

Ермаков Иван Денисович

*студент магистратуры, образовательная программа
«Прикладная математика и информатика»,
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь
E-mail: john.ermakov27@gmail.com*

Лядова Людмила Николаевна

*доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем,
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь
E-mail: LNLyadova@gmail.com*

ЯЗЫКОВО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ: АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ DSL

Ermakov Ivan Denisovich

*Student of the master educational program “Applied Mathematics and Informatics”
Perm State University, Perm City
E-mail: john.ermakov27@gmail.com*

Lyadova Lyudmila Nickolaevna

*Associate Professor of the Department of Computer Systems Software
Perm State University, Perm City
E-mail: LNLyadova@gmail.com*

A LANGUAGE-ORIENTED APPROACH TO DEVELOPING DATA VISUALIZATION TOOLS: DSL DEVELOPMENT AUTOMATION

Аннотация: Цель проекта – апробация подхода к разработке средств автоматизации создания предметно-ориентированных языков (DSL) для создания средств визуализации данных, настраиваемых на потребности пользователей. Основная идея языково-ориентированного подхода в том, что для описания новых моделей визуализации должны быть разработаны визуальные предметно-ориентированные языки, использование которых должно обеспечить снижение требований к квалификации пользователей в области программирования при решении задач визуализации данных. Основа решения – многоаспектная онтология, описывающая языки и модели предметных областей, задачи, решаемые пользователями, а также правила генерации новых DSL. Приведены примеры, демонстрирующие возможности представленного подхода для разработки новых моделей визуализации.

Abstract: The purpose of the project is approbation of approach to the developing automation tools for designing domain-specific languages (DSL) to create data visualization tools customized to user needs. The main idea of the language-oriented approach is that visual domain-specific languages should be developed to describe new visualization models, the use of which should ensure a reduction in the requirements for user skills in the field of programming when solving data visualization problems. The basis of the solution is a multifaceted ontology that describes the languages and models of the domains, the tasks solved by users, as well as the rules for generating new DSLs. Examples are given demonstrating the possibilities of the presented approach for the development of new visualization models.

Ключевые слова: предметно-ориентированное моделирование, предметно-ориентированные языки, языковой инструментарий, многоаспектная онтология, метамоделирование, генерация метамоделей, визуализация данных.

Keywords: domain specific modeling, domain specific language, language toolkits, multifaceted ontology, metamodeling, metamodels generation, data visualization.

Введение

Инструменты визуализации широко используются в различных сферах деятельности (картография, энергетика, медицина, образование, финансы, социология и др.). Визуализация данных служит методом анализа данных, помогая пользователям в интерпретации данных и результатов их анализа, позволяя представить их в наглядной форме. Эффективность работы экспертов, аналитиков во многом определяется качеством визуализации данных.

Вопросам качества визуализации данных посвящены многочисленные исследования, в которых подчёркивается важность разработки и использования эффективных методов визуализации [26, 9], предлагаются критерии оценивания используемых методов [21, 22], описываются подходы к пониманию идеи когнитивной ясности графовых, визуальных моделей [4].

Пользователям требуется создание визуализаций, адаптированных к специфике решаемых ими задач и предметных областей. Таким образом, существует необходимость внедрения пользовательских спецификаций визуализации в используемые средства. Эти спецификации определяют, как пользователи могут указывать свои требования для создания визуализаций [25]. Статическая визуализация может оказаться неэффективной для решения задач анализа больших наборов данных, поэтому существует потребность в быстром и простом создании интерактивных визуализаций [23]. Эти методы должны быть способны работать с различными типами и источниками данных [25].

Исследователи [24, 10] отмечают ограниченную степень гибкости в манипулировании элементами диаграмм и отсутствие ориентированности на реальные потребности пользователя в существующих инструментах визуализации

данных. Часто такая настройка требует использования языка программирования [23]. Отсутствие глубоких знаний программирования у пользователей приводит к необходимости создания no-code или low-code платформ.

В статье [27] рассматриваются различные техники и инструменты визуализации данных, приводится их классификация, формулируются проблемы, с которыми сталкиваются пользователи, и новые возможности, которые должны быть обеспечены перспективными средствами визуализации. В частности отмечается, что одной из ключевых задач является разработка методов автоматизации визуализации данных, обеспечения эффективной и интерактивной визуализации независимо от размера и сложности данных. Реализация этих методов облегчает исследования в областях с интенсивным использованием данных [34], позволяет непрерывно отслеживать и анализировать эти данные, визуализировать результаты анализа.

Однако универсальные языки (UML, например) не отражают потребности пользователей – специалистов в конкретных предметных областях, что затрудняет разработку моделей, провоцирует ошибки, которые являются следствием *семантического разрыва* [28], возникающего в этом случае. Привлечение различных категорий специалистов к решению задач анализа и проектирования с самых ранних этапов возможно только при наличии средств, использование которых сокращает семантический разрыв.

Существуют различные подходы к устранению семантического разрыва [1, 19]. Одним из традиционных решений является подход, основанный на *предметно-ориентированном моделировании* (*Domain Specific Modelling, DSM*), создании и использовании *предметно-ориентированных языков* (*Domain Specific Language, DSL*) – языков программирования или моделирования, специально созданных для решения определённых задач в конкретной предметной области. Такой подход называют языково-ориентированным – решение задач анализа процессов и систем или проектирования, разработки систем начинается с создания соответствующих языков. Трудоёмкость разработки смещается на создание специализированных систем программирования (или моделирования) – на разработку новых языков и инструментальных средств (редакторов, препроцессоров, компиляторов или интерпретаторов для этих языков). Частично эти проблемы снимаются при использовании специального класса программного обеспечения – *DSM-платформ*, или *языковых инструментариев* [31].

Основной проблемой становится недоступность этих средств для конечных пользователей, специалистов в предметных областях: разработка языков требует знаний в области формальных языков и грамматик, навыков их использования.

Анализ требований и основные принципы создания DSM-платформы, основанной на знаниях и мета-моделировании, описаны в [6, 15, 20]. Подход к автоматизации разработки DSL предложен в [2, 3].

Цель исследования, результаты которого представлены в докладе, – апробация подхода к автоматизации создания DSL, предназначенных для разработки новых моделей визуализации данных, основанного на многоаспектной онтологии, представляющей как знания о предметной области, так и о языках, используемых для решения задач пользователей.

Автоматизация визуального анализа: задачи и решения

Автоматический визуальный анализ предполагает решение задач поиска, очистки, интеграции и визуализации данных. Для решения этих задач широко используются онтологии. В работах [34, 35] было предложено использовать онтологии как часть архитектуры, как ядро аналитической платформы, управляемой знаниями.

Использование языков программирования общего назначения (например, библиотек Python для визуализации данных: Matplotlib, Seaborn, Plotly и др.) способствует созданию выразительных визуализаций для решения конкретных задач, но требует глубоких знаний программирования от разработчиков диаграмм. Также созданное решение нельзя повторно использовать для других визуализаций, и оно представляет собой «черный ящик» [23].

Судя по обзору DSL для визуализации данных, большинство языков фокусируются на небольшом наборе стандартных диаграмм (круговых диаграмм, гистограмм и т. д.) или визуализации конкретных типов данных (например, геопространственных и т. п.). Они различаются уровнями абстракции, контекстами использования и возможностями реализации.

В статье [29] описан процесс разработки DSL для построения и преобразования методов визуализации данных. Этот DSL встроен в язык программирования Haskell. Выделено несколько уровней абстракции: на самом низком уровне пользователь может создать элемент, состоящий из определенной примитивной формы и набора визуальных параметров. Основные конструкции языка ограничены гистограммой и круговой диаграммой. Однако допускается менять положение элементов для создания более сложных визуализаций.

В статье [28] представлена вариационная модель визуализации, реализованная с помощью DSL, встроенного в язык программирования PureScript. Реализована возможность создания вариационных визуализаций и их комбинаций, например наложение альтернативных гистограмм. В статье также обсуждаются методы представления вариаций и добавления вариаций к визуализациям через DSL. Разработанные средства обеспечивают создание, управление, навигацию и рендеринг различных визуализаций.

Исследователи в статье [17] представляют DSL, ориентированный на геовизуализацию данных. Они используют компилятор для облегчения автоматического создания визуализаций и предварительной обработки данных. Их система использует возможности многоядерного параллелизма для ускорения предварительной обработки данных.

В статье [16] предлагается подход, который помогает пользователю создавать визуализации моделей для конкретной предметной области с использованием CSP (Communicating Sequential Processes) – формального языка, который в основном используется для описания параллельных и распределенных систем. Авторами успешно созданы различные визуализации моделей CSP, демонстрирующие возможности предлагаемого подхода, но рассматриваемые средства не являются универсальными, что ограничивает использование языка.

Создание новых вариантов визуализаций на основе рассматриваемого языково-ориентированного подхода разбивается на три этапа:

1. Разработка предметно-ориентированного языка (DSL), отражающего потребности пользователей.

2. Разработка предметно-ориентированных моделей визуализации с использованием созданного языка.

3. Генерация кода для реализации созданных моделей визуализации или их интерпретация.

Для решения поставленных задач предложен подход на основе использования многоаспектной онтологии [20, 15, 18] для создания средств эффективной визуализации данных с учётом рекомендаций, предложенных в [21, 22], обеспечивающих возможность создания пользовательских типов диаграмм для конкретных задач и предметных областей, а также возможность создания интерактивных визуализаций [23].

Сравнение и оценки средств создания DSL в различных DSM-платформах приведены в [13, 30]. Однако ни одна из существующих промышленных DSM-платформ не имеет средств автоматизации разработки языков (DSL), не требующих глубоких знаний в области формальных языков и грамматик.

Многочисленные исследовательские проекты посвящены решению проблемы трудоёмкости разработки языков. В большинстве работ предлагаются различные подходы к использованию ранее созданных языков и программных средств, интеграции и комбинированию существующих метамodelей [5, 16, 12]. Одно из перспективных направлений – создание языковых инструментариев, основанных на знаниях, на использовании онтологий [2, 32, 33].

В рамках представленного подхода подсистема *создания языков* позволяет пользователям *разрабатывать языки, описывая их метамodelи*, или же *определяя правила автоматической генерации метамodelей DSL* – правила отображения моделей предметных областей на существующие базовые языки (созданные языки настраиваются на специфику предметной области) [2, 5].

Автоматизация разработки языков для создания пользовательских моделей визуализации данных

Разнообразие способов визуализации достаточно велико и продолжает расширяться, что подтверждается постоянным появлением новых специализированных типов диаграмм (древовидных, хордовых, сетевых и т. д.).

Выбор наиболее подходящего типа визуализации в первую очередь определяется тем, какую задачу решает пользователь, какую идею он должен передать с помощью диаграммы [36, 14]. Чтобы определить, какие именно методы визуализации достаточны для реализации большинства идей визуализации, необходимо остановиться на определенной таксономии – выполнить классификацию методов визуализации данных. Было решено сосредоточиться на пятикатегорийной структуре, предложенной Энди Кирком [14]. В результате была разработана классификация, включающая шестнадцать методов визуализации, выделенных в зависимости от цели создания [11]. Эта

классификация является основой для разработки онтологии языков визуализации данных, создания метамodelей этих языков, описанной в этой статье.

Для каждого типа диаграмм разрабатывается свой базовый язык. Адаптация базового языка к потребностям пользователей выполняется сопоставлением элементов диаграмм, представленных в метамодели базового языка, с элементами в описании онтологии соответствующей предметной области. На рис. 1 показана метамодель языка (DSL), который настроен на визуализацию рейтингов, разработанного на основе метамодели базового языка гистограмм.

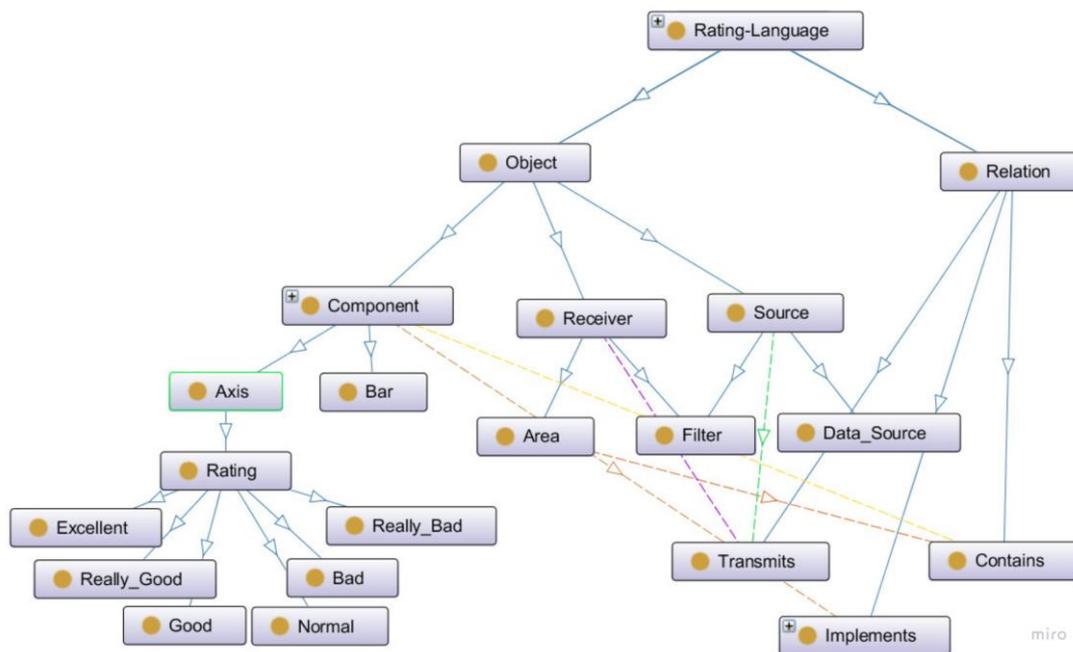


Рис. 1. Представление метамодели DSL «Rating-Language» в онтологии визуальных языков

В разработанной метамодели DSL представлены базовые компоненты разработанной графической нотации гистограмм, такие как «Axis» (оси), «Bar» (столбец), а также «Area» (область). У каждого из компонентов есть свойства (атрибуты), описание которых опущено, чтобы не загромождать иллюстрацию. С классом оси связан класс «Rating», используемый для отображения области значения допустимых рейтингов, в данном случае «Excellent», «Really_Good», «Good», «Normal», «Bad» и «Really_Bad». Такие классы как «Source» и «Receiver» используются для представления источника и приёмника данных соответственно. Можно заметить, что оба класса связаны с другим классом «Filter», позволяющим фильтровать данные. На рис. 2 показана диаграмма, разработанная с использованием описанного DSL.

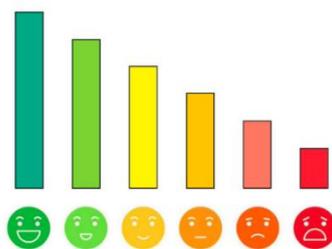


Рис. 2. Диаграмма, построенная с использованием DSL визуализации рейтингов

Рассмотрим еще один пример разработки DSL для визуализации данных. Исследователям (зоологам) необходимо визуализировать данные о распространении видов пчел по территории Европы. Для этого они могут воспользоваться предлагаемым подходом. Пользователи могут снова взять созданную базовую метамодель (в данном случае – метамодель круговой диаграммы), применить алгоритм генерации DSL путём отображения модели предметной области в многоаспектной онтологии на метамодель базового языка и получить новый язык, метамодель которого показана на рис. 3. Он будет отличаться от описанного выше языка тем, что в нем не будет компонента «Ось», а понятие «Фигура» переопределяется понятием «Круговая диаграмма». Таким образом, они смогут построить диаграмму, показанную на рисунке 4.

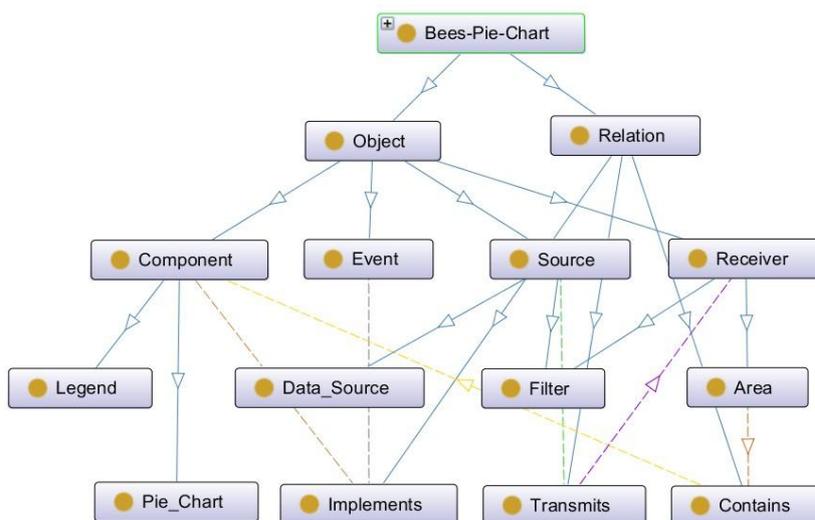


Рис. 3. Метамодель DSL для создания визуализации на основе круговой диаграммы

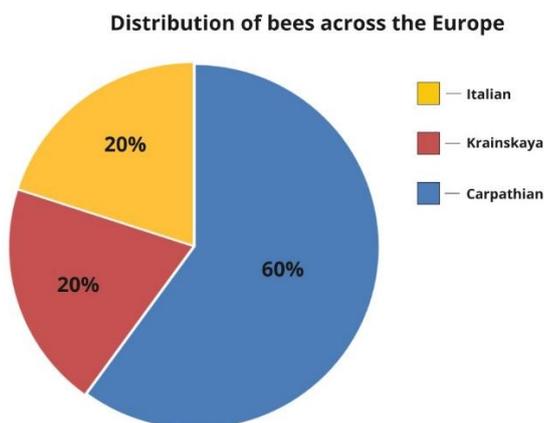


Рис. 4. Круговая диаграмма, показывающая распределение видов пчел по Европе

Чтобы создать визуализации по моделям, построенным пользователями с помощью DSL, настроенному на предметную область, необходимо обеспечить генерацию кода или интерпретацию этих моделей [8]. При этом возможности визуализации могут быть расширены, например, для разработки интерактивных визуализаций.

Заключение

Разработанный прототип средств автоматизации создания DSL в DSM-платформе на основе метамodelей базовых языков и моделей предметных областей, описанных в онтологии, показал практическую значимость описанного подхода при создании диаграмм различных типов, в частности, для разработки новых моделей визуализации. В [7, 19] было показано, как разработанные средства могут быть интегрированы в аналитические платформы для настройки на решение исследовательских задач в различных предметных областях.

Реализованные алгоритмы генерации DSL могут быть усовершенствованы, чтобы снять ограничения на вид правил отображения, на возможность комбинирования нескольких языков (метамodelей) и т. п. Кроме того, предполагается реализовать средства доопределения правил на основе знаний, представленных в онтологии.

Список литературы

1. Дегтярев А. А. Анализ способов сокращения семантического разрыва при разработке программного обеспечения / А. А. Дегтярев // Технологии разработки информационных систем: материалы конференции ТРИС-2012. Т. 1. – Таганрог: Изд во ТТИ ЮФУ, 2012. – С. 146–150.
2. Ермаков И. Д. Автоматизация разработки предметно-ориентированных языков на основе онтологии / И. Д. Ермаков // Технологии разработки информационных систем: сб. матер. XII Международной научно-технической конференции ТРИС-2022. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2022. С. 63–71.
3. Ермаков И. Д. Разработка DSM-платформы: средства автоматизации создания предметно-ориентированных языков / И. Д. Ермаков, Л. Н. Лядова // Технологии разработки информационных систем: сб. матер. XIII Международной научно-технической конференции ТРИС-2023. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2023. С. 96–105.
4. Исаев Р. А. Когнитивная ясность графовых моделей: подход к пониманию идеи и способ выявления влияющих факторов с использованием визуального анализа / Р. А. Исаев, А. Г. Подвесовский // Научная визуализация. 2022. Т. 14. № 4. Р. 38–51. DOI: 10.26583/sv.14.4.04.
5. Кулагин Г. А. Разработка иерархии предметно-ориентированных языков описания алгоритмов для устройств компании GalileoSky / Г. А. Кулагин // Технологии разработки информационных систем: сб. матер. XII Международной научно-технической конференции ТРИС-2022. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2022. С. 80–88.
6. Лядова Л. Н. Автоматизация разработки предметно-ориентированных языков на основе многоаспектных онтологий / Л. Н. Лядова // Информатизация и связь. 2021. № 8. С. 48–52.
7. Лядова Л. Н. О подходе к разработке аналитической платформы, основанной на знаниях и метамodelировании / Л. Н. Лядова, В. С. Заякин, Н. М. Суворов // Информатизация и связь. 2022. № 5. С. 85–90.

8. Проскуряков К. А. Разработка DSM-платформы: средства трансформации моделей вида «модель-текст» / К. А. Проскуряков, Л. Н. Лядова // Технологии разработки информационных систем: сб. матер. XIII Международной научно-технической конференции ТРИС-2023. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2023. С. 124–134.
9. Alyahya S. M. Evaluating Computer Interactions and Infographics Usability: Analyzing Individual’s Performance through Viewing Patterns / S. M. Alyahya // Scientific Visualization. 2023. Vol. 15. Number 5. P. 111–135. DOI: 10.26583/sv.15.5.10.
10. Cepero García M. T. Visualization to Support Decision-Making in Cities: Advances, Technology, Challenges, and Opportunities / M. T. Cepero García, L. G. Montané-Jiménez // Proc of the 8th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT). 2020. P. 198–207. DOI: 10.1109/CONISOFT50191.2020.00037.
11. Dzheiranian A. D. Designing Data Visualization System Based on Language-Oriented Approach / A. D. Dzheiranian, I. D. Ermakov, K. A. Proskuryakov, L. N. Lyadova // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2024. № 36(2). P. 127–140. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2024-36\(2\)-10](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2024-36(2)-10)
12. Jácome S. Controlling Meta-Model Extensibility in Model-Driven Engineering / S. Jácome, J. De Lara // IEEE Access. – 2018. – V. 6. – P. 19923–19939. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2821111.
13. Kelly S. Empirical Comparison of Language Workbenches / S. Kelly // DSM’13: Proceedings of the 2013 ACM workshop on Domain-specific modeling. Indianapolis. – 2013. – P. 33–38. DOI: 10.1145/2541928.2541935.
14. Kirk A. Data Visualization: A Successful Design Process / A. Kirk. – Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2012. 189 p.
15. Kulagin G. Ontology-Based Development of Domain-Specific Languages via Customizing Base Language / G. Kulagin, I. Ermakov, L. Lyadova // Proc. IEEE 16th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – Washington : IEEE. – 2022. – P. 1–6. DOI: 10.1109/AICT55583.2022.10013619.
16. Ladenberger L. An Approach for Creating Domain Specific Visualisations of CSP Models / L. Ladenberger, I. Dobrikov, M. Leuschel // Software Engineering and Formal Methods. SEFM 2014. Lecture Notes in Computer Science(). Vol. 8938. Springer, Cham. P. 20–35. DOI: 10.1007/978-3-319-15201-1_2.
17. Ledur C. A High-Level DSL for Geospatial Visualizations with Multi-core Parallelism Support / C. Ledur, D. Griebler, I. Manssour, L. G. Fernandes // Proc. of the IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). 2017, P. 298–304. DOI: 10.1109/COMPSAC.2017.18.
18. Lyadova L. Approach to the Development of Ontology-Driven Language Toolkits Based on Metamodeling / L. Lyadova, I. Ermakov, V. Lanin, K. Proskuryakov // Proc. of the IEEE 17th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2023). 2023. 6 p. DOI: 10.1109/AICT59525.2023.10313152.

19. Lyadova L. An Ontological Approach to the Development of Analytical Platform Language Toolkits / L. Lyadova, N. Suvorov, V. Zayakin, E. Zamyatina // Proc. IEEE 16th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – Washington : IEEE. – 2022. – P. 1–6. DOI: 10.1109/AICT55583.2022.10013576.
20. Lyadova L. An Ontology-Based Approach to the Domain Specific Languages Design / L. Lyadova, A. Sukhov, M. Nureev // Proceedings of the 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2021). Baku, Azerbaijan: IEEE. – 2021. – P. 1–6. DOI: 10.1109/AICT52784.2021.9620493.
21. Midway S. R. Principles of Effective Data Visualization / S. R. Midway // Patterns, 2020., Vol. 1. Issue 9. Article 100141. DOI: 10.1016/j.patter.2020.100141.
22. Midway S. R. Show and tell: approaches for effective figures / S. R. Midway, J. R. Brum, M. Robertson // Limnology and Oceanography Letters (L&O Letters). 2023. Vol. 8. Issue 2. P. 213–219. DOI: 10.1002/lol2.10288.
23. Morgan R. VizDSL: A Visual DSL for Interactive Information Visualization / R. Morgan, G. Grossmann, M. Schrefl, M. Stumptner, T. Payne // Proc. of the 30th International Conference “Advanced Information Systems Engineering” (CAiSE 2018). 2018. P. 440–455. DOI: 10.1007/978-3-319-91563-0_27.
24. Oral E. From Information to Choice: A Critical Inquiry Into Visualization Tools for Decision Making / E. Oral, R. Chawla, M. Wijkstra, N. Mahyar, E. Dimara // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2024. Vol. 30. No. 1. P. 359–369. DOI: 10.1109/TVCG.2023.3326593.
25. Qin X. Making Data Visualization More Efficient and Effective: a Survey / X. Qin, Y. Luo, N. Tang, G. Li // The VLDB Journal. 2019. Vol. 29. No. 1. P. 93–117. DOI: 10.1007/s00778-019-00588-3.
26. Sawicki J. VisQualdex: a Comprehensive Guide to Good Data Visualization / J. Sawicki, M. Burdukiewicz // Scientific Visualization. 2023. Vol. 15. Number 1. P. 127–149. DOI: 10.26583/sv.15.1.11.
27. Shakeel H. M. A Comprehensive State-of-the-Art Survey on Data Visualization Tools: Research Developments, Challenges and Future Domain Specific Visualization Framework / H. M. Shakeel, S. Iram, H. Al-Aqrabi, T. Alsboui, R. Hill // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 96581–96601. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3205115.
28. Smeltzer K. A Domain-Specific Language for Exploratory Data Visualization / K. Smeltzer, M. Erwig // Proc. of the 17th ACM SIGPLAN International Conference on Generative Programming: Concepts and Experiences (GPCE 2018). 2018. P. 1–13. DOI: 10.1145/3278122.3278138.
29. Smeltzer K. A transformational Approach to Data Visualization / K. Smeltzer, M. Erwig, R. Metoyer // Proc. of the International Conference on Generative Programming: Concepts and Experiences (GPCE 2014). 2014. P. 53–62. DOI: 10.1145/2658761.2658769.

30. Tolvanen J.-P. Effort used to create domain-specific modeling languages / J. P. Tolvanen, S. Kelly // MODELS' 18: ACM/IEEE 21th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems. – 2018. – P. 235–244.
31. Tolvanen J.-P. Model-driven development challenges and solutions – experiences with domain-specific modeling in industry / J.-P. Tolvanen, S. Kelly // Proceedings of the 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, Rome, Italy. – 2016. – P. 711–719.
32. Wang H. Ontology Supporting Model-Based Systems Engineering Based on a GOPRR Approach / H. Wang // WorldCIST'19 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – V. 930. – P. 426–436. DOI: 10.1007/978-3-030-16181-1_40.
33. Yang P. A Knowledge Management Approach Supporting Model-Based Systems Engineering / P. Yang, J. Lu, L. Feng, S. Wu, G. Wang, D. Kiritsis // Trends and Applications in Information Systems and Technologies. WorldCIST 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – V. 1366. – P. 581–590. DOI: 10.1007/978-3-030-72651-5_55.
34. Zayakin V. S. An Ontology-Driven Approach to the Analytical Platform Development for Data-Intensive Domains / V. S. Zayakin, L. N. Lyadova, V. V. Lanin, E. B. Zamyatina, E. A. Rabchevskiy // Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. IC3K 2021. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2023. Vol. 1718. P. 129–149. DOI: 10.1007/978-3-031-35924-8_8.
35. Zayakin V. Design Patterns for a Knowledge-Driven Analytical Platform / V. Zayakin, L. Lyadova, E. Rabchevskiy // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS). 2022. Vol. 34. No. 2. P. 43–56. DOI: 10.15514/ISPRAS-2022-34(2)-4.
36. Zelazny G. The Say It with Charts Complete Toolkit / G. Zelazny. – New York: McGraw-Hill Professional, 2006. 312 p.