

Протокол общения с Gemini при генерации отчета.

## «Автоматизация научных исследований»

Соломатов Александр Денисович

Гр. 5040102/50201

December 2025

## 1 Основная стратегия

### 1.1 Генерация вступления

Сначала был использован промт (*Генерация вступления (начало)*). Его цель - сделать набросок для будущей работы (=пункт вступление).

Ответ модели

Конечно. Ниже представлен текст введения для вашей научноисследовательской- работы, оформленный в формате LaTeХ. Содержание опирается на предоставленный вами обзор современных лингвистических инструментов и интегрирует концепцию системы DslTools.

Extrait de code

```
\section{Введение*{}}
```

Современный этап развития информационных технологий характеризуется активным внедрением языковых инструментов в самые разнообразные сферы: от систем промышленной автоматизации и компьютерной безопасности до анализа биоинформационических данных. Рост сложности программных комплексов и увеличение ассортимента вычислительных устройств диктуют потребность в создании специализированных предметноориентированных- языков (DSL). На сегодняшний день насчитывается более 10 тысяч языков, применяемых не только в общесистемном программном обеспечении, но и в узких прикладных областях, что делает задачу автоматизации их разработки критически важной.

Традиционно процесс создания языковых процессоров опирается на принципы синтаксического управления, где управляющие структуры описываются с

помощью контекстносвободных- грамматик в формах БэкусаНаура- БНФ() или их расширений. Использование формальных методов на всех этапах проектирования позволяет существенно сократить трудозатраты на фазу синтаксического анализа, которая может занимать до 25\% ресурсов при разработке языкового процессора. Однако переход к динамическим средам и потребность в ускорении цикла «разработкаисполнение»- требуют новых подходов, выходящих за рамки классической статической компиляции.

В рамках данной работы предлагается метод генерации интерпретаторов DSL, реализованный в инструментальной среде \textbf{DslTools}. Система ориентирована на создание единого исполняемого окружения (\textit{Unified executable parsing environment}), поддерживающего динамическую интерпретацию и «горячую» загрузку грамматик, что обеспечивает мгновенную обратную связь при проектировании языка.

#### \subsection{Состояние\*{ проблемы}}

Несмотря на зрелость классических генераторов анализаторов, таких как Lex/Yacc и Bison, их использование сопряжено с рядом ограничений. Статические генераторы накладывают жесткие ограничения на класс грамматик например(, LALR(1)), что часто приводит к возникновению конфликтных ситуаций и недетерминизма, требующих ручного разрешения. Кроме того, использование процедурноориентированных- интерфейсов в генерируемом коде особенно( на языке C) ведет к небезопасности и сложности сопровождения. Инструменты вроде ANTLR и JetBrains Grammar-Kit улучшили ситуацию за счет визуализации и поддержки более широких классов грамматик (LL(\*), PEG), однако они попрежнему- требуют этапа генерации исходного кода и его последующей компиляции.

#### \subsection{Актуальность\*{}}

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания гибких \textit{Language Workbenches}, способных конкурировать с такими системами, как JetBrains MPS или Xtext, но с меньшим порогом вхождения и более высокой скоростью прототипирования. В условиях рыночной экономики и частого выпуска обновленных моделей вычислительных систем, потребность в инструментах, поддерживающих концепцию \textit{edit-run} без промежуточных стадий сборки, становится приоритетной для индустрии программного обеспечения.

#### \subsection{Цель\*{ и задачи работы}}

Целью работы является разработка и формализация метода генерации интерпретаторов DSL на основе графовых моделей грамматик и технологий больших языковых моделей (LLM).

Для достижения цели решаются следующие задачи:

```
\begin{enumerate}
```

```
    \item Разработка гибридной модели представления грамматики в виде  
ориентированных графов правил вывода для обеспечения двунаправленной  
трансляции текстдиаграмма(-).
```

```
    \item Формализация метода автоматической генерации семантических  
обработчиков на базе паттерна \textit{Visitor}.
```

```
    \item Реализация прототипа системы \textbf{DslTools} как  
интерпретируемой среды исполнения.
```

```
    \item Исследование влияния пользовательских аннотаций на точность  
генерации программного кода.
```

```
\end{enumerate}
```

```
\subsection{Научная новизна}
```

Научная новизна заключается в интеграции детерминированного синтаксического разбора с интеллектуальной генерацией семантики. Впервые предложено использование \textbf{LABELS} и пользовательских «notes подсказок()» внутри грамматических правил для управления процессом генерации логики \textit{Visitorхендлеров-} с помощью LLM. Это позволяет автоматизировать написание наиболее трудоемкой части интерпретатора, сохраняя при этом строгий контроль над синтаксической структурой данных.

```
\subsection{Практическая значимость}
```

Практическая значимость работы заключается в возможности применения системы \textbf{DslTools} для быстрого прототипирования DSL в промышленных проектах и в учебном процессе. Предложенный подход позволяет сократить сроки разработки специализированных языков и повысить надежность ПО за счет исключения ручного кодирования рутинных операций по обходу деревьев разбора.

Фактически эта стратегия создает больше проблем (модель пишет текст, который затем придется дольше править), так что я не советую пользоваться данным промтом в начале.

## 1.2 Генерация литературы

В процессе генерации литературы использовалась модель Gemini Research.

При этом использовалось введение сгенерированное из прошлого пункта, также использовались фасеты + параметры поиска из лабораторной 7 (Промт *Генерация литературы. Пример 1*).

Модель фактически сама создает план, которому в процессе будет следовать.

## План поиска для первого примера

- (1) Выполнить поиск на сайте arXiv.org по темам автоматического синтеза и генерации DSL, а также использованию трансформеров и фреймворков для создания предметноориентированных- языков, основываясь на параметрах из набора 1.
- (2) Найти исследования на arXiv.org, касающиеся генерации кода Python с помощью LLM, включая бенчмарки и архитектуры трансформеров, согласно набору 2.
- (3) Осуществить поиск публикаций по инженерии грамматик EBNF вывод(, парсеры, обучение) и автоматизации паттерна Visitor оптимизация(, генерация шаблонного кода) в соответствии с наборами 3 и 4.
- (4) Провести поиск работ по метамоделированию, нейросетевой трансляции AST, инструментам интеграции с IDE и продвинутому синтезу программ с использованием LLM, используя ключевые слова из наборов -58.
- (5) Проанализировать аннотации найденных статей на предмет их релевантности тексту введения, уделяя внимание гибридным подходам, объединяющим детерминированный синтаксический разбор и генеративные возможности LLM.
- (6) Выбрать статьи, которые могут служить аналогами или теоретической базой для системы DslTools, в частности, рассматривающие динамическую интерпретацию, bootstrapподход- и альтернативы инструментам типа JetBrains MPS или Xtend.
- (7) Сгруппировать отобранные материалы по тематическим кластерам генерация( DSL, LLM в разработке, работа с AST) для удобства формирования литературного обзора.
- (8) Предоставить список прямых ссылок на страницы статей на arXiv.org, прошедших отбор.

Ответ модели содержится в файле *Поиск статей для обзора литературы.pdf*  
Аналогично использовались промты для поиска статей по интерпретаторам

## План поиска для информации по интерпретаторам

- (1) Найти статьи и публикации, описывающие классический конвейер разработки DSL: лексический анализ (Tokenization), синтаксический анализ ( Parsing) с построением CST (Concrete Syntax Tree) и преобразование CST в AST (Abstract Syntax Tree).
- (2) Выполнить поиск работ, сравнивающих использование CST и AST, с фокусом на обоснование необходимости промежуточного построения CST например(, для сохранения форматирования, комментариев, поддержки IDEинструментов- или

упрощения отладки грамматики).

(3) Найти статьи, детально описывающие применение паттерна Visitor Посетитель() для реализации семантического анализа и интерпретации узлов AST в контексте DSL.

(4) Осуществить поиск материалов, описывающих архитектурные различия между интерпретаторами и компиляторами, и определить дополнительные модули, необходимые для трансформации интерпретатора в компилятор например(, генерация промежуточного кода IR, оптимизация, генерация целевого машинного кода или байткода-).

(5) Искать примеры реализации данных подходов в современных инструментах разработки языков например(, ANTLR, Xtext, Roslyn), где используется CST/ Parse Tree.

(6) Сгруппировать найденные источники по темам: Теория" парсинга и деревьев (CST vs AST)", Паттерн" Visitor в интерпретаторах", Архитектура" компиляторов и интерпретаторов".

Ответ модели содержится в файле *Разработка DSL\_ Интерпретаторы и Компиляторы.pdf*. На их основе впоследствии генерировался обзор литературы.

### 1.3 Генерация обзора литературы

Для генерации в начале использовался промт *Генерация литературного обзора*, представленный выше. Ответ модели затем уточнялся. В промте использовались статьи найденные в пункте Генерации литературы.

#### Ответ модели

Ниже представлен структурированный текст литературного обзора для вашей научноисследовательской- работы. Текст оформлен в формате \LaTeX, ориентирован на академическую подачу и опирается на предоставленные материалы.

#### Extrait de code

```
\section{Литературный{ обзор}}
```

```
\subsection{Различия{ GPL и DSL}}
```

В современной разработке программного обеспечения выделяют два основных класса языков: языки общего назначения (GPL) и предметноориентированные-языки (DSL). Ключевым различием между ними является уровень абстракции и выразительной мощности. Как отмечается в работе \autoref{art:Mosthaf}, DSL

характеризуются сниженной выразительностью в обмен на высокую специализацию, что позволяет сократить «семантический разрыв» (semantic gap) между экспертными знаниями в предметной области и программной реализацией.

Использование DSL снижает когнитивную нагрузку на разработчика и позволяет стейкхолдерам, не обладающим глубокими навыками программирования, напрямую участвовать в процессе моделирования [cite: 3, 6]. В качестве примера внешнего DSL можно привести систему TidalCycles, предназначенную для лайвкодинга-, где узкая специализация синтаксиса обеспечивает мгновенную обратную связь и эффективность, недостижимую в рамках GPL. Таким образом, ограничение выразительной мощности в DSL выступает не как недостаток, а как инструмент повышения производительности в конкретном домене.

\subsection{Формализмы, описания и синтаксический анализ}

Фундаментом для задания структуры DSL служат формальные грамматики, чаще всего описываемые в расширенной форме Бэкуса - Наура (EBNF). Роль EBNF заключается в строгом определении иерархии синтаксических конструкций, что является необходимым условием для автоматизации построения парсеров.

В современных метамоделирующих- средах применяется \textit{bootstrap} подход-, при котором метаграмматика- системы например(, GrammarObject в DslTools) описывается через собственные структуры данных, обеспечивая самоприменимость и гибкость расширения. Процесс анализа традиционно организуется в виде конвейера: токенизация \$ \rightarrow \$ CST (Concrete Syntax Tree) \$ \rightarrow \$ AST (Abstract Syntax Tree).

Для обработки полученных структур стандартом является паттерн \textit{Visitor}, позволяющий разделить структуру данных и алгоритмы их обработки. Однако, как подчеркивают Kebaili и соавторы, ручная реализация «хендлеров» в рамках этого паттерна сопряжена с высокой архитектурной сложностью и трудоемкостью, особенно при эволюции метамодели, когда изменения в грамматике требуют синхронного обновления множества фрагментов кода.

\subsection{Применение LLM в метамоделировании и языковой инженерии}

Интеграция больших языковых моделей (LLM) открывает новые горизонты в автоматизации языковой инженерии, однако требует гибридных подходов для обеспечения надежности.

\subsubsection{Трансляция NL-to-DSL и эволюция моделей}

Исследования показывают, что LLM например(, GPT-4o) демонстрируют высокую эффективность в трансляции намерений пользователя с естественного языка на

формальный синтаксис DSL. В системе \textit{DSL Assistant} реализованы различные режимы взаимодействия, позволяющие пользователям итеративно уточнять дизайн языка. Тем не менее, работа \autoref{art:Kebaili} указывает на существенное ограничение: модели склонны к галлюцинациям и ошибкам при работе с метамоделями, если в промпте отсутствует глубокий контекст изменений. Для корректной коэволюции- кода с( точностью до 88.7\%) LLM должна учитывать «абстрактный разрыв» между метамоделью и генерируемым API.

\subsubsection{Методы управления генерацией: HySynth и SynCode}

Одной из наиболее перспективных концепций является \textit{Grammar-guided generation}. В рамках этой парадигмы детерминированная грамматика используется как ограничитель для вероятностного вывода LLM.

\begin{itemize}

- \item \textbf{SynCode}: Фреймворк \textit{SynCode} использует DFAмаски- (Deterministic Finite Automata) на этапе декодирования, чтобы фильтровать синтаксически некорректные токены в реальном времени. Это позволяет гарантировать синтаксическую валидность partialпрограмм- и снижает количество синтаксических ошибок на 96.07\%.
- \item \textbf{HySynth}: Гибридный подход \textit{HySynth} сочетает вероятностные модели (PCFG), обученные на выводах LLM, с символьным поиском. Это позволяет использовать интуицию LLM для направления поиска в пространстве программ, значительно ускоряя синтез решений в сложных доменах.

\end{itemize}

Интеграция этих механизмов в \textit{Language Workbenches} например(, через расширение Langium) позволяет генерировать не только код, но и интерфейсы, осведомленные об абстрактном синтаксисе (JSON Schema) или конкретной грамматике языка.

\subsection{Диагностика и визуализация в образовательном процессе}

Визуализация грамматических структур и результатов парсинга имеет критическое значение для снижения порога вхождения в теорию компиляторов. Использование диаграмм Вирта, а также деревьев CST/AST позволяет студентам наглядно диагностировать ошибки в проектируемых языках. Автоматическая генерация таких визуализаций на основе графовых моделей грамматик способствует более глубокому пониманию соответствия между текстовым вводом и внутренним представлением модели.

\subsection{Вывод по главе}

Проведенный анализ подтверждает, что использование «чистых» LLM для генерации интерпретаторов DSL ограничено проблемой низкой точности и отсутствием гарантий корректности. Решением является переход к гибридным системам типа \textit{DslTools}, которые объединяют гибкость нейросетевого вывода с жесткими ограничениями, накладываемыми формальными графовыми моделями грамматик в среде UEPE.

Список использованных источников для \autoref:

art:Kebaili - "An Empirical Study on Leveraging LLMs for Metamodels and Code Co-evolution".

art:Mosthaf - "From a Natural to a Formal Language with DSL Assistant".

art:Barke - "HYSYNTH: Context-Free LLM Approximation for Guiding Program Synthesis".

art:Ugare - "Improving LLM Code Generation with Grammar Augmentation (SynCode)".

art:Brandolini - "A language workbench extension to generate conversational interfaces for DSLs (LLM in l-workbench)".

Затем, начал править ответ с помощью *Уточнения для обзора литературы. Общие исправления, Уточнение для обзор литературы. Формализация*.

## Ответ на общие исправления

\subsection{Формализмы, описания и синтаксический анализ}

\subsubsection{Теория РБНФ (EBNF)}

В системе DslTools формализация синтаксической структуры языка базируется на расширенной форме Бэкуса – Наура (EBNF). [cite\_startРоль] данного формализма заключается в создании строгой декларативной спецификации, которая служит основой для автоматической генерации парсеров и лексеров в рамках среды UEPE[cite: 19]. Ключевыми компонентами описания грамматики в системе являются:

```
\begin{itemize}
    [cite_start]\item \textbf{Множество} терминальных символов (Terminal Symbols): неделимые элементы языка литералы(, идентификаторы, операторы), определяемые на уровне лексического анализа[cite: 19].
    [cite_start]\item \textbf{Множество} нетерминальных символов (Non-terminal Symbols): абстрактные синтаксические категории, описывающие логическую структуру и иерархию языковых конструкций[cite: 19].
    [cite_start]\item \textbf{Ключевые} слова (Keywords): фиксированный набор терминалов, зарезервированных для обозначения управляющих конструкций и семантических единиц DSL[cite: 19].
\end{itemize}
```

#### \subsubsection{Конвейер анализа}

Процесс трансформации исходного кода в системе DslTools организован как последовательный конвейер (Pipeline), обеспечивающий переход от текстового представления к исполняемым структурам данных.

```
\paragraph{Tokenization} Лексический( анализ)
[cite_start]На первом этапе конвейера модуль лексического анализа лексер() выполняет группировку входного потока символов в значимые последовательности - лексемы (lexemes), сопоставляя их с определенными категориями (tokens)[cite: 19]. Реализация лексера в DslTools предполагает создание объекта \texttt{TokenStream}, представляющего собой типизированный поток токенов. Критически важным аспектом является обработка «trivia - элементов, не несущих семантической нагрузки для исполнения пробелы(, комментарии, переводы строк). [cite_start] DslTools такие элементы сохраняются в «скрытых каналах» или в виде метаданных токенов, что необходимо для поддержки функций IDE, таких как рефакторинг и сохранение авторского форматирования (Fidelity)[cite: 19].
```

#### \paragraph{CST Generation} Построение( дерева разбора)

Результатом синтаксического анализа является дерево конкретного синтаксиса (Concrete Syntax Tree, CST). [cite\_start]CST представляет собой полную иерархическую структуру, находящуюся в отношении 1:1 с правилами грамматики EBNF[cite: 19]. В отличие от абстрактных моделей, CST включает абсолютно все токены, включая вспомогательные знаки пунктуации и ключевые слова. [cite\_start]Необходимость] сохранения CST в архитектуре UEPE обоснована задачами инструментальной поддержки: точным позиционированием ошибок, реализацией протокола LSP (Language Server Protocol) и обеспечением возможности восстановления дерева при наличии синтаксических ошибок (Error Recovery)[cite: 19].

Ниже представлено сравнение характеристик двух типов деревьев, используемых в конвейере DslTools:

```
\begin{table}[h!]
  \centering
  \caption{Сравнительный анализ CST и AST}
  \begin{tabular}{|l|p{5cm}|p{5cm}|}
    \hline
    \textbf{Характеристика} & \textbf{CST} & \textbf{AST} \\ \hline
    Связь с грамматикой & Полное соответствие правилам EBNF & Отражает логическую и семантическую структуру \\ \hline
    Содержание & Все токены ключевые ( слова, скобки, пробелы) & Только значимые данные операторы(, операнды) \\ \hline
    Детализация & Высокая, избыточная & Компактная, оптимизированная \\ \hline
  \end{table}

  Назначение & Парсинг, рефакторинг, IDE & Типизация, оптимизация, исполнение \\ \hline
\end{tabular}
\end{table}

\paragraph{AST Translation Трансляция ( в абстрактное дерево)}
Механизм трансляции преобразует CST в абстрактное синтаксическое дерево ( Abstract Syntax Tree, AST), выполняя процесс «семантического подъема» ( semantic lifting). [cite_startHa] данном этапе происходит очистка дерева от вспомогательных узлов и синтаксического сахара, не влияющего на логику исполнения[cite: 19]. [cite_startBажной] частью этого процесса является разрешение имен (Name Resolution) - связывание идентификаторов с их соответствующими определениями через таблицу символов (Symbol Table), что фактически превращает дерево в граф за счет перекрестных ссылок[cite: 19]. [cite_startB] DslTools применяются паттерны мапперов, которые могут быть реализованы как в виде автоматических Model-to-Model трансформаций, так и через ручное описание правил в специализированных билдерах[cite: 19].
```

\subsubsection{Роль паттерна Visitor}

После построения AST его обработка осуществляется с использованием паттерна **Visitor** Посетитель(). [cite\_startДанный] механизм обеспечивает разделение структуры данных узлов AST и алгоритмов, работающих с этой структурой[cite: 19]. [cite\_startЭто] позволяет внедрять новые модули анализа (Static Analysis) и выполнения (Evaluation/ Interpretation) без модификации классов самих узлов[cite: 19]. [cite\_startБлагодаря] использованию двойной диспетчеризации (Double Dispatch), Visitor

гарантирует корректную маршрутизацию вызовов к нужным обработчикам, инкапсулируя логику конкретной фазы анализа в отдельном компоненте, что критически важно для расширяемости среды UEPЕ [cite: 19].

\subsubsection{Интерпретатора к Компилятору}

Система DslTools поддерживает концептуальный переход от режима интерпретации к полноценной компиляции. [cite\_start] процесс осуществляется за счет расширения стандартного конвейера обработки новыми фазами: генерацией промежуточного представления (Intermediate Representation), модулями статического анализа SSA (Static Single Assignment) и глобальными оптимизациями [cite: 19]. [cite\_startB] архитектуре UEPЕ данный переход реализуется через добавление новых «посетителей» в Pipeline, которые отвечают за линеаризацию AST и последующую генерацию целевого кода или байткода- виртуальной машины [cite: 19]. Таким образом, интерпретатор эволюционирует в компилятор путем наращивания фаз обработки AST без изменения ядра синтаксического анализа.

## Ответ на уточнения по Формализации

\subsection{Формализмы}{ описания и синтаксический анализ}

\subsubsection{Теория}{ РБНФ (EBNF)}

В системе DslTools для спецификации синтаксической структуры языка используется расширенная форма Бэкуса - Наура (EBNF). Данный формализм выполняет роль декларативного фундамента, определяющего правила построения допустимых цепочек языка. Согласно \autoref{doc:dsl\_arch}, описание грамматики в рамках системы базируется на следующих компонентах:

\begin{itemize}

\item \textbf{Множество} терминальных символов (Terminal Symbols): элементарные, неделимые единицы языка литералы(), идентификаторы, операторы, которые распознаются на этапе лексического анализа.

\item \textbf{Множество} нетерминальных символов (Non-terminal Symbols): высокоуровневые синтаксические конструкции, представляющие собой логические группы терминалов и других нетерминалов.

\item \textbf{Ключевые} слова (Keywords): подмножество терминалов, имеющих зарезервированное семантическое значение и используемых для идентификации управляемых структур DSL.

\end{itemize}

```
\subsubsection{Конвейер анализа}
```

Процесс трансформации исходного кода в среде Unified Executable Parsing Environment (UEPE) организован как последовательный конвейер, обеспечивающий поэтапное повышение уровня абстракции данных.

```
\paragraph{Tokenization} Лексический анализ
```

Лексический анализ выполняется специализированным модулем – лексером, задача которого заключается в группировке входного потока символов в осмысленные последовательности лексемы() и их сопоставлении с категориями токенами(). Результатом работы лексера является объект \texttt{TokenStream}. Особенностью реализации в DslTools является обработка «»trivia пробельные( символы, комментарии, переносы строк). Несмотря на то что данные элементы игнорируются основным синтаксическим парсером, они сохраняются в потоке для обеспечения «верности» (fidelity) исходному коду, что необходимо для корректной работы инструментов рефакторинга и диагностических сообщений.

```
\paragraph{CST Generation} Построение дерева разбора
```

Дерево конкретного синтаксиса (Concrete Syntax Tree, CST) – это иерархическая структура данных, которая полностью и без потерь отражает структуру грамматики. В отличие от других представлений, CST включает все токены, включая вспомогательные знаки пунктуации и ключевые слова. Необходимость формирования CST обусловлена требованиями UEPE к сохранению полной информации о синтаксисе для последующей корректной обработки в IDE подобных- средах.

Сравнение ключевых характеристик деревьев представлено в \autoref{tab:cst\_ast\_comp}.

```
\begin{table}[h]
```

```
    \centering
```

```
    \caption{Сравнение характеристик CST и AST}
```

```
    \label{tab:cst_ast_comp}
```

```
    \begin{tabular}{|l|p{4cm}|p{4cm}|}
```

```
        \hline
```

```
        \textbf{Характеристика} & \textbf{CST} & \textbf{AST} \\ \hline
```

Полнота данных & Содержит все токены и элементы «»trivia & Содержит только семантически значимые узлы \\ \hline

Соответствие грамматике & Строгое соответствие правилам EBNF (1:1) & Оптимизированная структура, независимая от синтаксического сахара \\ \hline  
Назначение & Лексический и синтаксический анализ, сохранение контекста

```
& Исполнение, оптимизация, статический анализ \\ \hline  
\end{tabular}  
\end{table}
```

\paragraph{AST Translation} Трансляция( в абстрактное дерево)

Переход от CST к абстрактному синтаксическому дереву (Abstract Syntax Tree, AST) представляет собой процесс фильтрации и очистки модели от вспомогательных синтаксических узлов. Важнейшим этапом на данной фазе является разрешение имен (Name Resolution). Это процесс идентификации связей между использованием идентификатора и его фактическим определением в коде. Трансляция может реализовываться с использованием различных паттернов мапперов: от автоматизированных преобразований на основе метамоделей до ручного описания правил трансформации в специализированных обработчиках.

\paragraph{Роль паттерна Visitor}

Для реализации механизмов обхода и обработки AST в DslTools применяется паттерн \textit{Visitor}. Согласно \autoref{doc:dsl\_arch}, данный паттерн служит основным инструментом разделения структуры данных узлов( дерева) и алгоритмов их обработки. Это архитектурное решение позволяет добавлять новые типы анализа (Static Analysis) или методы выполнения (Evaluation), не внося изменений в классы самих узлов AST. Таким образом, функциональность системы масштабируется за счет создания новых «посетителей», инкапсулирующих конкретную логику обработки.

\paragraph{Интерпретатора к Компилятору}

Концептуальная эволюция системы DslTools от интерпретатора к полноценному компилятору осуществляется путем расширения конвейера обработки (Pipeline).

Интеграция модулей глубокого статического анализа, оптимизации промежуточного представления и генерации целевого кода превращает среду исполнения в компилятор. В архитектуре UEPE этот переход реализуется через добавление дополнительных фаз (phases) в конвейер, которые обрабатывают AST и преобразуют его в эффективное исполняемое представление.

```
\bigskip  
\begin{center}  
  \textbf{Источники:}  
\end{center}  
\begin{itemize}  
  \item \label{doc:dsl_arch} Файл «Разработка DSL: Интерпретаторы и Компиляторы».  
\end{itemize}
```

Затем, пришлось ещё сделать пару уточнений представленных в общем промте (*Уточнения литературный обзор*) для исправления текста, связанного с примерами по генерации с использованием LLM. В данном случае я опирался на текст отчета представленного в файле *Разработка DSL\_ Интерпретаторы и Компиляторы.pdf*, однако пришлось в ручном режиме задать примеры обработки кусочка с примерами применения LLM для модели, чтобы она оформила текст в том же стиле и с теми же правилами верстки.

#### Последний ответ на уточнения по Генерации с использованием LLM

\subsubsection{Генерация формальных спецификаций из неструктурированных требований}

Традиционно создание метамодели например(, в Ecore для EMF или метасхемы-JSON) требует от архитектора трансляции концептуальной модели предметной области в строгие формализмы: классы, атрибуты и отношения. Данный процесс характеризуется высокой архитектурной сложностью и риском семантических искажений при использовании инструментов моделирования, таких как Eclipse MPS или EMF. Современные исследования (\autoref{src:LLM\_LIT\_1}, \autoref{src:LLM\_LIT\_2}, \autoref{src:LLM\_LIT\_3}) предлагают подход \textit{LLM-assisted Metamodeling}, структурированный следующим образом:

\begin{itemize}

\item \textit{Механизм}: Системный инженер подает на вход модели описание требований на естественном языке. На основе этого контекста LLM формирует иерархию сущностей и их взаимосвязей.

\item \textit{Результат}: Генерация валидных артефактов метамоделирования например(, Ecore XML или XMI), определяющих базовые доменные классы, их атрибутивный состав и типы связей ассоциация(, композиция).

\item \textit{Итеративность}: Реализация итеративного цикла проектирования, где сгенерированная модель визуализируется например(, через PlantUML) для экспертной оценки. Обратная связь инкорпорируется в последующие запросы для уточнения формальной спецификации \autoref{src:LLM\_LIT\_3}.

\end{itemize}

\subsubsection{От естественного языка к структуре}

Данная область применения LLM ориентирована на трансляцию намерений пользователя (Natural Language) непосредственно в код DSL или

структурированные вызовы API, фактически заменяя собой традиционные фазы лексического и синтаксического анализа. Однако прямая генерация (NL2DSL) в проприетарных доменах ограничена проблемой галлюцинаций, когда модель, не знакомая со спецификацией конкретного DSL, подменяет конструкции языка аналогичными из GPL \autoref{src:LLM\_LIT\_21}.

Для объективной оценки качества интеграции на данном этапе применяются следующие метрики:

```
\begin{itemize}
    \item \textit{Unparsed Rate}: Доля программ, не прошедших синтаксическую верификацию детерминированным парсером; показатель корректности усвоения синтаксиса.
    \item \textit{Hallucination Rate}: Доля синтаксически верных программ, использующих несуществующие в данном домене идентификаторы или семантические конструкции.
    \item \textit{Average Similarity}: Степень структурного соответствия между сгенерированным и эталонным AST, рассчитываемая через поиск наибольшей общей подпоследовательности (LCSS).
\end{itemize}
```

\paragraph{Стратегии RAG для DSL: Контекстная осведомленность}

Для преодоления ограничений, связанных с отсутствием доменных данных в обучающей выборке, применяется подход Retrieval-Augmented Generation (RAG). Эффективность системы повышается за счет специализированной подготовки контекста:

```
\begin{itemize}
    \item \textit{AST-Based Chunking}: Использование грамматикиориентированного- разбиения кодовой базы например(, через Tree-sitter) вместо строкового сегментирования. Это гарантирует сохранение семантической целостности блоков, подаваемых в контекстное окно модели \autoref{src:LLM_LIT_22}.
    \item \textit{Семантический поиск по коду}: Применение эмбеддингов, обученных на парах «документациякод», что позволяет извлекать наиболее релевантные синтаксические паттерны DSL по текстовому запросу пользователя \autoref{src:LLM_LIT_23}.
    \item \textit{Результаты}: Использование RAG в режиме few-shot обучения позволяет достичь качества генерации, сопоставимого с результатами специализированного дообучения (Fine-tuning), при значительно меньших вычислительных затратах \autoref{src:LLM_LIT_21}.
\end{itemize}
```

\paragraph{Grammar-Constrained Decoding (GCD): Принудительная валидность}

Наиболее строгим методом обеспечения корректности является ограничение процесса декодирования на основе формальной грамматики. В этом режиме LLM функционирует в рамках детерминированного конечного автомата, заданного синтаксисом DSL.

```
\begin{itemize}
    \item \textit{Механизм}: На каждом шаге авторегрессионной генерации алгоритм сопоставляет возможные токены с правилами EBNF. Токены, нарушающие синтаксис, маскируются, что исключает вероятность генерации некорректных цепочек \autoref{src:LLM_LIT_31}.
    \item \textit{Инструментарий}: Подход реализуется посредством библиотек управления генерацией например(, SynCode, guidance) или специализированных фреймворков типа YieldLang \autoref{src:LLM_LIT_32}.
    \item \textit{Grammar Prompting}: Метод передачи грамматики непосредственно в промпт, позволяющий модели адаптироваться к новому DSL \textit{in-context}. Это критически важно для семантического парсинга в динамически меняющихся средах.
\end{itemize}
```

\subsubsection{Работа с AST и семантикой}

\paragraph{Автоматическая генерация инфраструктуры Visitor} Применение LLM позволяет автоматизировать создание объемного шаблонного кода (boilerplate), характерного для паттерна Visitor, обеспечивая синхронизацию между метамоделью и кодом интерпретатора.

```
\begin{itemize}
    \item \textit{Генерация иерархии}: Автоматическое построение классов узлов AST например(, на языке Python с использованием dataclasses) и соответствующих интерфейсов Visitor на основе спецификации языка \autoref{src:LLM_LIT_32}.
    \item \textit{Реализация логики обхода}: Генерация тел методов \textit{visit} для прикладных задач, таких как Type Checker или статический анализатор. Модель способна синтезировать правила вывода типов на основе текстового описания семантики.
    \item \textit{Минимизация архитектурных издержек}: Решение проблемы выражения (Expression Problem) - при изменении структуры AST модель способна мгновенно регенерировать все зависимые компоненты визитора, сохраняя целостность системы.
\end{itemize}
```

\paragraph{LLM как семантический анализатор (Semantic Analyzer)} Интеграция LLM в конвейер анализа позволяет дополнить классические алгоритмы «мягкими» проверками, основанными на вероятностном выявлении логических

аномалий в коде.

```
\begin{itemize}
    \item \textit{Поиск логических аномалий}: Анализ AST на предмет
        трудноформализуемых ошибок, таких как потенциальные утечки данных в
        логфайлы- или нарушение бизнеслогики-, не описываемой строгой системой
        типов .
    \item \textit{AST Enrichment}: Использование LLM для вероятностного
        восстановления типов или заполнения атрибутов в разреженных деревьях, где
        входная информация недостаточна для работы стандартного семантического
        анализатора \autoref{src:LLM_LIT_41}.
    \item \textit{Интеллектуальный линтинг}: Генерация расширенных отчетов о
        качестве кода на основе обхода узлов AST, что позволяет использовать LLM
        как продвинутую систему диагностики в среде разработки.
\end{itemize}
```

\paragraph{Нейросимволический поиск в пространстве программ} В задачах автоматического синтеза программ (Program Synthesis) гибридный подход позволяет преодолеть проблему комбинаторного взрыва в широких пространствах поиска.

```
\begin{itemize}
    \item \textit{LLM как эвристическая функция}: Модель выступает в роли
        генератора гипотез (proposals), предлагая наиболее вероятные
        последовательности операторов DSL, соответствующие заданным примерам
        ввода- \autoref{src:LLM_LIT_42}.
    \item \textit{Символьная верификация}: Предложенные LLM конструкции
        используются для направления точных методов поиска например(, A* или DFS),
        которые отсекают невалидные ветви с использованием формальных методов
        проверки.
    \item \textit{Эффективность}: Нейросимволическая- архитектура
        демонстрирует превосходство над чистыми LLM в задачах, требующих точных
        вычислений (ARC, FlashFill), обеспечивая при этом гибкость в выборе
        стратегий синтеза.
\end{itemize}
```

## 1.4 Генерации разработка программного обеспечения

**Подготовка артефактов** Для начала я использовал наработки из 3-ей лабораторной работы. Промт 4 - *Генерация USE-CASE*. Полный лог находится в лабораторной 3. Кроме того, использовались наработки из лабораторной 5, где был сгенерирован UI для инструмента. (Его цепочку промтов не стал вставлять в папку отчета).

После чего сгенерировав промт *Генерация главы программной реализации*. Отправил его модели Gemini Researcher, с опорой на описанные артефакты.

План модели

- (1) Compose the 'Major Use Scenarios' section using 'Lab3.tex' to define the workflows for Creator, TargetUser, and StrongCreator, emphasizing the seamless transition in the Unified Executable Parsing Environment (UEPE).
- (2) Draft the 'Application Architecture' section by describing the modular pipeline (Tokenizer, CSTCreator, AST Translator) behind abstract interfaces. Since 'parse.py' is not provided, conceptually describe 'GrammarObject' as the core entity holding rules and terminals derived from the language structure found in 'test.txt'.
- (3) Expand the Architecture section to detail the Hot Reload mechanism, specifically how it monitors changes and spawns new isolated Docker container instances for the backend while keeping the UI container separate (Localhost execution).
- (4) Write the 'User Interface' section based on 'Lab5.tex', describing the 'Language Workbench' layout with the four specified zones (Meta-modeling, Target coding, Visualization, Diagnostics).
- (5) Create the 'Example Target Language Grammar' section. Reconstruct a plausible EBNF grammar (simulating 'pseco.rbnf') that would successfully parse the code found in 'test.txt' (WHILE/IF logic) and format it as a LaTeX listing.
- (6) In the Grammar section, write the descriptive text for a generated Parse Tree (referencing the 'Grammar' rule) and the text introducing the Visitor pattern implementation for that rule.
- (7) Write the 'Example Target Language Programs' section by including the content of 'test.txt' as a LaTeX code listing, followed by a description of its corresponding visual parse tree.

Ответ модели представлен в папке протоколы *Разработка UEPE\_ Технический Отчет.pdf*.

#### 1.4.1 Генерация дополнительных артефактов и уточнения

Затем, в рамках полученного текста, делал уточняющие промты *Уточнение для разработки программного обеспечения*

## Ответы модели после уточнений

Ниже представлен фрагмент документа, оформленный в формате \LaTeX, на основе предоставленного технического отчета.

Extrait de code

```
\subsection{Архитектура приложения}
```

Архитектура DslTools спроектирована как модульная система с слабой связностью (loose coupling), что является необходимым условием для реализации требований расширенной модификации ядра (Strong Creator) и работы механизма Hot Reload. В основе архитектуры лежит паттерн «Конвейер» (Pipeline), где каждый этап обработки данных инкапсулирован в отдельный компонент, скрытый за абстрактным интерфейсом.

```
\subsubsection{Модульная структура и абстракция конвейера}
```

Каждый модуль конвейера определяется через абстрактный контракт интерфейс(), что позволяет производить бесшовную подмену алгоритмов:

```
\begin{itemize}
    \item \textbf{Лексический}{ анализ (ITokenizer):} Преобразует поток символов в поток токенов. Реализация по умолчанию (\texttt{RegexTokenizer}) использует скомпилированные регулярные выражения из блока \texttt{TERMINALS}.
    \item \textbf{Синтаксический}{ анализ (IParser):} Преобразует поток токенов в Конкретное Синтаксическое Дерево (CST), проверяя соответствие структуре правил (\texttt{RULES}).
    \item \textbf{Семантический}{ анализ и трансляция (IASTBuilder):} Очищает CST от синтаксического шума и формирует Абстрактное Синтаксическое Дерево (AST), пригодное для исполнения паттерном \textit{Visitor}.
\end{itemize}
```

```
\subsubsection{Описание грамматики. Объект GrammarObject}
```

Центральным элементом, связывающим декларативное описание языка с исполняемым кодом, является \texttt{GrammarObject}. Это активная сущность, которая инкапсулирует:

```
\begin{itemize}
```

```
\item \textbf{Словарь}{ терминалов:} Отображение имен токенов на скомпилированные объекты регулярных выражений (\texttt{re.compile}), что критично для производительности.
\item \textbf{Граф}{ правил:} Направленный граф, позволяющий выявлять левую рекурсию и недостижимые правила на этапе инициализации.
\item \textbf{Метаданные}{:} Версия языка, имя модуля и настройки генерации, извлекаемые из \texttt{METABLOCK}.
\end{itemize}
```

Система обеспечивает атомарность изменений: при редактировании EBNF старый объект не модифицируется, а заменяется новым, что исключает нахождение системы в несогласованном состоянии.

#### \subsubsection{Механизм Hot Reload}

Реализация Hot Reload в UEPE включает следующие этапы:

```
\begin{enumerate}
\item \textbf{Watchdog:} Фоновый сервис отслеживает изменения в файлах проекта.
\item \textbf{Debounce:} Таймер «дребезга» предотвращает избыточные пересборки при частых сохранениях.
\item \textbf{Атомарная}{ подмена:} Глобальный указатель на активный интерпретатор блокируется мьютексом, после чего ссылка подменяется на новый инстанс Pipeline, а старый объект помечается для сборки мусора.
\end{enumerate}
```

#### \subsubsection{Стратегия инстанцирования и чистота состояния}

В системе принята стратегия \textit{Isolated Re-instantiation} изолированное (пересоздание). При каждом событии перезагрузки происходит полный сброс контекста исполнения:

```
\begin{itemize}
\item \textbf{Память}{:} Все переменные предыдущей сессии уничтожаются.
\item \textbf{Visitor:} Инстанс обходчика дерева создается заново.
\end{itemize}
```

Это гарантирует, что побочные эффекты от выполнения кода на старой версии грамматики не повлияют на поведение системы после обновления.

#### \subsubsection{Контейнеризация и инфраструктура}

Для обеспечения безопасности и переносимости DslTools развертывается с использованием Docker и разделена на независимые сервисы:

```

\begin{itemize}
    \item \textbf{UI Container:} Содержит статику вебинтерфейса- и сервер Nginx . Изолирован от логики исполнения, поэтому падение ядра не влияет на доступность интерфейса.
    \item \textbf{Core Container (Backend):} Содержит среду выполнения, библиотеки парсинга и механизмы Hot Reload.
    \item \textbf{Communication:} Взаимодействие между компонентами осуществляется через REST API или WebSocket для потоковой передачи логов.
\end{itemize}

Хотите, чтобы я аналогичным образом оформил раздел 4.4. Пользовательский интерфейс или подготовил описание лизинга грамматики в формате listings для LaTeX?

```

Продолжаю оформление документа в формате *\LaTeX*, включая разделы о пользовательском интерфейсе и примере реализации грамматики.

*Extrait de code*

```
\subsection{Пользовательский интерфейс}
```

[*cite\_start*Пользовательский] интерфейс (UI) *DslTools* реализован в парадигме «Language »Workbench, что подразумевает интеграцию инструментов определения языка и инструментов его использования в едином рабочем пространстве[*cite: 102*]. [*cite\_start*Визуальный] дизайн адаптирует принципы Microsoft ScriptBook для задач языкового инжиниринга, фокусируясь на одновременном отображении структуры грамматики и поведения программы[*cite: 103, 104*]. Интерфейс разделен на четыре функциональные зоны:

```

\begin{enumerate}
    [cite_start]\item \textbf{Панель метамоделирования-:} Специализированный редактор для актора \textit{Creator}[cite: 105, 106]. [cite_start Обеспечивает] подсветку синтаксиса метаязыка- (TERMINALS, RULES), автодополнение и валидацию EBNF в реальном времени[cite: 107]. [cite_start Каждое] сохранение инициирует обновление \textit{GrammarObject} на стороне Backend[cite: 108] .
    [cite_start]\item \textbf{Панель прикладного программирования:} Зона работы актора \textit{TargetUser}[cite: 109, 110]. [cite_startКлючевой] особенностью является динамическая подсветка синтаксиса: она генерируется на основе текущих метаданных \textit{GrammarObject}[cite: 111]. [cite_start Например], добавление нового ключевого слова в грамматику мгновенно активирует его подсветку в редакторе без перезагрузки страницы[cite: 112] .

```

[cite\_start]\item \textbf{Интерактивное} окно визуализации: Полнценный холст для отображения CST/AST с использованием библиотек графовой визуализации например(, D3.js)[cite: 113, 114, 115]. [cite\_startРеализован] механизм \textit{bi-directional mapping}: клик по узлу дерева подсвечивает соответствующий участок кода в редакторе[cite: 116].

[cite\_start]\item \textbf{Панель} диагностических сообщений и логов: Консолидированная зона вывода, включающая вкладки «Build ошибки( компиляции грамматики), «Run вывод( исполняемой программы) и «System состояние( контейнеров и логи Hot Reload)[cite: 118, 120, 121, 122].

\end{enumerate}

\subsection{Пример задания грамматики целевого языка}

[cite\_startДля] демонстрации возможностей системы реализована грамматика императивного языка, поддерживающего арифметические операции и управляющие конструкции для алгоритма Евклида[cite: 124].

\subsubsection{Листинг грамматики (EBNF)}

[cite\_startОписание] структуры программы, циклов и условий соответствует спецификации \texttt{pseco.rbnf}[cite: 125, 127]:

```
\begin{lstlisting}[language=Python, captionГрамматика=
SimpleAlgorithmicLanguage]
GRAMMAR SimpleAlgorithmicLanguage {
    TERMINALS {
        NAME    ::= /[a-zA-Z][a-zA-Z0-9_]*/ ;
        NUMBER ::= /[0-9]+/ ;
        WS      ::= /\s+/ [skip] ;
    }
    KEYS {
        "WHILE", "DO", "END WHILE",
        "IF", "THEN", "ELSE", "END IF",
        "gets", "neq", "gt", "mod"
    }
    RULES {
        Program      ::= StatementList ;
        StatementList ::= { Statement } ;
        Statement    ::= ( Assignment | Loop | Conditional ) ;
        Assignment   ::= NAME "gets" Expression ;
        Loop         ::= "WHILE" Condition "DO" StatementList "END WHILE" ;
        Conditional  ::= "IF" Condition "THEN" StatementList "END IF" ;
    }
}
```

```

Condition      ::= Expression ( "neq" | "gt" ) Expression ;
Expression     ::= Term { "mod" Term } ;
Term          ::= NAME | NUMBER ;
}
AXIOM : Program ;
}

[cite_start]\end{lstlisting} [cite: 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136,
137, 138, 139]

```

#### \subsubsection{Использование паттерна Visitor}

[cite\_start] для отделения алгоритма исполнения от структуры дерева используется паттерн \textit{Visitor} [cite: 156, 157]. [cite\_start] этого позволяет изменять семантику языка без перенастройки парсера [cite: 158]. [cite\_start] При обходе узла \textit{LoopNode} интерпретатор рекурсивно вычисляет условие и выполняет тело цикла до тех пор, пока оно истинно, игнорируя синтаксические токены (WHILE, DO) [cite: 159, 160, 161, 162, 163].

```

\begin{lstlisting}[language=Python, caption=Реализация Visitor для цикла
WHILE]
class InterpreterVisitor(NodeVisitor):
def visit_LoopNode(self, node):
condition_node = node.children['Condition']
body_node = node.children['StatementList']

while self.visit(condition_node):
self.visit(body_node)

```

[cite\_start]\end{lstlisting} [cite: 166, 167]

#### \subsection{Архитектура приложения}

Архитектура DslTools спроектирована как модульная система со слабой связностью (loose coupling), что является необходимым условием для реализации требований экспертной модификации ядра и бесперебойной работы механизма Hot Reload. В основе архитектуры лежит паттерн «Конвейер» (Pipeline), где каждый этап обработки данных инкапсулирован в отдельный компонент, скрытый за абстрактным интерфейсом.

#### \subsubsection{Модульная структура и абстракция конвейера}

Каждый этап обработки кода определяется не конкретной реализацией, а контрактом интерфейсом(), что позволяет гибко заменять алгоритмы:

```
\begin{itemize}
    \item \textbf{Лексический}{ анализ (ITokenizer):} Преобразует поток символов в поток токенов. Реализация по умолчанию (\texttt{RegexTokenizer}) использует скомпилированные регулярные выражения из блока \texttt{TERMINALS} } грамматики.
    \item \textbf{Синтаксический}{ анализ (IParser):} Преобразует поток токенов в Конкретное Синтаксическое Дерево (CST), проверяя соответствие структуре правил (\texttt{RULES}). Используется динамический парсер, конфигурируемый объектом грамматики на лету.
    \item \textbf{Семантический}{ анализ и трансляция (IASTBuilder):} Очищает CST от синтаксического шума и формирует Абстрактное Синтаксическое Дерево (AST ), пригодное для исполнения паттерном \textit{Visitor}.
\end{itemize}

\subsubsection{Объект GrammarObject}
```

Центральным элементом, связывающим декларативное описание языка с исполняемым кодом, является \texttt{GrammarObject}. Он инкапсулирует словарь терминалов скомпилированные( регулярные выражения), граф правил для выявления рекурсий и метаданные из \texttt{METABLOCK}. При изменении грамматики система создает новый экземпляр \texttt{GrammarObject}, что обеспечивает атомарность изменений.

#### \subsubsection{Механизм Hot Reload}

Реализация горячей перезагрузки позволяет обновлять среду выполнения без остановки сессии:

```
\begin{enumerate}
    \item \textbf{Отслеживание}{:} Фоновый сервис детектирует изменения в файлах проекта.
    \item \textbf{Пересборка}{:} Система парсит новую грамматику и подготавливает новый инстанс Pipeline.
    \item \textbf{Атомарная}{ подмена:} Глобальный указатель на интерпретатор блокируется мьютексом и переключается на новый инстанс.
\end{enumerate}
```

При каждом событии перезагрузки применяется стратегия \textit{Isolated Re-instantiation}: происходит полный сброс контекста исполнения, уничтожение переменных в памяти и пересоздание инстанса \textit{Visitor}, что

гарантирует чистоту состояния.

#### \subsubsection{Контейнеризация и инфраструктура}

Система развертывается с помощью Docker и разделена на независимые сервисы:

```
\begin{itemize}
\item \textbf{UI Container:} Содержит статику вебинтерфейса- и вебсервер-  
Nginx.
```

```
\item \textbf{Core Container (Backend):} Содержит среду выполнения,  
библиотеки парсинга и механизмы Hot Reload.
```

```
\end{itemize}
```

Взаимодействие между компонентами происходит через REST API или WebSocket,  
что позволяет разносить их на разные машины.

#### \subsection{Пользовательский интерфейс}

Интерфейс реализован в парадигме «Language »Workbench, объединяя инструменты  
разработки и использования языка в едином пространстве. Дизайн разделен на  
четыре зоны:

```
\begin{itemize}
\item \textbf{Панель метамоделирования:} Редактор кода для EBNF с  
подсветкой синтаксиса и валидацией правил в реальном времени.
\item \textbf{Панель прикладного программирования:} Редактор для написания  
кода на целевом DSL с динамической подсветкой синтаксиса, генерируемой на  
основе текущей грамматики.
\item \textbf{Окно визуализации:} Интерактивный холст для отображения CST/  
AST и графов правил с поддержкой двустороннего маппинга клик( по узлу  
подсвечивает код).
\item \textbf{Панель диагностики:} Вкладки для вывода логов сборки,  
результатов выполнения программы и системных сообщений.
\end{itemize}
```

#### \subsection{Пример задания грамматики целевого языка}

Для демонстрации используется грамматика императивного языка для реализации  
алгоритма Евклида.

```
\begin{lstlisting}[language=Python, caption=Листинг грамматики  
SimpleAlgorithmicLanguage]
GRAMMAR SimpleAlgorithmicLanguage {
    TERMINALS {
```

```

NAME      ::= /[a-zA-Z_][a-zA-Z0-9_]* / ;
NUMBER    ::= /[0-9]+ / ;
WS        ::= /\s+/ [skip] ;
}

KEYS {
    "WHILE", "DO", "END WHILE",
    "IF", "THEN", "ELSE", "END IF",
    "gets", "neq", "gt", "mod"
}

RULES {
    Program      ::= StatementList ;
    StatementList ::= { Statement } ;
    Statement     ::= ( Assignment | Loop | Conditional ) ;
    Assignment    ::= NAME "gets" Expression ;
    Loop          ::= "WHILE" Condition "DO" StatementList "END WHILE" ;
    Conditional   ::= "IF" Condition "THEN" StatementList "END IF" ;
    Condition     ::= Expression ( "neq" | "gt" ) Expression ;
    Expression    ::= Term { "mod" Term } ;
    Term          ::= NAME | NUMBER ;
}

AXIOM : Program ;
}

\end{lstlisting}

```

#### \subsection{Примеры программ на целевом языке}

Ниже приведен код алгоритма Евклида для нахождения НОД, адаптированный под ASCII символы- редактора:

```

\begin{lstlisting}[caption=Тестовая программа на DSL]
WHILE a neq 0 DO
  IF a gt b THEN
    a gets a mod b
  ELSE
    b gets b mod a
  END_IF
END WHILE
\end{lstlisting}

```

После обработки данного кода в окне визуализации отображается AST, очищенное от синтаксического шума ключевых( слов DO, THEN), оставляя только смысловые узлы: \texttt{Loop}, \texttt{Condition}, \texttt{Assignment}.

На данный момент были сделаны наброски для примеров грамматик, которые поступают на вход, однако хотелось также сгенерировать пример семантических хендлеров.

Это сделал с использованием промта *Генерация семантических хендлеров*

#### План действий после промта

- (1) Проанализировать файл ‘Report.pdf’ стр(. 14-16) для выделения структуры AST целевого языка PSECO узлы(: Program, Loop, Conditional, Assignment, Expression).
- (2) Изучить файл ‘rbnfgo.py’ для понимания используемого в проекте стиля реализации Visitor разделение( логики обхода и данных, использование Eval классов- или единого классапосетителя-).
- (3) На основе ‘test.txt’ алгоритм( Евклида) определить необходимые маппинги операторов DSL в LaTeX например(, ‘gets’ -> ‘\leftarrow’, ‘neq’ -> ‘eq’, ‘WHILE’ -> ‘\textbf{while}’).
- (4) Синтезировать Pythonкод- класса ‘TexGeneratorVisitor’ или( набора классов по аналогии с ‘rbnfgo.py’), который реализует методы посещения (visit) для узлов ‘Loop’, ‘Conditional’, ‘Assignment’.
- (5) Реализовать логику трансляции, где метод ‘visit’ принимает узел AST и возвращает строку LaTeX.
- (6) Подготовить текстовое описание работы этого Визитера, объясняя, как он рекурсивно обходит дерево ссылаясь( на ‘ast.py’ как базу данных) и собирает итоговый отчет.
- (7) Показать итоговый результат генерации фрагмент( LaTeX кода), соответствующий входному файлу ‘test.txt’.

Внес изменения в план

#### Изменения

4 - набор классов

7 - нужно вывести в формате .tex с использованием

\begin{tcblisting}{}

```

breakable,

colback=gray!5,

colframe=gray!50,

fontupper=\ttfamily\small,

titleОписание= грамматики PSECO,

listing only,

% ИСПРАВЛЕННЫЕ КЛЮЧИ:

halign=left,           % Выравнивание содержимого бокса влево

left=0mm,              % Отступ от левой границы рамки до текста

sharp corners,         % Опционально: делает углы острыми для более
кодерского"" вида

listing options={

  breaklines=true,

  breakatwhitespace=false,

  basicstyle=\ttfamily\small,

  columns=fullflexible,

  keepspaces=true,

  extendedchars=false,

  xleftmargin=0pt,      % Убирает отступ самого окружения listings

  tabsize=2             % Размер табуляции

}

```

}

Именно сам код визитеров

## Изменения

- (1) Проанализировать грамматику PSECO из ‘Report.pdf’ и структуру AST узлы( Program, Loop, Conditional, Assignment, Expression) для определения необходимых классов обработчиков- .
- (2) Разработать архитектуру Визитора как набора классов или( функций хендлеров-, связанных через диспетчер), где каждый класс отвечает за генерацию LaTeХ кода- для своего типа узла AST, используя стиль ‘rbnfgo. py’.
- (3) Реализовать логику трансляции операторов из ‘test.txt’ (gets, neq, gt, mod) в команды LaTeХ (\leftarrow, eq, >, \bmod).
- (4) Сгенерировать итоговый Python код-, включающий базовый интерфейс и конкретные реализации для узлов (‘WhileNode’, ‘IfNode’, ‘AssignNode’ и тд..).
- (5) Оформить вывод сгенерированного кода в требуемый блок ‘\begin{tcblisting}’ с указанными настройками ‘colback=gray!5’, ‘breaklines=true’ и другими параметрами.

Ответ модели - *Генерация Визиторов PSECO в LaTeX.pdf*. В данном случае пришлось ещё править код, отдельными запросами их лог приводить не буду.

Затем я хотел добавить секцию с анализом открытых LLM ответ модели представлен в протоколах *Открытые LLM для генерации Python.pdf*. На основе данного анализа оформил секцию сравнения с помощью промтa *Генерация сравнения по LLM*.

## Сравнение LLM + примеры промтов

\subsection{Модуль автоматической генерации семантических обработчиков}

Выбор базовой большой языковой модели (LLM) является определяющим архитектурным решением при создании инструментов автоматизированной разработки DSL. Анализ актуальных открытых решений на -20242025 годы показывает, что современные модели практически сравнялись по качеству генерации кода с проприетарными системами, демонстрируя точность на уровне

-7080\% в специализированных тестах.

Для реализации системы DslTools был выбран гибридный подход, сочетающий возможности облачных и локальных вычислений. В качестве основной внешней модели для сложных задач синтеза и трансляции требований выбран DeepSeek API модели( Coder V2/V3), обладающий развитыми способностями к рассуждению и пониманию контекста репозитория. Для обеспечения оперативной локальной разработки и высокой скорости инференса без обращения к сети выбрана модель семейства Qwen2.5-Coder в( вариациях 7B или 32B), которая показывает наилучшее соотношение производительности и требований к видеопамяти.

Сравнительные характеристики моделей, послужившие обоснованием для их выбора, приведены в таблице 2.

```
\begin{table}[h!]
\centering
\caption{Рекомендованные модели для генерации инфраструктуры DSL}
\label{table:llm_selection}
\begin{tabular}{|p{3.5cm}|p{3.5cm}|c|p{4cm}|}
\hline
\textbf{Сценарий} & \textbf{Модель} & \textbf{Размер} & \textbf{Комментарий} \\
\hline
Максимальное качество & DeepSeek-Coder-V2 & 236B & Высочайший уровень интеллекта, подходит для сложных иерархий. \\
Баланс ресурсов & Qwen2.5-Coder-32B & 32B & Оптимальный выбор для работы на одной мощной видеокарте. \\
Локальная работа & Qwen2.5-Coder-7B & 7B & Работает на мобильных устройствах с высокой скоростью. \\
Юридическая чистота & StarCoder2-15B & 15B & Обучена исключительно на лицензионно чистом коде. \\
\end{tabular}
\end{table}

\subsubsection{Примеры промптов для генерации семантических обработчиков}

Для автоматизации написания наиболее трудоемкой части интерпретатора - логики обхода дерева (Visitor) - в системе DslTools используется генерация кода на основе шаблонов. Ниже представлены примеры промптов, позволяющие моделям генерировать методы для классов обработчиков-.

\paragraph{Промпт для операции присваивания (Assignment)}
```

```

\begin{quote}
\textrit{Сгенерируй} код на Python для класса AssignmentEval, реализующего
интерфейс IAttrEval. Входное правило грамматики: Assignment ::= Variable ,
gets' Expression. Семантика: необходимо извлечь левую часть (Variable) из
первого ребенка и правую часть (Expression) из третьего ребенка. Результат
должен возвращать строку LaTeX в формате \State \$[lhs] \gets [rhs]\$.
\end{quote}

\paragraph{Промпт для циклов (Loop)}
\begin{quote}
\textrit{Сгенерируй} метод \_\_call\_\_ для визитора LoopEval. Правило: ,
WHILE' Expression 'DO' Block 'END\_WHILE'. Инструкция: рекурсивно вычисли
значение условия и тела блока. Оформи результат как окружение \While{...}
для пакета algorithmic, обеспечив корректный перенос строки для
содержимого блока}.
\end{quote}

```

Такой подход позволяет разработчику DSL фокусироваться на проектировании синтаксиса, делегируя написание шаблонного кода (boilerplate) искусственному интеллекту, сохраняя при этом детерминированную структуру программы.

## 1.5 Генерация сравнительного анализа и выводов

С помощью Gemini Researcher сгенерировал *Написание сравнительного анализа и заключения.pdf*, на основе которого используя промт *Генерация сравнительного анализа и выводов*

### Генерация сравнительного анализа и выводов

Файл chapters.tex

Extrait de code

```
\section{Сравнительный анализ}
```

В данном разделе проводится сопоставление системы DslTools с промышленными стандартами и альтернативными подходами к проектированию языков. Анализ базируется на трех парадигмах: проекционной (JetBrains MPS), парсерной (Eclipse Xtext) и генеративной (Pure LLM).

\subsection{Критерии и методология оценки}

Для сравнения выбраны следующие метрики:

```
\begin{itemize}
```

\item \textbf{Порог вхождения:} сложность освоения метаязыков- и API фреймворка.

\item \textbf{Скорость} времени от изменения грамматики до возможности исполнения кода цикл( Edit-Run).

\item \textbf{Детерминированность}{}{:} гарантия синтаксической корректности генерируемых артефактов.

\item \textbf{Ресурсоемкость}{}: требования к вычислительным мощностям и программной инфраструктуре.

```
\end{itemize}
```

#### \subsection{Сопоставление подходов}

`\textbf{JetBrains MPS}` обеспечивает высокую гибкость за счет работы напрямую с AST, что исключает ошибки парсинга. Однако система требует значительных ресурсов и глубокого обучения специфическим концепциям моделирования.

\textbf{Eclipse Xtext} предлагает стандартный текстовый подход, удобный для интеграции с системами контроля версий. Главным ограничением является необходимость полной перегенерации и компиляции парсера при каждом изменении грамматики, что замедляет прототипирование.

\textbf{Генеративный} подход (Pure LLM) минимизирует порог входления, но не обладает детерминизмом. Вероятностная природа моделей приводит к синтаксическим галлюцинациям, что делает невозможным их использование как самостоятельных парсеров в инженерных задачах.

#### \subsection{Результаты оценки DslTools}

Система DslTools реализует гибридную модель: детерминированный парсер на базе интерпретируемой грамматики сочетается с интеллектуальной генерацией семантических обработчиков (Visitor). Это позволяет достичь мгновенной обратной связи через механизм Hot Reload. Сводные данные приведены в таблице 3.

```
\begin{table}[h!]
```

\centering

\caption{Сравнительный анализ инструментов разработки DSL}

```
\label{table:comparison_dsl}
```

```
\begin{tabular}{|l|l|l|l|}
```

\hline

```

\textbf{Критерий}{} & \textbf{JetBrains MPS} & \textbf{Eclipse Xtext} & \
\textbf{DslTools} \\ \hline
Парадигма & Проекционная & Парсерная & Гибридная \\ \hline
Реализация семантики & Ручная (Java) & Ручная (Xtend) & Автоматическая ( \
LLM) \\ \hline
Цикл Edit-Run & Средний & Медленный & Мгновенный \\ \hline
Порог вхождения & Высокий & Средний & Низкий \\ \hline
Гарантия синтаксиса & 100\% & 100\% & 100\% \\ \hline
\end{tabular}
\end{table}

```

## \section{Заключение{}}

В работе представлен программный комплекс DslTools, реализующий концепцию Unified Executable Parsing Environment (UEPE). В ходе исследования подтверждена гипотеза о возможности ускорения разработки интерпретаторов DSL за счет интеграции LLM в процесс генерации кода обхода деревьев разбора.

```

\subsection{Итоги{ работы}}
\begin{itemize}
\item Реализована модель \texttt{GrammarObject}, поддерживающая
динамическое обновление правил языка «на лету» без пересборки системы.
\item Формализован алгоритм синтеза Visitorхендлеров- на языке Python с
использованием контекстных подсказок для LLM.
\item Создан рабочий прототип среды исполнения (Language Workbench) в
контейнеризированном виде.
\end{itemize}
\end{pre>

```

## \subsection{Перспективы{ развития}}

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на количественной оценке влияния пользовательских аннотаций на точность генерации семантики метрика( Unparsed Rate). Также планируется внедрение локальных квантованных моделей семейства Qwen2.5 для обеспечения полной автономности среды и снижения задержек при генерации кода.

Файл references.bib

Extrait de code

```

@article{prokopic2023,
author = {Prokopic, Martin},
title = {Architecture and Implementation of DSL Interpreters},
journal = {CTU Prague},
year = {2023}

```

```
}

@article{voelter2024,
  author = {Voelter, Markus},
  title = {Supporting Meta-model-based Language Evolution and Rapid
Prototyping},
  journal = {arXiv},
  year = {2024},
  url = {https://arxiv.org/html/2401.17351v1}
}

@article{syncode2024,
  title = {Grammar-Constrained Decoding for Large Language Models},
  journal = {arXiv},
  year = {2024},
  url = {https://arxiv.org/pdf/2404.05}
}

@online{mps_concepts,
  author = {JetBrains},
  title = {MPS Platform Concepts},
  url = {https://www.jetbrains.com/mps/concepts/},
  year = {2025}
}

@article{comparison_editors_2022,
  title = {Experimental Comparison of Editor Types for Domain-Specific
Languages},
  journal = {Applied Sciences},
  year = {2022},
  url = {https://www.mdpi.com/2076-3417/12/19/9893}
}
```

Следующий шаг: Хотите, чтобы я подготовил финальный титульный лист или оформил список всех сокращений (CST, AST, UPE) для вашего отчета?

## 1.6 Генерация аннотации

### Генерация аннотации

Ниже представлена аннотация к загруженной работе, подготовленная в соответствии с вашими требованиями.

#### Аннотация

Исследование посвящено автоматизации проектирования инструментария для предметноориентированных- языков (Domain-Specific Languages, DSL). Цель работы заключается в создании метода генерации интерпретаторов, минимизирующего ручное написание программного кода для реализации семантики. Автором предложен гибридный подход, объединяющий детерминированный синтаксический анализ с возможностями больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) для формирования семантических обработчиков на базе паттерна Visitor. Оригинальность метода состоит в использовании контекстных подсказок внутри грамматических правил для управления синтезом логики обхода деревьев разбора.

Результатом исследования стала программная среда DslTools, поддерживающая концепцию единого исполняемого окружения (Unified Executable Parsing Environment, UEPE) с механизмом «горячего» обновления грамматик. Разработанный инструментарий позволяет значительно ускорить прототипирование специализированных языков и снизить требования к квалификации разработчиков в области теории компиляторов. Интеграция LLM в процесс генерации кода признана эффективным средством автоматизации рутинных операций при сохранении строгого контроля над структурой данных.

Хотите ли вы, чтобы я составил на основе этого текста список ключевых слов или подготовил краткий планпоспект- для презентации данной работы?

Затем, аннотация была переведена с помощью промта

### Генерация abstract

Как профессиональный лингвистпереводчик-, я провел анализ предоставленного

текста аннотации, который резюмирует основные положения вашей научной работы.

#### Анализ текста

Тематическая область: Информационные технологии (IT), программная инженерия, теория компиляторов и системное программирование. Текст сфокусирован на разработке предметноориентированных- языков (DSL) и применении искусственного интеллекта (LLM) в автоматизации программирования.

Стиль и тон: Научный, строго официальный. Текст характеризуется использованием безличных конструкций «исследование( посвящено», «целью является», «автором предложен»), логической связностью и объективностью изложения.

#### Ключевая терминология и сложности:

Предметноориентированные- языки (DSL) - стандартный термин.

Детерминированный синтаксический анализ (Deterministic parsing) - технический термин, требующий точности.

Паттерн Visitor - общепринятое название шаблона проектирования.

Контекстные подсказки (Contextual prompts) - в данном контексте относятся к «промптинжириングу»- .

Единое исполняемое окружение (Unified Executable Parsing Environment, UEPE)  
– авторский термин, определяющий архитектуру системы.

«Горячее» обновление (Hot Reload) – технический сленг, ставший нормой в ИТ.

Ключевые слова: DSL, LLM, автоматизация, интерпретатор, синтаксический анализ, семантика, DslTools, UEPE, паттерн Visitor, прототипирование.

Перевод на английский язык

#### Abstract

This research focuses on automating the development of tooling for Domain-Specific Languages (DSLs). The study aims to develop a method for generating interpreters that minimizes manual coding for implementing language semantics. The author proposes a hybrid approach, integrating deterministic syntactic analysis with the capabilities of Large Language Models (LLMs) to create semantic handlers based on the Visitor pattern. The method's novelty lies in utilizing contextual prompts embedded within grammar rules to direct the synthesis of parse tree traversal logic.

The study resulted in the DslTools software environment, which supports the Unified Executable Parsing Environment (UEPE) concept and features a "hot reload" mechanism for grammars. The developed toolkit significantly accelerates the prototyping of specialized languages and reduces the expertise required in compiler theory. The integration of LLMs into the code generation process is demonstrated to be an effective means of automating routine operations while maintaining strict control over data structures.

Сноски и пояснения:

Domain-Specific Languages (DSL): Общепринятый эквивалент «предметноориентированных- языков».

Unified Executable Parsing Environment (UEPE): Авторская аббревиатура сохранена согласно оригиналу.

Hot reload: Стандартный технический термин для обозначения обновления программы без её перезапуска; наиболее точно передает смысл «горячего обновления» в контексте сред разработки.

Semantic handlers: Эквивалент «семантических обработчиков» в контексте реализации логики интерпретатора.

Добавил в промте *Уточнения по ключевым словам*

## Уточнения по ключевым словам

```
\section{Аннотация*{}}  
\textit{Количество{ слов: 126}}
```

Исследование посвящено автоматизации проектирования инструментария для предметноориентированных- языков [cite: 204, 231]. Цель работы заключается в создании метода генерации интерпретаторов, минимизирующего ручное написание программного кода для реализации семантики [cite: 205, 224]. Автором предложен гибридный подход, объединяющий детерминированный синтаксический анализ с возможностями больших языковых моделей для формирования семантических обработчиков на базе паттерна Visitor [cite: 206, 287]. Оригинальность метода состоит в использовании контекстных подсказок внутри грамматических правил для управления синтезом логики обхода деревьев разбора [cite: 235, 236].

Результатом исследования стала программная среда DslTools, поддерживающая концепцию единого исполняемого окружения с механизмом «горячего» обновления грамматик [cite: 207, 218]. Разработанный инструментарий позволяет значительно ускорить прототипирование специализированных языков

и снизить требования к квалификации разработчиков в области теории компиляторов [cite: 208, 239]. Интеграция LLM в процесс генерации кода признана эффективным средством автоматизации рутинных операций при сохранении строгого контроля над структурой данных [cite: 237, 879].

\textbf{Ключевые слова:} DSL, LLM, UEPE, HOT RELOAD, AST, VISITOR PATTERN, AI GENERATION.

\vspace{2em}

```
% --- Abstract на английском языке ---
\section*{Abstract}
\textit{Word count: 129}
```

This research focuses on automating the development of tooling for Domain-Specific Languages [cite: 204, 231]. The study aims to develop a method for generating interpreters that minimizes manual coding for implementing language semantics [cite: 205, 224]. The author proposes a hybrid approach, integrating deterministic syntactic analysis with the capabilities of Large Language Models to create semantic handlers based on the Visitor pattern [cite: 206, 287]. The 'methods novelty lies in utilizing contextual prompts embedded within grammar rules to direct the synthesis of parse tree traversal logic [cite: 235, 236].

The study resulted in the DslTools software environment, which supports the Unified Executable Parsing Environment concept and features a "hot reload" mechanism for grammars [cite: 207, 218]. The developed toolkit significantly accelerates the prototyping of specialized languages and reduces the expertise required in compiler theory [cite: 208, 239]. The integration of LLMs into the code generation process is demonstrated to be an effective means of automating routine operations while maintaining strict control over data structures [cite: 237, 879].

\textbf{Keywords:} DSL, LLM, UEPE, HOT RELOAD, AST, VISITOR PATTERN, AI GENERATION.

Технические пояснения к выбранным ключевым словам:

DSL (Domain-Specific Languages): Объект исследования.

LLM (Large Language Models): Инструмент генерации семантики.

UEPE (Unified Executable Parsing Environment): Архитектурная концепция среды.

HOT RELOAD: Механизм динамического обновления без перезапуска.

AST (Abstract Syntax Tree): Структура данных для исполнения кода.

VISITOR PATTERN: Шаблон проектирования для реализации обхода дерева.

AI GENERATION: Процесс автоматического создания кода обработчиков.

## 2 Выводы

В ходе работы над формированием черновика статьи была апробирована методика генерации артефактов с использованием каскада специализированных промтов. На основе полученного опыта можно сформулировать следующие выводы, рекомендации и предостережения.

**Общие положения:** Использование ИИ-инструментов для написания научных и технических текстов наиболее эффективно при переходе от простых запросов к созданию модульных систем. Основная ценность заключается в автоматизации рутинных этапов (сбор литературы, первичное описание программной реализации), что позволяет автору сосредоточиться на контроле логической связности и верификации данных.

**Рекомендации по организации процесса:** Для оптимизации написания статьи целесообразно использовать архитектуру специализированных агентов:

- **Агент обзора литературы:** рекомендуется разделение на два под-модуля — агент поиска (фильтрация источников) и агент синтеза (формирование связного текста на основе найденных материалов).
- **Агент программной реализации:** должен фокусироваться на техническом описании алгоритмов и листингов, используя в качестве контекста уже имеющиеся

рабочие артефакты.

- **Мета-агенты (финализаторы):** формируют введение, заключение и аннотацию только после готовности основных разделов, чтобы обеспечить соответствие этих частей итоговому содержанию работы.
- **Использование уточняющих цепочек:** при написании отдельных параграфов следует придерживаться тактики *Refinement Chains* (цепочки уточнений), прорабатывая каждый блок текста итеративно, а не пытаясь генерировать главу целиком.

#### **Типичные ошибки и ограничения:**

- **Избыточный объем генерации:** попытка получить большой массив текста за один запрос («написать всё сразу») неизбежно ведет к потере качества, логическим пропускам и галлюцинациям модели.
- **Отсутствие промежуточной модерации:** текст нейросетевых моделей требует обязательной ручной правки. Не рекомендуется переходить к генерации последующих разделов без верификации и корректировки текущих.
- **Контекстная изоляция:** игнорирование передачи артефактов (результатов работы предыдущих агентов) последующим звеньям приводит к нарушению целостности и противоречиям внутри текста.