecture Notes in Artificial Intelligence, XVIII,* Springer. — 2017. — 375p.