

Ермаков Иван Денисович

*студент бакалавриата, 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*

РАЗРАБОТКА DSM-ПЛАТФОРМЫ: СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ

Ermakov Ivan Denisovich

*Student of the bachelor 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*

DEVELOPMENT OF THE DSM PLATFORM: TOOLS FOR AUTOMATING THE DOMAIN SPECIFIC LANGUAGES CREATION

Аннотация: Цель проекта – апробация подхода к разработке средств автоматизации создания предметно-ориентированных языков (DSL) для DSM-платформы, основанной на знаниях и метамоделировании. Основа решения – многоаспектная онтология, описывающая языки, предназначенные для решения различных задач проектирования и анализа систем, и предметные области, в которых пользователи решают эти задачи. Генерация метамodelей DSL реализуется через отображение моделей предметных областей на метамodelи базовых языков, описанные в онтологии. Описаны структура онтологии и подсистемы генерации метамodelей, пользовательский интерфейс приложения.

Abstract: The goal of the project is to approval the approach to the developing automation tools for the creation of domain specific languages (DSL) for a DSM

platform based on knowledge and metamodeling. The basis of the approach is a multifaceted ontology, describing languages designed to solve various tasks of system design and analysis, and the domains in which users solve these tasks. Generation of DSL metamodels is realized through mapping of domain models to base language metamodels described in the ontology. The ontology and the metamodel generation subsystem structures and the application user interface are described.

Ключевые слова: предметно-ориентированное моделирование, предметно-ориентированные языки, DSL, языковой инструментарий, DSM-платформа, многоаспектная онтология, метамоделирование, генерация метамodelей.

Keywords: domain specific modeling, domain specific language, DSL, language toolkits, DSM platform, multifaceted ontology, metamodeling, metamodel generation.

Введение

Моделирование – метод, который применяется в различных областях деятельности для решения сложных задач анализа, проектирования. При исследовании или проектировании сложных систем строится *иерархия взаимосвязанных моделей*, отражающих различные стороны моделируемых систем и процессов с различной степенью детализации. Эти модели строятся специалистами различных категорий, работающими в разных предметных областях. Каждый специалист привык работать в терминах, соответствующих его сфере деятельности, строить определенные типы моделей, используя привычные инструменты. При этом есть опасность, что построенные модели окажутся несогласованными, будут получены противоречивые результаты.

Для решения взаимосвязанных задач проектирования и анализа сложных процессов и систем разрабатываются формальные языки, включающие средства для решения всех задач, а инструментальные средства, основанные на использовании этих языков, позволяют поддерживать согласованность моделей. 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* [13], 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, 10]. 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* [15].

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.

Цель исследования, результаты которого представлены в докладе, – апробация подхода к созданию DSM-платформы (языкового инструментария), основанной на знаниях, который позволяет снизить трудоёмкость создания новых предметно-ориентированных языков. Основа решения – *многоаспектная онтология*, описывающая языки, предназначенные для решения различных задач проектирования и анализа систем, и *предметные области*, в которых пользователи решают эти задачи.

Анализ требований и основные принципы создания DSM-платформы, основанной на знаниях и мета-моделировании, описаны в [5, 9, 12].

Организация системы моделирования с инструментами DSM, основанной на многоаспектной онтологии

Сравнение и оценки средств создания DSL в различных DSM-платформах приведены в [8, 14]. 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 [3, 6, 7]. Одно из перспективных направлений – создание языковых инструментариев, основанных на знаниях, на использовании онтологий [2, 16, 17].

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, 3].

Подсистема *работы с визуальными моделями* включает *редактор визуальных моделей*, *средства трансформации моделей* и генерации текстовых артефактов (средства трансформации «Модель-Текст») на основе правил, определяемых пользователями. *Модуль импорта и экспорта* моделей позволяет сохранять и загружать модели в заданных форматах. Управление моделями осуществляется через *браузер моделей*. Один и тот же *редактор* используется как для создания метамodelей языков, так и для разработки моделей. Редактор настраивается на использование нового языка по его описанию в онтологии.

Ядром системы является *многоаспектная онтология*, которая хранит в себе все необходимые для функционирования системы знания. Для работы с онтологией используется *браузер онтологий*. В систему могут быть загружены онтологии, созданные с помощью сторонних редакторов. Разработанные в системе онтологии могут быть выгружены для использования в других приложениях.

Онтология языков содержит описания метамodelей визуальных языков и грамматик текстовых языков. Языки классифицируются по их назначению (по решаемым с их помощью задачам). *Онтология предметных областей* включает описания предметных областей, для которых разрабатываются языки и модели для решения задач пользователей. *Онтология правил проецирования* содержит правила для генерации новых DSL, основанные на сопоставлении элементов метамodelей языков с понятиями онтологий предметных областей и связей между ними. Правила отображения задают семантику элементов языка для конкретной предметной области. *Онтология моделей* обеспечивает хранение и поиск визуальных моделей, разработанных с использованием созданных языков, метамodelи которых представлены в онтологии языков. Связь моделей с языками, использованными для их создания, позволяет контролировать выполнение операций над моделями, их соответствие заданным в метамodelях ограничениям, а также выполнять трансформации моделей по правилам, определённым для соответствующих языков. *Онтология правил трансформации* используется для генерации кода на основе визуальных моделей.

Для описания онтологии используется язык OWL, для последующих запросов к ней при генерации языков и выполнении трансформаций – язык SPARQL.

Метамodelи визуальных языков создаются с использованием метаязыка HPGPR (рис. 1), основанного на *HP-графах (гиперграфах с полюсами)* [11], обладающих максимальными выразительными возможностями для разработки графовых моделей, дающих возможность оптимизации алгоритмов (в частности, алгоритмов поиска подграфов, которые реализуются в ходе трансформации моделей). Язык является расширением языка GOPRR [16].

Метаязык HPGPR включает множество *понятий*, связанных друг с другом. Например, каждая вершина обладает портами (через порты устанавливаются связи между вершинами в модели), а порты имеют набор ролей, в которых они участвуют в связях. Всего используется семь *видов связей*:

1. Связи между графом (моделью) и элементами, которые в него входят.
2. Связи между вершинами и их портами.
3. Связи между рёбрами и портами, через которые вершины связываются этими рёбрами.
4. Связи между портами и их ролями.
5. Связи между гиперрёбрами и обычными ребрами, входящими в них.
6. Связи между элементами языка и их свойствами.
7. Связи между свойствами (атрибутами) и соответствующими типами данных.

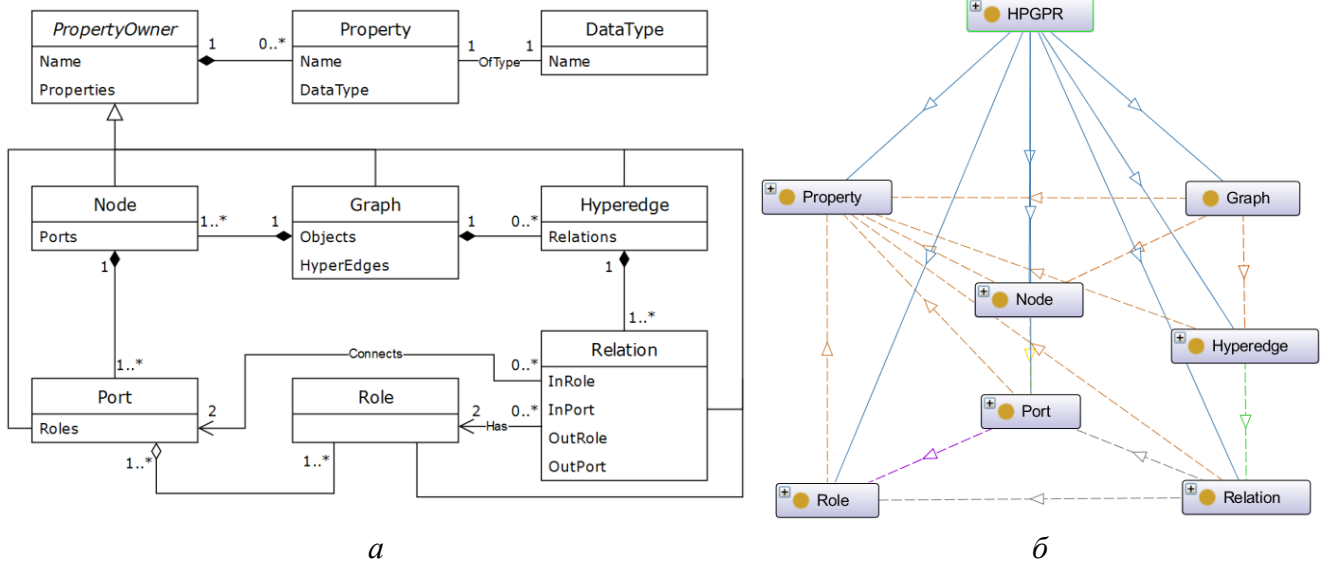


Рис. 1. Диаграмма понятий метаязыка HPGPR (а) и представление метаязыка в онтологии (б)

В качестве примера рассмотрим описание метамодели нотации типа «Сущность-Связь» (ERD) на метаязыке HPGPR (рис. 2, а) и представление метамодели ERD в онтологии языков (рис. 2, б).

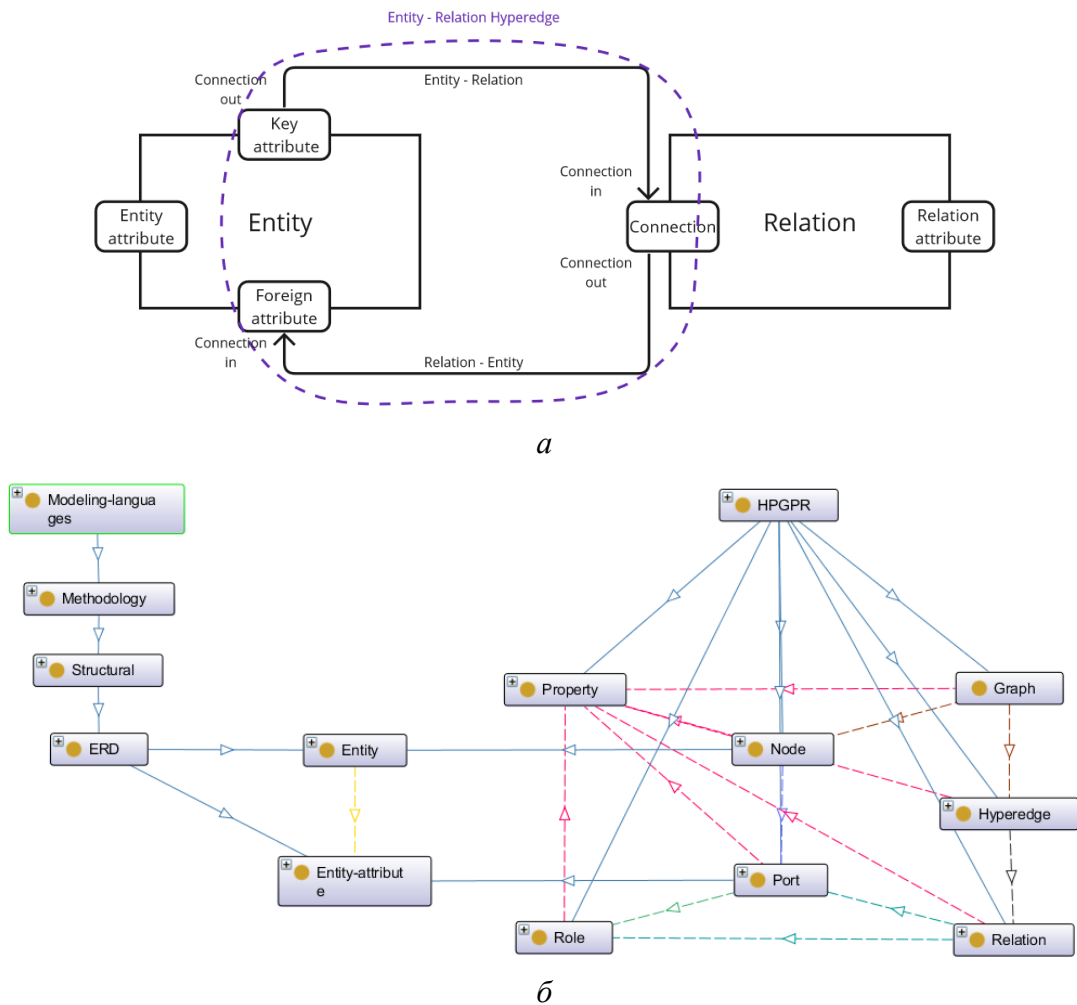


Рис. 2. Метамодель диаграммы «Сущность-Связь» (ERD) на языке HPGPR (а) и фрагмент представления метамодели в онтологии (б)

Представление метамodelей в онтологии – основа для реализации средств автоматизации создания визуальных языков и средств трансформации моделей.

Автоматизация создания визуальных языков

Для реализации подсистемы создания языков (модуля создания правил проецирования и генерации по заданным правилам предметно ориентированных языков) разработаны классы «*ProjectionRulesBuilder*» и «*DSLGeneration*». Для работы с онтологиями создан класс «*OntologyManager*», который позволяет загружать и сохранять онтологии, а также выполнять SPARQL-запросы при исполнении алгоритмов генерации метамodelей DSL. Для выполнения запросов созданы два класса: «*SparqlCreateLanguageQueries*», который включает методы, «собирающие» запрос, и «*SparqlQueryExecutor*», который выполняет сформированный запрос. Диаграмма классов показана на рис. 3.

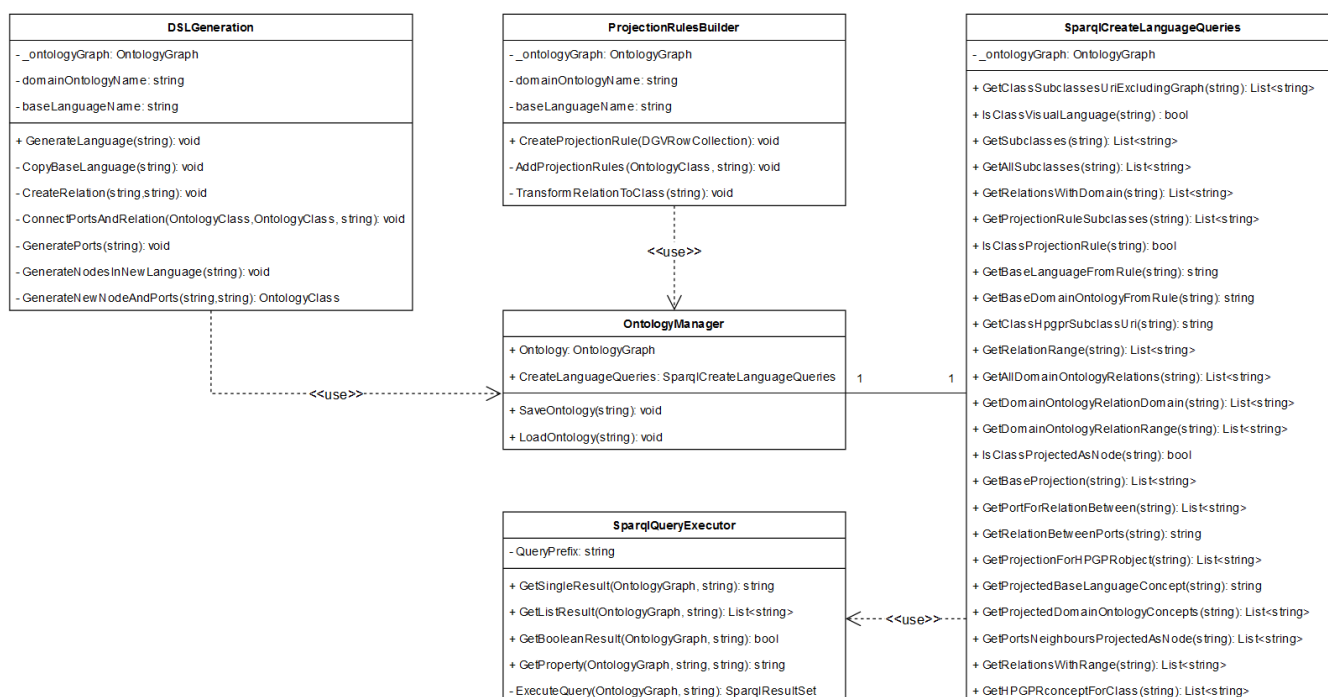
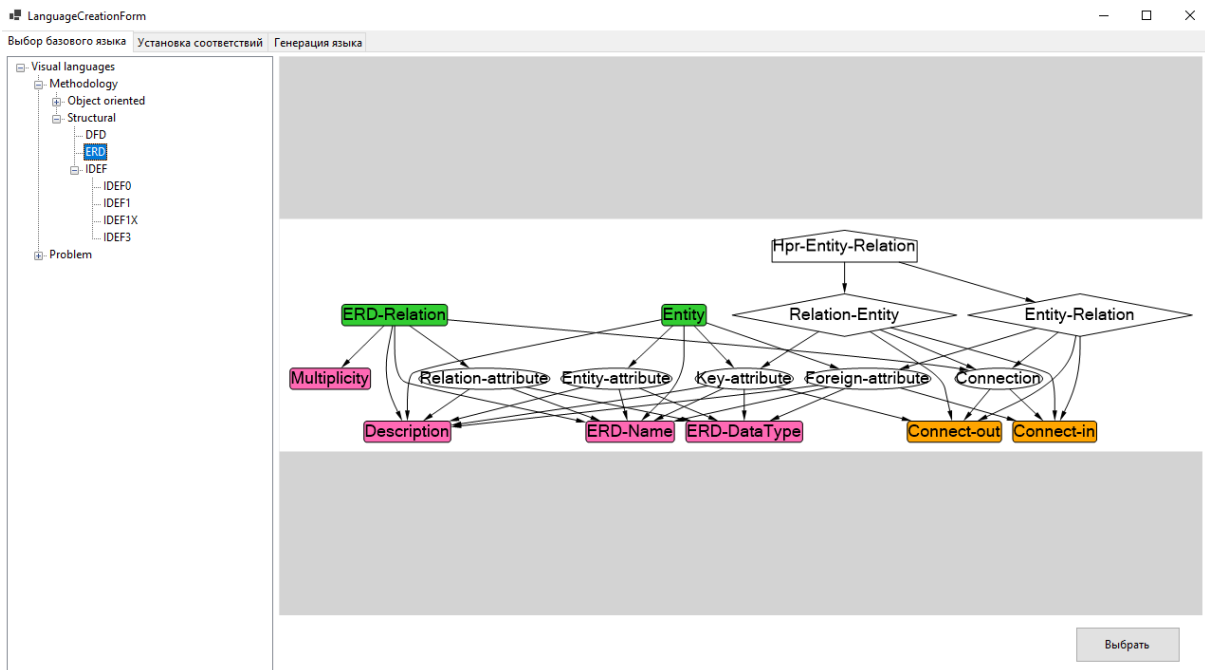


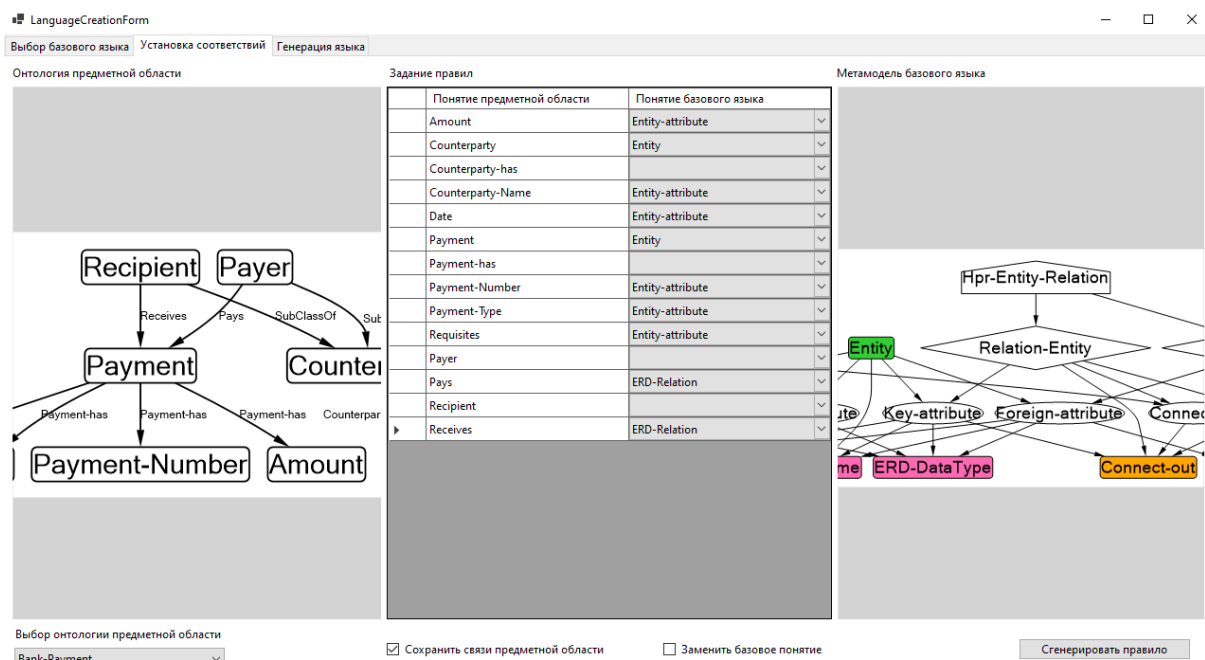
Рис. 3. Диаграмма классов подсистемы генерации DSL

Основные шаги создания DSL на основе базовых языков и онтологии предметной области описаны в [2, 9]. Для их реализации разработан конструктор правил (формы показаны на рис. 4), с помощью которого пользователь может выполнить все шаги алгоритма генерации нового DSL на основе базового языка решения задачи и модели предметной области, описанных в онтологии:

- 1) выбрать решаемую задачу и базовый язык, наиболее полно соответствующий условиям решения задачи, потребностям пользователя (см. рис. 4, а);
- 2) определить правила отображения элементов модели предметной области, описанной в онтологии (основных понятий и атрибутов, связей), на элементы метамодели базового языка (см. рис. 4, б);
- 3) выполнить генерацию метамодели нового DSL.



a



b

Рис. 4. Конструктор метамodelей: выбор метамodelи базового языка (a) и конструктор правил отображения онтологий на метамodelь (б)

Фрагмент представления в многоаспектной онтологии правила отображения онтологий предметной области «Банковские платежи» [12] на метамodelь базового языка (ERD) показана на рис. 5.

На рис. 6 показано представление метамodelи DSL, сгенерированной по правилам, заданным пользователем с помощью конструктора. Созданный DSL предназначен для разработки моделей для реализации баз данных (БД) для приложений, автоматизирующих банковские платежи.

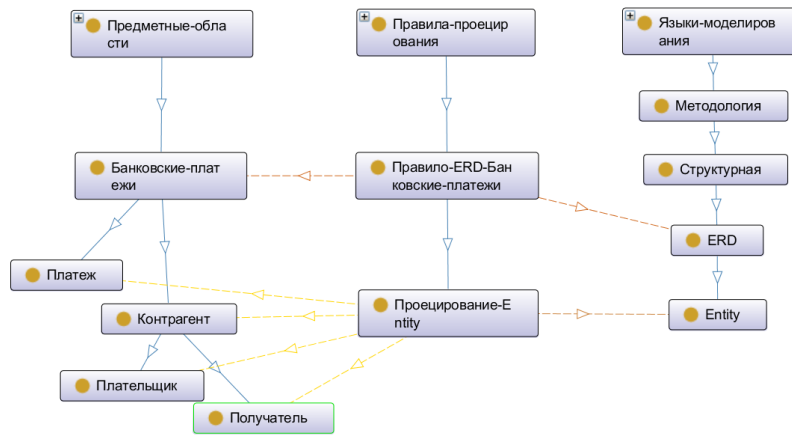


Рис. 5. Фрагмент онтологии, содержащей структуру правила отображения модели предметной области на метамодель языка для генерации нового DSL

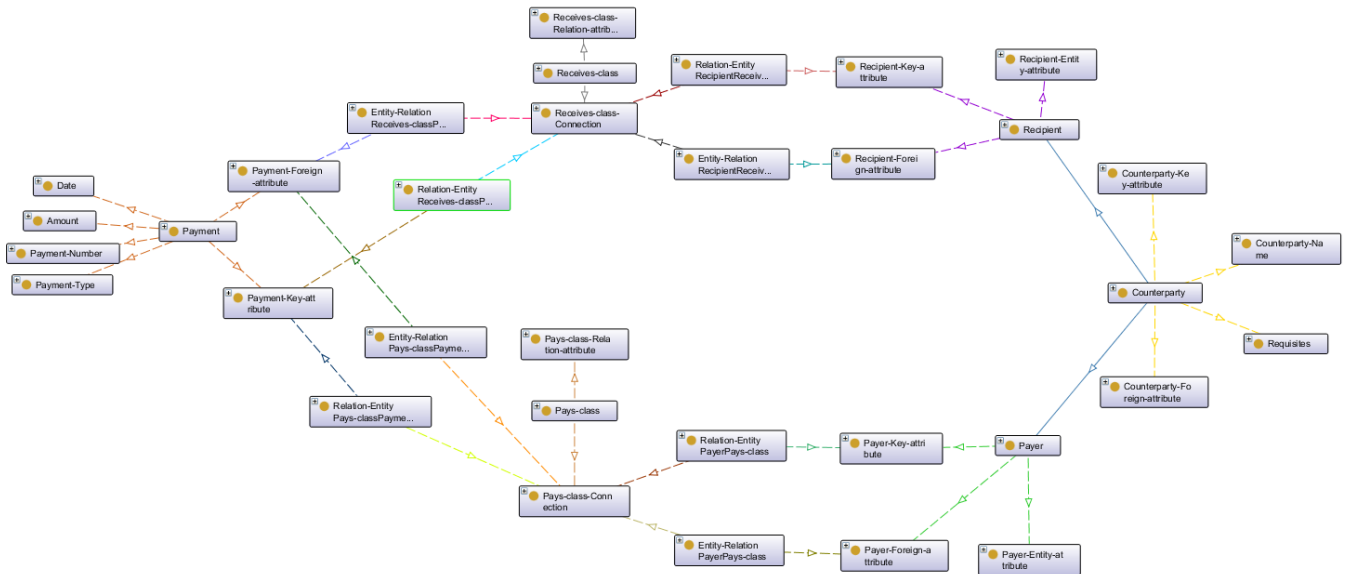


Рис. 6. Представление метамодели нового DSL «Банковские платежи», сгенерированной по заданным правилам на основе метамодели ERD, в онтологии языков

Чтобы создать БД по построенной пользователями модели на DSL, настроенном на предметную область на основе нотации ERD, необходимо обеспечить генерацию кода на языке SQL (в данном случае – операторов языка DDL для создания таблиц БД в соответствии с построенной ERD).

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. В [4, 11, 18] показано, как разработанные средства могут быть интегрированы в состав аналитических платформ для настройки на решение исследовательских задач в различных предметных областях.

Разработанные алгоритмы 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. 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.
4. Лядова Л. Н. О подходе к разработке аналитической платформы, основанной на знаниях и метамоделировании / Л. Н. Лядова, В. С. Заякин, Н. М. Суворов // Информатизация и связь. 2022. № 5. С. 85–90.
5. Лядова Л. Н. Автоматизация разработки предметно-ориентированных языков на основе многоаспектных онтологий / Л. Н. Лядова // Информатизация и связь. 2021. № 8. С. 48–52.
6. Degueule T. Melange: a meta-language for modular and reusable development of DSLs / T. Degueule, B. Combemale, A. Blouin, O. Barais, // Proc. ACM SIGPLAN International Conference on Software Language Engineering (SLE 2015). New York. – 2015. – P. 25-36. DOI: 10.1145/2814251.2814252.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Lapshin V. The conception of a method of analyzing business activities as part of the process of developing information systems / V. Lapshin, O. Shevchenko, K. Kandyba // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2020. – V. 20. No. 2.1. – P. 349–356. DOI: 10.5593/sgem2020/2.1/s07.045.
11. 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.

12. 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.

13. Robert F. Model-driven Development of Complex Software: A Research Roadmap / F. Robert, R. Bernhard R. // Proceedings IEEE Transactions on Software Engineering. Minneapolis. – 2007. – P. 37–54. DOI: 10.1109/FOSE.2007.14.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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: 13th International Joint Conference, IC3K 2021, Revised Selected Papers. – 2023. – V. 1718. – P. 129–149. DOI: 10.1007/978-3-031-35924-8_8.