

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»

На правах рукописи



Матюшечкин Дмитрий Сергеевич

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ТЕКСТОВОЙ И ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОММУНИКАЦИИ**

2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Орлова Юлия Александровна

Волгоград 2022г.

Оглавление

Введение.....	4
1 Анализ современного состояния вопроса в области альтернативных систем коммуникации для людей с речевыми нарушениями	14
1.1 Понятие альтернативной коммуникации	14
1.2 Язык жестов	14
1.3 Блиссимволика	15
1.4 Карточки с изображениями (пиктограммы).....	16
1.5 Анализ существующего программного обеспечения для работы с пиктограммами.....	17
1.6 Анализ существующих методов двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации	20
1.7 Объектная модель предметной области	23
1.8 Процессная модель предметной области.....	27
Выводы по первой главе.....	30
2 Разработка моделей и методов двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации	31
2.1 Описание метода обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм	32
2.2 Описание методов автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст (методы ПТ/П и ПТ/НТ).....	45
Выводы ко второй главе	69
3 Описание разработанных программных средств двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации.....	72
3.1 Требования к разрабатываемому программному обеспечению.....	72
3.2 Архитектура серверной части web-приложения на логическом уровне	75
Выводы по третьей главе.....	85

4 Тестирование разработанного web-приложения	86
4.1 Модульное тестирование системы.....	86
4.2 Тестирование web-приложения с участием разработчиков	87
4.3 Тестирование с участием людей с ограниченными возможностями .	89
Выводы к четвертой главе.....	90
Заключение	92
Список использованных источников	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт внедрения результатов данной работы в ГБСУ СО ОРЦДИ «Надежда» (г. Волжский)	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт внедрения результатов данной работы В МОУ ДЮЦ Волгограда	103
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке	104
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для педагогического обследования детей с расстройствами аутистического спектра	105
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Примеры шаблонов, сгенерированных на основе предложений	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Примеры текстовых корпусов для обучения нейронной сети.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Примеры перевода текстовых сообщений в последовательность пиктограмм	118

Введение

По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) [1] как в России, так и во всем мире ежегодно увеличивается количество людей с нарушениями речи, в частности с психофизическими отклонениями различной выраженности, вызывающими расстройства коммуникативной и познавательной функции речи. Люди с подобными ограничениями испытывают проблемы с использованием вербальной коммуникации, что приводит к уменьшению их социальной активности.

Для улучшения социальной адаптации людей с речевыми нарушениями используются альтернативные средства коммуникации, которые способны дополнить, а в некоторых случаях и полностью заменить вербальную речь. Использование данных средств помогает в обучении, развитии, общении, трудоустройстве и уходе за собой [2].

Существуют различные средства альтернативной коммуникации, такие как блиссимволика, язык жестов, счетные палочки или другие предметы для счета, карточки с изображениями (пиктограммы) и проч. Одним из наиболее эффективных альтернативных средств осуществления коммуникации являются пиктограммные сообщения. Для обмена информацией используются специальные карточки с изображениями (пиктограммами), которые заменяют слова. Из карточек составляются различные последовательности и формируются предложения, которые служат заменой речи. На сегодняшний день разработано большое количество таких карточек со специальным дизайном и цветовой гаммой для облегчения их использования [3].

Карточки можно использовать как в распечатанном, так и в электронном виде при помощи специальных приложений или веб-сервисов. Приложения для работы с пиктограммами позволяют хранить объемные банки карточек, сортировать их по различным категориям и составлять пиктограммные сообщения на экране, аналогично составлению таким сообщениям на магнитной доске или липкой ленте [4]. Также существуют автоматизированные средства-

переводчики пиктограммных сообщений, которые позволяют быстро преобразовать пиктограммное сообщение в текст и в обратном направлении для улучшения процесса коммуникации между людьми, использующими пиктограммы, и людьми, использующими вербальную коммуникацию. Подобные программы разработаны для различных пиктограммных нотаций и языков, однако на сегодняшний день не существует системы для преобразования пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке и в обратном направлении.

Разработка моделей, методов и программных средств, позволяющих автоматизировать преобразование текста в последовательность пиктограмм и обратно, может существенно облегчить общение между людьми с речевыми нарушениями и теми, кто использует устную речь.

Степень разработанности темы.

Был проведен анализ российских и зарубежных исследований в области альтернативной коммуникации и применения информационных технологий для этих целей. Созданию средств, облегчающих коммуникации людей с речевыми нарушениями, посвящены работы Карпова А.А., Набоковой Л.А., Vandeghinste V., Sevens L., Schuurman I. и других отечественных и зарубежных ученых.

В ряде отечественных разработок выполняется преобразование последовательности пиктограмм в последовательность инфинитивов на русском языке без согласования слов в предложении по правилам русского языка. Отсутствие такого согласования является важным недостатком для процесса обучения детей с задержками психического развития. При работе с пиктограммами это часто ведет к неграмотному использованию предложений, как в текстовом представлении, так и при их озвучивании.

В зарубежных проектах, где пиктограммы трансформируются в текст на английском, голландском или испанском языке, разработаны системы, которые обеспечивают согласование слов в предложении, но не позволяют расширять банк пиктограмм и словарь новыми концептами. В основе лежат эвристические правила языков, морфология которых значительно проще, чем в русском языке. Поэтому системы на иностранных языках не применимы для русскоязычных

пользователей, а используемые методы не применимы для преобразования пиктограмм в текст на русском языке.

Тем самым существует потребность в создании программных средств, которые позволяют автоматически преобразовывать текстовые сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм и в обратном направлении с учетом правил построения предложений в русском языке.

Объектом исследования в работе являются процессы визуальной и вербальной коммуникации текстовыми и пиктограммными сообщениями, в которой участвуют люди с речевыми нарушениями и без нарушений.

Предметом исследования являются модели, методы и средства, автоматизирующие двунаправленное преобразование текстовых и пиктограммных сообщений, для поддержки альтернативной коммуникации людей с речевыми нарушениями.

Целью работы является улучшение и облегчение общения людей с речевыми нарушениями за счет разработки моделей, методов, программных средств автоматической обработки текстовой и графической информации, обеспечивающих альтернативную коммуникацию.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести системный анализ процессов общения людей с ограниченными речевыми способностями при помощи пиктограмм, методов и средств альтернативной коммуникации и сформировать требования к разрабатываемым методам и средствам;

2. Разработать модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм, метод автоматической обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях PECS, Sclera, Beta.

3. Разработать модель предложения, учитывающую правила построения предложений на русском языке, метод автоматической трансформации

пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами.

4. Разработать метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера.

5. Разработать и провести апробацию алгоритмического и программного обеспечения двунаправленного преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм в виде кроссплатформенного web-приложения, реализующего предложенные методы.

Методология и методы диссертационного исследования.

Для решения поставленных задач были использованы методы системного анализа, обработки естественного языка (NLP), семантические технологии (Semantic Web) - методы организации лингвистических единиц в технологии WordNet, методы, основанные на использовании электронных тезаурусов и машинного обучения.

Научная новизна заключается в том, что впервые разработаны модели, методы и средства автоматического двунаправленного преобразования связного текста на русском языке и пиктограммных сообщений для общения людей с ментальными и речевыми нарушениями.

1. Разработаны новая модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков, модель предложения русского языка, которые позволяют эффективно обрабатывать текст и выполнять двунаправленное преобразование текстовых сообщений и пиктограмм с учётом правил построения предложений.

2. Разработан новый метод автоматической обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях Sclera, Beta, PECS, который позволяет в процессе преобразования заменять отсутствующие в пиктограммной нотации концепты, используя связь тезаурусов русского и английского языков.

3. Разработан новый метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст на основе экспертных данных, который позволяет сформировать согласованное предложение на русском языке, используя коллекции предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами.

4. Разработан новый метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст, который позволяет сформировать согласованное предложение на русском языке с учётом особенностей его морфологии, порядка слов и наличием омонимов, используя нейронную сеть с архитектурой трансформера на подготовленных корпусах параллельных текстов.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке методов, алгоритмов и программных средств обработки и трансформации текстовых и пиктограммных сообщений, обеспечивающих автоматическое двунаправленное преобразование текстовых сообщений в системы альтернативной коммуникации (Sclera, Beta, PECS).

Практическая значимость работы состоит в разработанном программном обеспечении, реализующем полученные теоретические результаты.

Разработанное программное обеспечение прошло апробацию в ГБСУ СО ОРЦДИ «Надежда» (г. Волжский) и МОУ ДЮЦ Волгограда, что подтверждено актами о внедрении результатов исследования.

В результате применения разработанного программного обеспечения в указанных учреждениях от специалистов-реабилитологов и педагогов была получена обратная связь, подтверждающая обеспечение безбарьерного общения людей с ограниченными речевыми способностями с помощью предложенных в диссертационном исследовании методов и программных средств.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм, метод автоматической обработки текстового сообщения на русском языке и его

визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях PECS, Sclera, Beta.

2. Модель предложения русского языка, метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами.

3. Метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера.

4. Архитектура и реализация программного средства двунаправленного преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм в виде кроссплатформенного web-приложения на основе разработанных методов.

Обоснованность и достоверность.

Результаты диссертационной работы получены при корректном и обоснованном применении методов системного анализа, искусственного интеллекта, компьютерной лингвистики и подтверждаются проведенными экспериментальными исследованиями на открытых источниках данных, а также внедрением и использованием рекомендаций, содержащихся в диссертационном исследовании.

Апробация результатов работы.

Основные положения исследования докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: XV международная конференция ПаВТ'2021 (г. Волгоград, 30 марта - 1 апреля 2021 г.); третья всероссийская научно-практическая конференция, проводимая в рамках Пермского естественнонаучного форума «Математика и глобальные вызовы XXI века» (г. Пермь, 14-18 мая 2018 г.); 2018 9th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2018) (Zakynthos, Greece, 23-25 July 2018), 2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) (Larnaca, Cyprus, 27-30 August 2017) и др.

Результаты диссертации были использованы при выполнении проектов Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка методов и средств автоматического перевода сообщений альтернативных систем коммуникаций (Sclera, Beta, PECS) в связный текст на русском языке» (№19-47-343002, конкурс «р_мол_а») и Фонда содействия инновациям «Веб-сервис для автоматического перевода пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке» (№ 11550ГУ/2017, конкурс «УМНИК»).

Личный вклад автора. В диссертации представлены результаты исследований, выполненные самим автором. Личный вклад автора состоит в постановке задач исследования, разработке теоретических и прикладных методов их решения, в обработке, анализе, обобщении полученных результатов и формулировке выводов (приложения В и Г).

Краткое содержание работы

В первой главе рассмотрены различные системы альтернативной коммуникации, проведен анализ современного состояния вопроса, проведен анализ предметной области исследования, результаты анализа формализованы в виде инфологической модели предметной области, включающей в себя объектную и процессную модели, сформулированы цель и задачи исследования.

Проведен анализ существующих аналогов разрабатываемых методов, в результате которого было выявлено, что для русского языка ни одно из средств не поддерживает двунаправленный обмен последовательностями пиктограмм и связного текста. Были сформулированы основные требования к разрабатываемым методам и средствам: возможность составления пиктограммного сообщения и его трансформация в связный текст на русском языке; возможность ввода текстового сообщения на русском языке и его визуализация в последовательность пиктограмм; возможность использования на различных платформах; возможность интеграции средств обмена сообщениями в другие проекты.

Таким образом, совмещение преимуществ рассмотренных аналогов и реализация для русского языка возможности двунаправленного преобразования текстовых и пиктограммных сообщений позволят людям с речевыми

ограничениями осуществлять коммуникацию с использованием русского языка, что даст им больше возможностей для общения и повысит их социальную адаптацию.

Во второй главе описываются разработанные методы и средства для автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных сообщений систем альтернативных коммуникации в текстовые сообщения на русском языке, проведен их анализ и описаны выбранные для реализации подходы.

Для преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм был разработан метод обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях «Sclera», «Beta», «PECS».

В процессе анализа задачи автоматической трансформации пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке было выявлено, что для каждой используемой пиктограммы известна ее текстовая интерпретация на русском языке в инфинитивной форме. Вследствие этого, любое пиктограммное сообщение можно представить в виде текстовой последовательности инфинитивов. Тогда задача трансформации пиктограммного сообщения заключается в согласовании текстовой инфинитивной последовательности в связный текст на русском языке, для чего

были разработаны методы автоматического трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст на основе шаблонов предложений и на основе машинного обучения.

В третьей главе приводится алгоритмическое и программное обеспечение двунаправленного преобразования текстового сообщения на русском языке в пиктограммы, реализующие предлагаемые методы, в виде кроссплатформенного web-приложения. Приводится описание структуры разработанного программного обеспечения, его отдельных компонентов и интерфейсов взаимодействия.

В четвертой главе представлены результаты тестирования разработанного web-приложения. Тестирование проводилось с участием людей с речевыми ограничениями на базе детского реабилитационного центра «Надежда»,

заболевания и нарушения детей реабилитационного центра характеризуются индивидуальными особенностями.

В ходе тестирования было подтверждено, что использование разработанного web-приложения у людей с речевыми нарушениями приводит к развитию навыков вербальной коммуникации и обмена пиктограммными сообщениями. Специалисты реабилитационного центра и родители рассматриваемых детей отметили улучшение коммуникации от использования именно электронного устройства для работы с пиктограммами, так как работа с электронным устройством в большей степени воспринимается ребенком как игра и фокусирует на себе больше внимания.

Для оценки успешности создания интерфейса для сторонних разработчиков и осуществления возможности интеграции web-приложения в другие системы был проведен эксперимент с участием сторонних разработчиков.

Каждому участнику эксперимента необходимо было произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку и оценить степень удовлетворенности работой приложения.

Для оценки успешности реализации в web-приложении интерфейса для разработчиков были выделены следующие критерии:

- критерий 1 - смог ли разработчик произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку (легко/ нормально/ сложно);
- критерий 2 - был ли разработчик удовлетворен возможностями web-приложения в рамках его задачи (отлично/ хорошо/ плохо).

После проведения тестирования были получены отзывы от разработчиков согласно выдвинутым критериям. Критерий 1 был выполнен обоими участниками эксперимента, все смогли «легко» произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку. Критерий 2 был выполнен обоими разработчиками на «отлично».

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования, сделаны выводы и сформулированы планы будущих работ по

совершенствованию и расширению представленных в исследовании моделей, методов и программных средств.

1 Анализ современного состояния вопроса в области альтернативных систем коммуникации для людей с речевыми нарушениями

1.1 Понятие альтернативной коммуникации

Наиболее важным этапом коррекционной работы с людьми, имеющими речевые нарушения и нарушения интеллектуального развития, является ранний возраст (от 0 до 12 лет), когда происходит формирование основных коммуникационных навыков ребенка [5]. Большинство врачей-дефектологов и педагогов, работающих с людьми, страдающими такими заболеваниями, как аутизм, ДЦП и синдром Дауна рекомендуют использовать как для реабилитации, так и, в некоторых случаях, для постоянного использования средства альтернативной коммуникации [6].

Альтернативная (дополнительная) коммуникация - это все способы коммуникации, дополняющие или заменяющие обычную речь людям, не способным удовлетворительно объясняться с помощью речи.

Для того, чтобы заменить или дополнить вербальную речь применяются различные системы:

- язык жестов;
- блиссимволика;
- счетные палочки или другие предметы для счета;
- карточки с изображениями (пиктограммы).

1.2 Язык жестов

Язык жестов (Жестовый язык) - самостоятельный язык, состоящий из множества жестов, каждый из которых производится руками, формой или движением рта и губ, а также в сочетании с положением корпуса тела. Эти языки

в основном используются в культуре глухих и слабослышащих с целью коммуникации. Использование жестовых языков людьми без нарушения слуха вторично, однако довольно распространено: часто возникает потребность в общении с людьми с нарушениями слуха, являющимися пользователями жестового языка.

1.3 Блиссимволика

Блиссимволика (или семантография) - письменная система, разработанная Ч. Блиссом в 1965 г. [7]. Она понятна говорящим на любом языке. Набор блиссимволов состоит приблизительно из одной сотни картинных идеографем и произвольно выбранных символов, которые могут использоваться как самостоятельно, так и в определенных комбинациях. Блисс рассматривал свою систему как упрощенный вариант китайского идеографического письма, которое было понятно и использовалось в течение тысячелетий людьми, не говорящими на едином языке. Большинство блиссимволов кодирует информацию относительно семантического уровня сообщения (его смысла), некоторые символы передают грамматическую информацию. Каждый элемент символа выражает общую идею или концепцию.

Пример сообщения на языке блиссимволики приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Предложение «Я хочу пойти в кино» на языке блиссимволики

Эта концепция обычно включает набор нескольких объединенных по смыслу понятий, которые в устной речи выражались бы разными словами. Например, символ «вода» с дополнением других элементов может означать

дождь, пар, снег, озеро, океан, замораживание, размораживание, поток или водопад.

1.4 Карточки с изображениями (пиктограммы)

На сегодняшний день, доказано, что наиболее быстрым в освоении и эффективным средством альтернативной коммуникации для людей с речевыми нарушениями являются пиктограммы [8].

Существуют различные банки пиктограмм и различные пиктограммные нотации, такие как Sclera, Beta, PECS и другие, которые отличаются цветом изображений, принципами обозначений предметов и количеством семантических единиц языка, приходящихся на одну карточку. Но среди пиктограммных нотаций общим является то, что последовательность пиктограмм можно интерпретировать на естественном языке и что предложения на естественном языке можно представить в виде последовательности пиктограмм [6]. Пример пиктограммного сообщения приведен на рисунке 2.

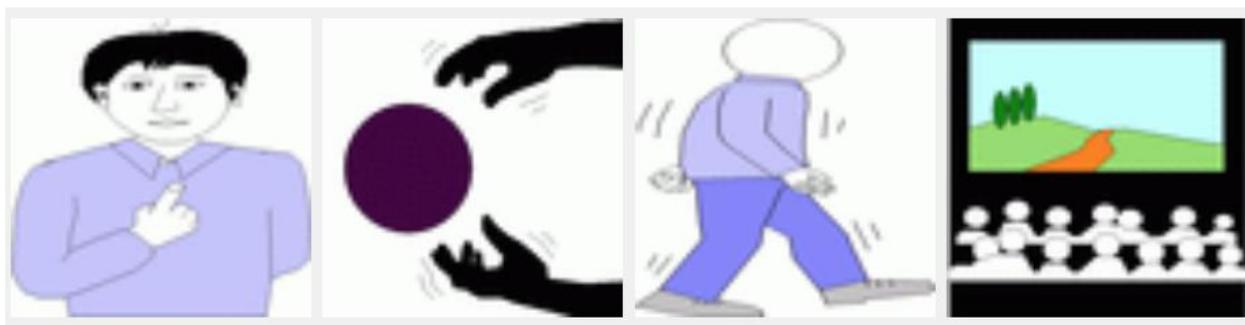


Рисунок 2 - Предложение «Я хочу пойти в кино» на языке пиктограммной нотации PECS

Педагоги, практикующие использование пиктограмм, отмечают, что в качестве пиктограмм могут быть использованы не только реальные карточки с изображениями, но и электронные средства, которые демонстрируют

изображения подобно карточкам и хранят банки пиктограмм в различных нотациях [6].

Так как обмен пиктограммными сообщениями является наиболее эффективным и быстрым в освоении средством альтернативной коммуникации, то для улучшения процесса коммуникации между людьми, использующими пиктограммы и людьми, использующими вербальную коммуникацию, было принято решение разработать программное средство, которое позволяет быстро преобразовать пиктограммное сообщение в согласованный текст на русский язык и в обратном направлении.

1.5 Анализ существующего программного обеспечения для работы с пиктограммами

На сегодняшний день уже существуют программные решения, которые позволяют заменить картонные карточки с пиктограммами на электронные средства. С помощью таких программ можно хранить и редактировать большое количество пиктограмм, формировать собственные подборки изображений и составлять из них пиктограммные сообщения. Некоторые из программных средств дают возможность не только обрабатывать банки пиктограмм, но и преобразовывать сообщения, составленные из пиктограмм на естественный язык и в обратном направлении.

В рамках диссертационного исследования был произведен поиск программ, поддерживающих функцию преобразования пиктограммных сообщений в текст и обратно, чтобы оценить, какие из них могут подойти российским пользователям, а так же выяснить, какими преимуществами и отличительными особенностями обладают зарубежные проекты.

Критериями для сравнения отобранных программ являются ключевые требования к средствам для работы с пиктограммами.

По результатам сравнительного анализа и выявленным преимуществам и недостаткам оцениваемых программ были сформированы основные требования к новым разрабатываемым программным средствам пиктограммной коммуникации.

Результаты сравнительного анализа выбранных программ, а также разработанного программного средства представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ аналогов и прототипов

Критерии сравнения	Интернет-мессенджер «Сезам» [9]	Мобильное приложение «Говори молча» [10]	Веб-сайт Text2Picto [11]	Digital Travel Assistant	Разрабатываемые средства
Трансформация последовательности пиктограмм в текст	Несвязный текст (дословный перевод)	Нет	Нет	Несвязный текст, нет поддержки русского языка	Преобразование в связный текст
Визуализация текста в виде последовательности пиктограмм	Дословный перевод	Нет	Да	Нет	Да
Интеграция в сторонние разработки	Нет	Нет	Ограниченные возможности	Нет	Да
Интерфейс выбора пиктограмм и составления последовательностей	Да	Да	Да	Да	Да
Добавление пиктограмм	Нет	Да	Нет	Да	Да
Редактирование пиктограмм	Нет	Нет	Нет	Да	Да

Продолжение таблицы 1

Озвучивание сообщений	Нет	Да	Нет	Да	Да
Работа на мобильном устройстве	Да	Да	Да	Да	Да
Работа на ПК	Да	Нет	Да	Да	Да

После проведения анализа программных средств можно сделать следующие выводы:

- большинство средств имеют визуальный интерфейс для манипуляции пиктограммами;
- некоторые средства оснащены возможностью преобразования текстовых сообщений на естественном языке в последовательность пиктограмм;
- некоторые средства поддерживают озвучивание сообщений;
- ни одно из средств не поддерживает преобразование последовательности пиктограмм в связный текст на русском языке;
- ни одно из средств не предоставляет интерфейса для интеграции в собственные разработки.

Таким образом можно сформулировать основные требования к разрабатываемому программному средству:

- возможность составления пиктограммного сообщения и его преобразования в связный текст на русском языке;
- возможность ввода текстового сообщения на русском языке и его преобразования в последовательность пиктограмм;
- возможность использования на различных платформах (в частности на персональных компьютерах, планшетных компьютерах и мобильных устройствах);
- возможность интеграции в другие проекты.

Таким образом, совмещение преимуществ рассмотренных программ и реализация возможности двунаправленного преобразования пиктограммных

сообщений в связный текст на русском языке позволит людям с речевыми нарушениями осуществлять коммуникацию с использованием русского языка, что даст им больше возможностей для общения и повысит их социальную адаптацию.

1.6 Анализ существующих методов двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации

После определения требований к разрабатываемым средствам преобразования сообщений необходимо разработать методы для преобразования пиктограммных сообщений в текст на русском языке и в обратном направлении, которые будут положены в основу разрабатываемых программных средств.

Для этого был проведен анализ предметной области в части существующих решений поставленных задач посредством изучения литературных источников. Проанализированные источники были структурированы в виде концептов ассоциативной карты в нотации mind-map.

Основными направлениями работы с людьми с речевыми нарушениями являются дефектология, коррекционная педагогика и обучение детей с нарушениями навыкам использования вербальной речи в возрасте от 6 до 12 лет (рисунок 3).



Рисунок 3 - Фрагмент модели предметной области mind-map (часть 1)

На рисунке 4 детально показаны элементы концепта обучения детей с речевыми нарушениями.

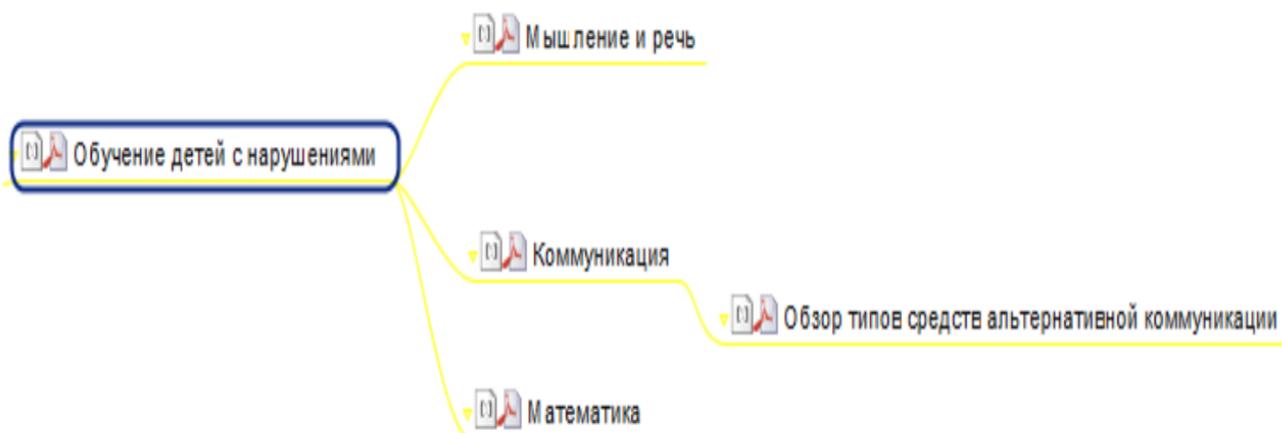


Рисунок 4 - Фрагмент модели предметной области mind-map (часть 2)

Особое внимание при обучении детей с речевыми нарушениями уделяется развитию коммуникативных навыков. Обучение коммуникации происходит при помощи средств альтернативной коммуникации, описанных в предыдущих разделах данной работы. Концепты средств альтернативной коммуникации представлены в нотации mind-map на рисунке 5.

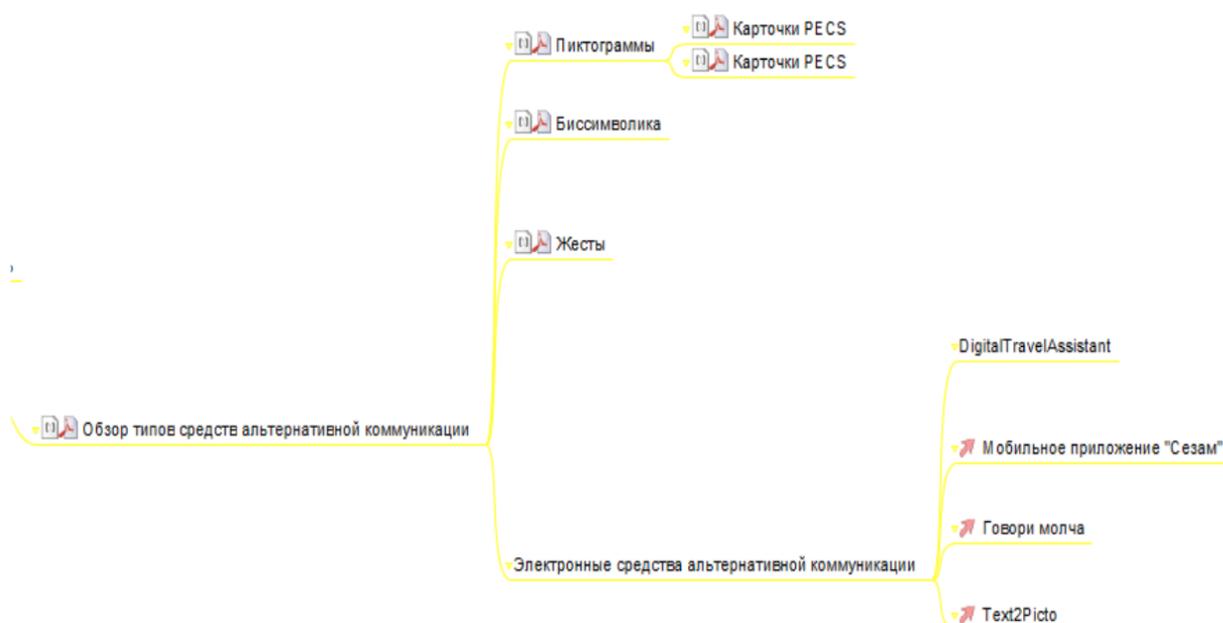


Рисунок 5 - Фрагмент модели предметной области mind-map (часть 3)

Обзор электронных средств альтернативной коммуникации показал, что в основе проанализированных программ лежит работа с пиктограммами и их

вербальной интерпретацией. Задачи преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм и в обратном направлении представляются в литературных источниках в виде задач машинного перевода естественного языка в псевдо-язык (систему альтернативной коммуникации).

Анализ аналогов и прототипов в главе 1 выявил проблему поддержки русского языка для преобразования пиктограммных сообщений, поэтому отдельно были рассмотрены существующие и потенциальные методы преобразования из одних систем коммуникации в другие с поддержкой русского языка. Концепты методов преобразования текстовых сообщений на язык пиктограмм представлены на рисунке 6.



Рисунок 6 - Фрагмент модели предметной области mind-map (часть 4)

Концепты методов преобразования пиктограммных сообщений в текстовые представлены на рисунке 7.

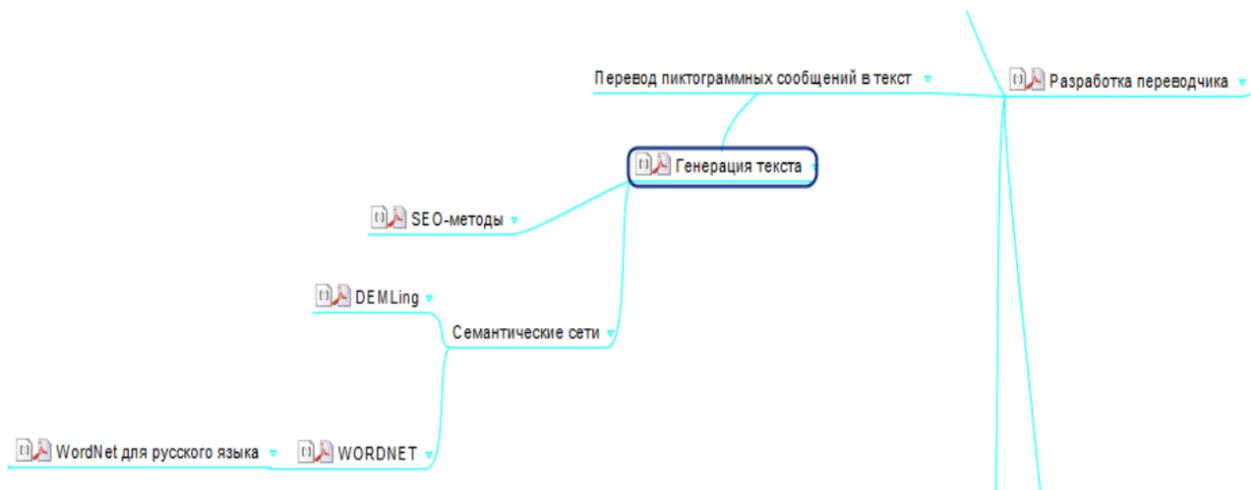


Рисунок 7 - Фрагмент модели предметной области mind-map (часть 5)

Анализ представленных в ассоциативной карте методов позволил найти подход к решению задачи преобразования пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке и в обратном направлении в рамках данного исследования.

Далее в тексте диссертации будут описаны разработанные методы, в основу которых положены обнаруженные подходы.

1.7 Объектная модель предметной области

После анализа современного состояния вопроса в области альтернативных систем коммуникации для людей с речевыми нарушениями необходимо определить процессы (и их участников), которые подвергаются реинжинирингу при помощи разрабатываемых программных средств.

В настоящее время программным средствам для людей с речевыми нарушениями уделяют особое внимание. Производятся программы для облегчения процесса общения таких людей, а так же специальные системы для их реабилитации и обучения. Как правило, в таких системах используются пиктограммные нотации в качестве вспомогательной или основной системы коммуникации.

Эффективность использования пиктограмм достигается за счет того, что большинство концептов языка можно представить графически при помощи пиктограмм для выражения просьб, вопросов и описаний предметов. Р. Михалче и К. Леён отмечают, что абстрактные понятия (например, демократия) не всегда просто изобразить графически. Многие особенности естественных языков могут не присутствовать в пиктограммных языках. Обычно в них не делают различий между единственным и множественным числом. Времена и словоформы опускаются, и таким образом, пиктограммные языки становятся упрощенными, что особенно подходит для людей с ограниченными возможностями [12].

Существующие на сегодняшний день программы и приложения, работающие с пиктограммами, можно разделить на три группы, в зависимости от их предназначения:

- программы для обучения работе с пиктограммами;
- программы для общения при помощи пиктограмм;
- программы для развития навыков применения вербальной речи,

где вспомогательной системой коммуникации являются пиктограммы.

Приложения для обучения работе с пиктограммами, как правило, используются при первом знакомстве с пиктограммными нотациями. Эти программы служат заменой реальных карточек с изображениями, на которых специалисты-реабилитологи объясняют людям с речевыми нарушениями основы работы с пиктограммами. С их помощью можно показать особенности выбора нужных пиктограмм для изъяснений и то, как строить из них предложения.

Программы для общения при помощи пиктограмм предназначены для использования в непосредственном процессе коммуникации. Данные системы оснащены строкой ввода сообщения или чатом. Подобными системами могут пользоваться люди с речевыми нарушениями для обмена информацией после того, как они освоят необходимые навыки работы с пиктограммами. Данные программы используются как под присмотром специалиста на этапе обучения, так и самостоятельно конечным пользователем. Ни одна из существующих программ не предоставляет возможности преобразования пиктограммных сообщений на русский язык, что означает, что все участники коммуникации при помощи данных приложений должны владеть навыками работы с пиктограммами и пользоваться программой под руководством специалиста.

Программы для развития навыков применения вербальной речи, где вспомогательной системой коммуникации являются пиктограммы, представляют собой наиболее сложные системы. Задачей таких программ является не только обеспечение возможности оперировать пиктограммами, но и автоматически предоставлять перевод пиктограммных сообщений на языке вербальной речи. Повышает эффективность развития навыков вербальной речи использование не

только письменного представления преобразования пиктограммного сообщения, но и его аудиопроигрывания. Особенностью таких систем является то, что представление преобразования в вербальной форме должно быть грамматически правильным, что в противном случае уменьшает эффект при обучении. На данный момент не существует систем с подобной возможностью для русского языка, в результате чего, специалисты-реабилитологи самостоятельно осуществляют перевод и озвучивание вербальной интерпретации пиктограммного сообщения.

Исходя из описания перечисленных программ, при работе с ними на русском языке люди с речевыми нарушениями нуждаются в помощи специалиста (ассистента). Взаимодействие пользователей в процессе коммуникации в виде UseCase-диаграммы в нотации UML2.0 представлено на рисунке 8.

На приведенной диаграмме представлены два пользователя: человек с речевыми нарушениями и человек, способный использовать вербальную коммуникацию. По диаграмме видно, что как при составлении пиктограммного сообщения, так и при его получении, пользователям необходимы специальные навыки и знания для интерпретации пиктограммного сообщения на русский язык или в обратном направлении.

Если программа для работы с пиктограммами получит возможность автоматически переводить пиктограммные сообщения, то при взаимодействии с ней можно обойтись без помощи специалиста при передаче сообщения или при его получении. Если объект коммуникации использует пиктограммы, а субъект вербальную речь, то субъект коммуникации больше не будет нуждаться в помощи специалиста в интерпретации полученного пиктограммного сообщения. Также, если объект коммуникации использует вербальную речь, а субъект пиктограммные сообщения, то объект не будет нуждаться в помощи специалиста при составлении пиктограммного сообщения. В этих случаях помощь специалиста может заменить функция автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений.

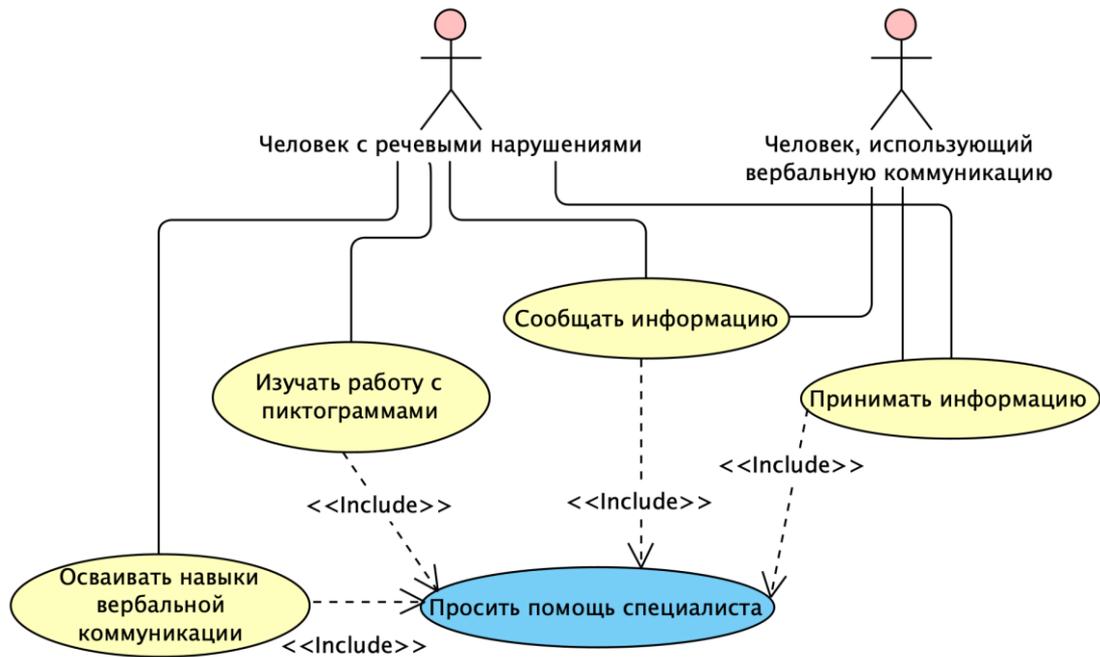


Рисунок 8 - Объектная модель предметной области без использования автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений

Взаимодействие пользователей в процессе коммуникации с учетом наличия возможности автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений представлено в виде UseCase-диаграммы в нотации UML2.0 на рисунке 9.

При освоении навыков вербальной коммуникации человек с речевыми нарушениями на определенных этапах также сможет использовать программу самостоятельно. Узнать значения составленных пиктограммных сообщений на русском языке или услышать их произношение можно будет без обращения к специалисту.

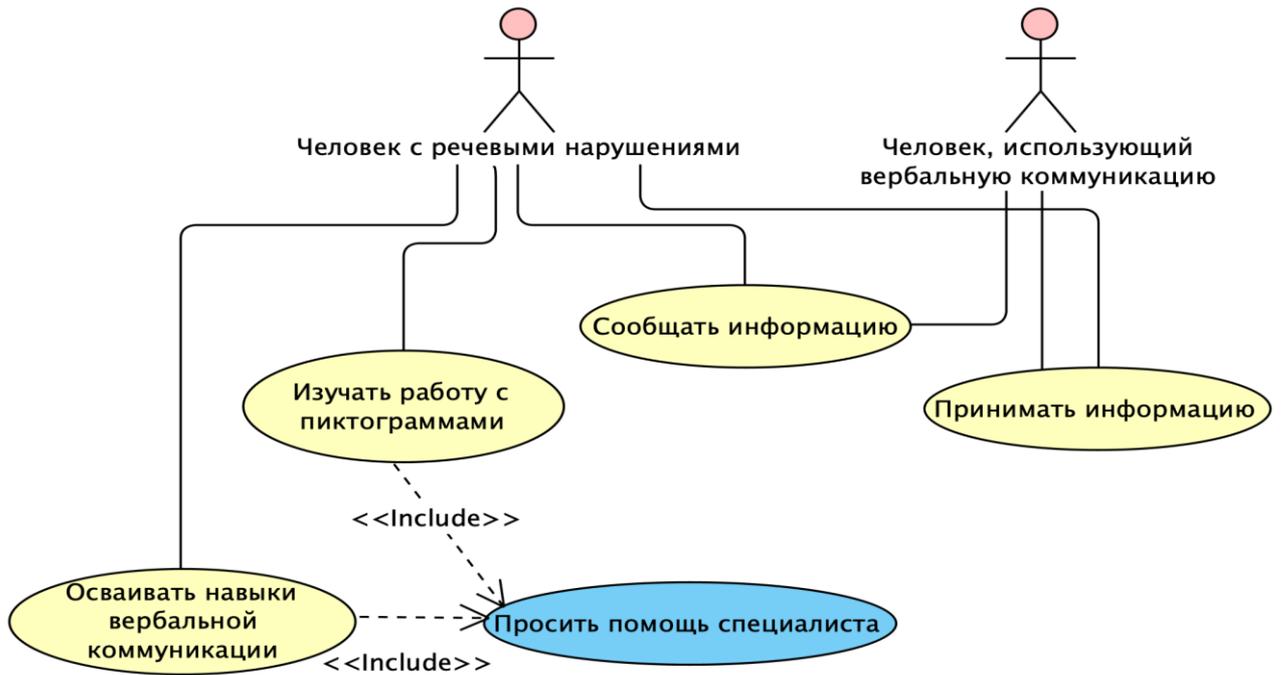


Рисунок 9 - Объектная модель предметной области с использованием автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений

1.8 Процессная модель предметной области

Процессы взаимодействия пользователей с программами для работы с пиктограммами задействуют не только непосредственных участников коммуникации, но и специалиста (ассистента) для помощи в переводе пиктограммных сообщений. На рисунке 10 приведен пример обмена пиктограммными сообщениями в виде диаграммы активности (Activity-диаграмма в нотации UML2.0).

Если в процесс добавить возможность автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений в текстовые на русском языке и в обратном направлении, то обмен сообщениями можно произвести без помощи специалиста.

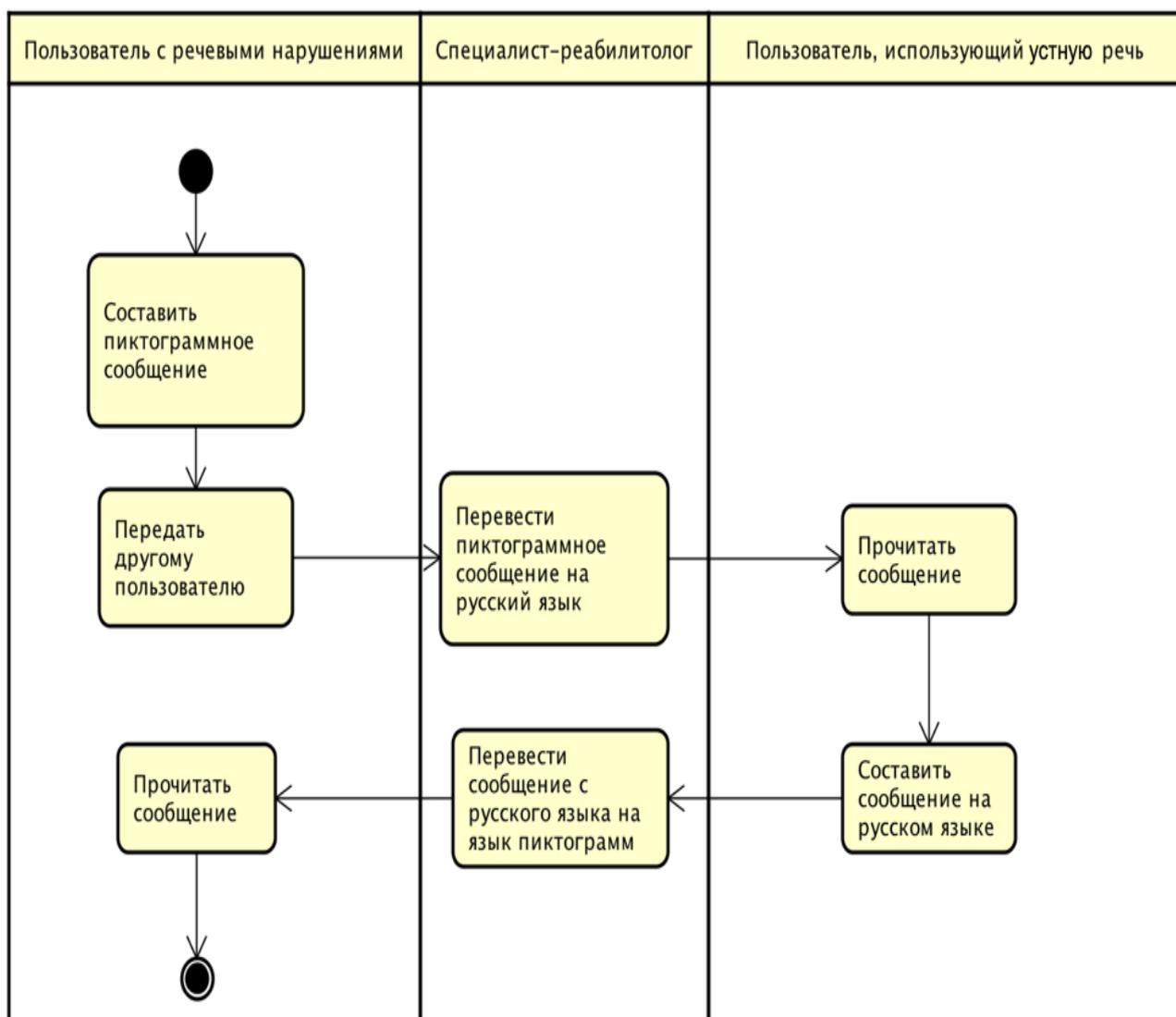


Рисунок 10 - Процессная модель предметной области без использования автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений

Процессная модель обмена сообщениями с использованием автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений представлена на рисунке 11.

Таким образом, основной проблемой в существующем процессе взаимодействия людей с речевыми нарушениями с программами для работы с пиктограммами является отсутствие возможности самостоятельно (без помощи ассистента) осуществлять коммуникацию с людьми, использующими вербальную коммуникацию.

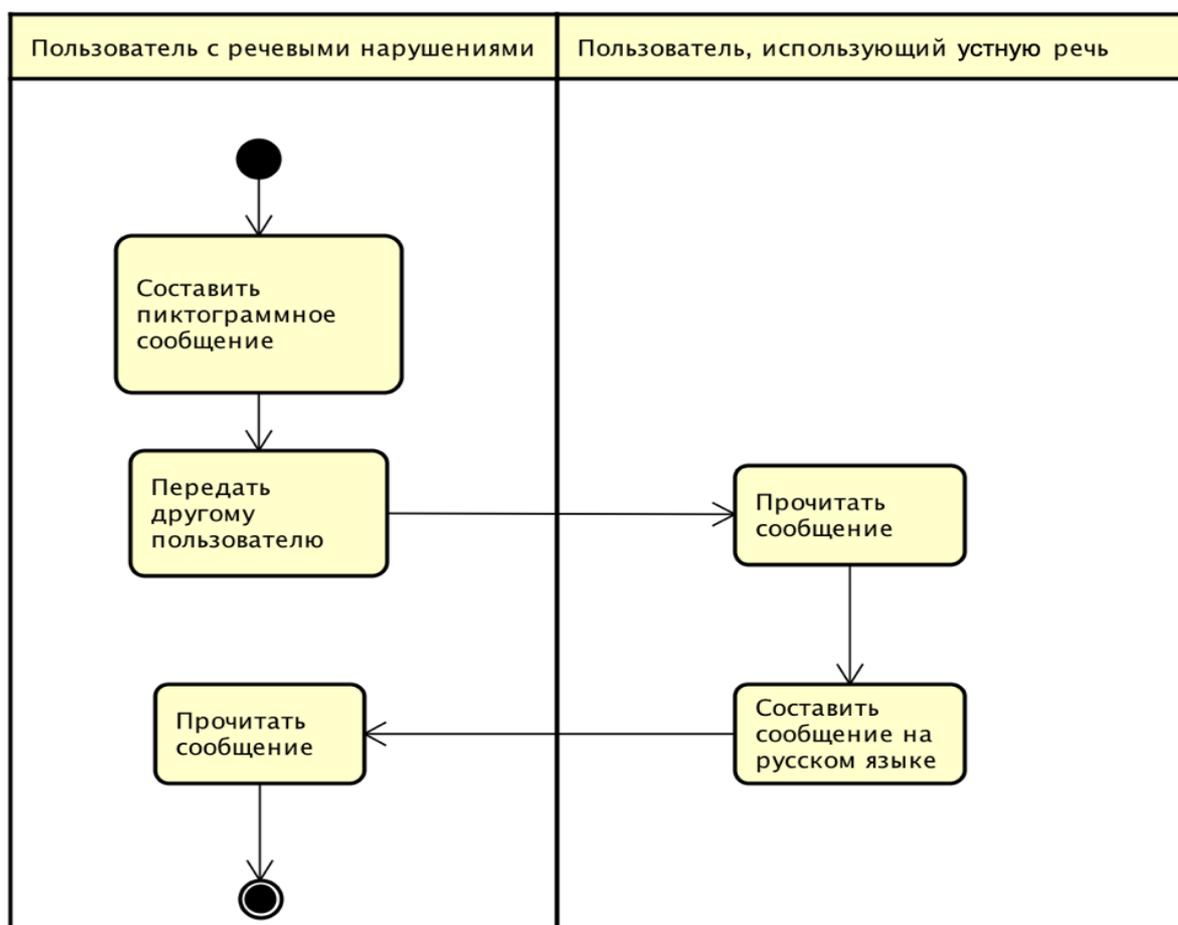


Рисунок 11 - Процессная модель предметной области с использованием автоматического двунаправленного преобразования пиктограммных и текстовых сообщений Activity-диаграмма в нотации UML2.0)

В новом процессе использования программ для работы с пиктограммами роль ассистента выполняет функция автоматического преобразования пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке, что позволяет людям с речевыми нарушениями более свободно и самостоятельно осуществлять коммуникацию. Предложена новая система для преобразования пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке и в обратном направлении, выделены компоненты, участвующие в системе и выдвинуты основные требования к функциональным и нефункциональным характеристикам разрабатываемой системы.

Выводы по первой главе

В ходе изучения существующих методов и средств для обработки текстовой информации и ее визуализации в виде последовательности пиктограмм, а также трансформации последовательности пиктограмм в текст были выявлены их основные преимущества и недостатки и сформулированы основные требования к характеристикам разрабатываемых методов и средств.

В ходе изучения существующего процесса взаимодействия пользователей с речевыми нарушениями с программами для работы с пиктограммами были выявлены следующие недостатки.

Во-первых, при осуществлении коммуникации пользователям, использующим вербальную речь, необходима помощь ассистента для перевода получаемых пиктограммных сообщений.

Во-вторых, при осуществлении коммуникации пользователям, использующим вербальную речь, необходима помощь ассистента для составления пиктограммного сообщения.

В-третьих, пользователи с речевыми нарушениями не могут самостоятельно заниматься развитием навыков владения вербальной речи без помощи специалиста (ассистента). Для перевода пиктограмм и их последовательностей, а также озвучивания переводов требуется ассистент.

Представленные проблемы было решено исключить с помощью разработки средств автоматического двунаправленного преобразования текстовой информации в последовательность пиктограмм, что позволит не прибегать к обращениям к специалисту (ассистенту) для получения преобразования и интерпретаций пиктограммных сообщений в текстовые и в обратном направлении.

2 Разработка моделей и методов двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации

Для реализации выявленных функциональных требований к разрабатываемым программным средствам был проведен анализ литературы, связанной с созданием автоматизированных систем обработки текстовой и графической информации. В результате анализа было выявлено, что для удовлетворения поставленных требований к программным средствам необходимо разработать два основных метода, которые будут лежать в основе средства двунаправленного перевода:

- метод обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях Sclera, Beta, PECS (метод ТП);

- методы автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст: с использованием автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера (методы ПТ/П) и с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами (метод ПТ/НТ).

Для решения задачи визуализации текста в виде последовательности пиктограмм необходимо проводить обработку переданного на вход текста и подобрать соответствующую пиктограмму для каждого слова в тексте. Были обнаружены различные подходы обработки текста, которые можно применить для данной задачи:

- обработка текста на основе цепочек Маркова [13];
- обработка текста при помощи регулярных выражений [13];
- обработка текста при помощи семантических сетей и тезаурусов [14].

Для решения задачи автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст необходимо согласовать между собой все семантические единицы, переданные в пиктограммах, в одно или несколько

предложений. Были обнаружены методы автоматизированной генерации текста, которые можно применить для данной задачи:

- генерация на основе цепочек Маркова;
- генерация при помощи регулярных выражений;
- генерация при помощи конфигурируемых шаблонов;
- анализ при помощи семантических сетей и тезаурусов;
- методы SEO-генерации текста по ключевым словам.

Каждый из приведенных методов имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при применении для конкретной задачи. В связи с этим было проведено их сравнение и обоснование выбора в следующих разделах.

2.1 Описание метода обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм

Для определения метода решения данной задачи был проведен обзор существующих методов обработки текстовой информации на русском языке и преобразования в другие системы коммуникации.

Задача преобразования текстового сообщения на русском языке в систему коммуникации при помощи пиктограмм схожа с задачей перевода текста с одного языка на другой.

Для реализации преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм был разработан метод обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм в нотациях «Sclera», «Beta», «PECS».

Анализ подходов к разработке метода обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм

В современных системах для преобразования текстовой информации из одной системы коммуникации в другую строятся модели этих систем, для которых создаются связи между единицами моделей, соответствующих друг другу в разных системах [15]. Для данной задачи первой системой коммуникации является русский язык, а второй - язык пиктограммной нотации, модель языка которой является примитивной и не имеющей связей между концептами языка [16]. Таким образом, основными задачами реализации преобразования текста на русском языке в последовательность пиктограмм являются:

- создание модели русского языка;
- создание модели связей между элементами модели русского языка и концептами языка пиктограмм (конкретными изображениями).

Для решения первой задачи существует несколько подходов, описанных в российских и зарубежных источниках. Для раскрытия анафор и решения проблем омонимии можно использовать следующие подходы:

- метод на основе тезаурусов, предложенный разработчиками проекта «Text2Picto» [17];
- метод, основанный на правилах (rule based) для создания синтаксического парсера русского языка [18];
- машинное обучение с учителем (supervised machine learning) для создания парсера русского языка [15].

Данные подходы построения модели языка были отражены в карте mind-map, представляющей предметную область, на рисунке 12.

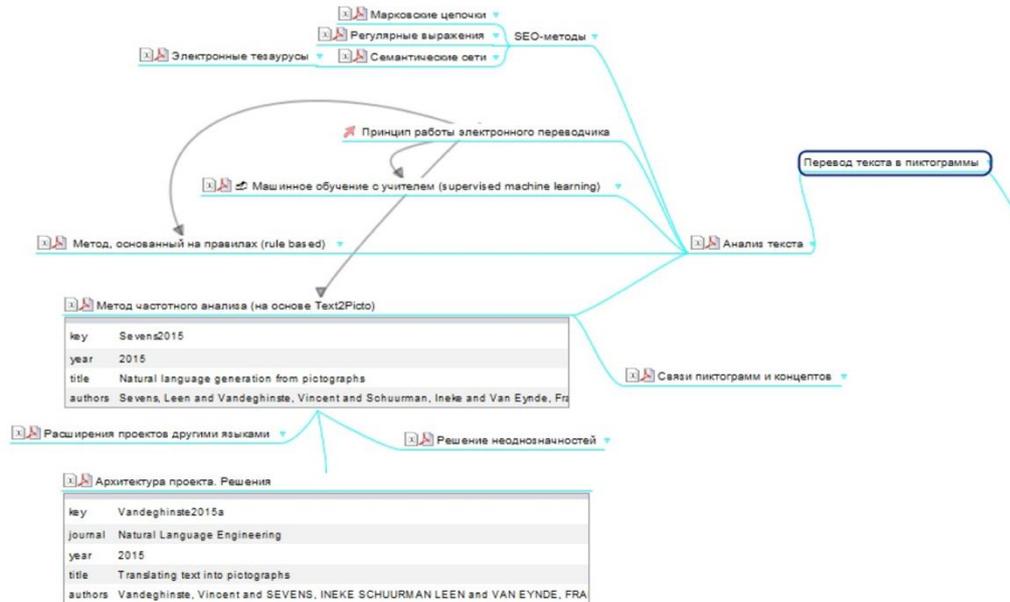


Рисунок 12 - Фрагмент карты mind-map, отражающий элементы задачи преобразования текста в пиктограммы

Для выбора подхода к реализации было проведено их сравнение, которое представлено таблицей 2. При сравнении подходов к реализации рассматривались технологии, которые лежат в основе подхода, а так же их возможности для оценки применимости для решаемой задачи. Также была проведена вербальная оценка сложности применения подхода по шкале «Низкая», «Средняя», «Высокая», подразумевающей наличие научного и технического задела применения подхода к решению аналогичных задач.

Таблица 2 - Сравнение подходов к построению модели русского языка для осуществления преобразования текста в последовательность пиктограмм

Подход	Технология в основе	Возможности модели	Сложность реализации
Метод на основе тезаурусов (применяется в проекте «Text2Picto»)	WordNet. Структурированная база слов, объединенных в группы синонимов.	Дает возможность определить, какой семантической группе принадлежит тот или иной концепт языка [19]. Также дает возможность определить отношения между группами.	Низкая. Существуют готовые базы WordNet для различных естественных языков.

Продолжение таблицы 2

Подход	Технология в основе	Возможности модели	Сложность реализации
Метод, основанный на правилах (rule based) для создания синтаксического парсера русского языка.	Описанные на произвольном языке правила разбора естественного языка.	Позволяет определить семантические группы концепта языка с учетом его значения в контексте. Позволяет построить дерево разбора предложения.	Средняя. Необходимо вручную описать большое количество правил языка. Для русского языка готового набора правил не существует.
Машинное обучение с учителем (supervised machine learning) для создания парсера русского языка.	Машинное обучение.	Позволяет анализировать концепты в контексте, построить дерево предложения, найти варианты замены концептов.	Высокая. Необходимо собрать и подготовить большой объем текстов для обучения. Необходима большая вычислительная мощность оборудования. Высокая сложность создания программного кода.

В качестве основы для решения задачи создания связей между лексемами текста на русском языке и системой альтернативной коммуникации был взят подход на основе тезаурусов, который осуществляет аналогичный перевод для других иностранных языков. Так как набор языковых концептов, используемых в переводе ограничен набором пиктограмм, и входные данные для перевода, в

большинстве случаев, представляются одним простым предложением, выбранный метод является достаточным для разработки метода. Также архитектура проекта «Text2Picto» имеет задел для интеграции новых естественных языков в проект, а так же для него описан опыт решения проблем с отсутствующими пиктограммами для слов входного предложения на естественном языке.

Основной идеей метода является использование технологии WordNet. WordNet - это формат электронного тезауруса, который содержит синсеты (группы синонимов), объединяющие несколько лемм. Таким образом, можно связать пиктограмму не с одним конкретным словом, а с одним или несколькими синсетами [20].

Описание метода автоматической обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм (метод ТП)

Для реализации преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм был разработан метод автоматической обработки текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм в нотациях «Sclera», «Beta», «PECS», который состоит из четырех этапов (метод ТП):

- 1) подготовка тезауруса русского языка;
- 2) создание автоматических связей тезаурусов русского и английского языков;
- 3) поиск синсета синонимичного русскому языку;
- 4) поиск пиктограммы.

Метод ТП представлен на рисунке 13 в виде диаграммы активности в нотации UML 2.0.

На основе проведенного ранее анализа установлено, что вручную связали 5710 пиктограмм системы Sclera и 2760 пиктограмм системы Beta с синсетами для голландского языка базы WordNet (бельгийского проекта Text2Pict), в ней

содержатся связи между ее синсетами и синсетами центральной базой WordNet для английского языка. Таким образом, необходимо создать модель русского языка в виде WordNet для автоматического преобразования текстового сообщения на английский, голландский языки и в последовательности пиктограмм [14, 21].



Рисунок 13 - Метод обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализации в виде последовательности пиктограмм (метод ТП)

При создании электронных тезаурусов для многих языков обозначаются связи между синонимичными группами слов (синсетами) исходного языка и эквивалентными им по семантическому значению синсетами на английском языке центральной базы WordNet. На рисунке 14 показано, как используются связи баз WordNet для голландского и испанского языков с центральной базой WordNet в проекте «Text2Picto» [22].

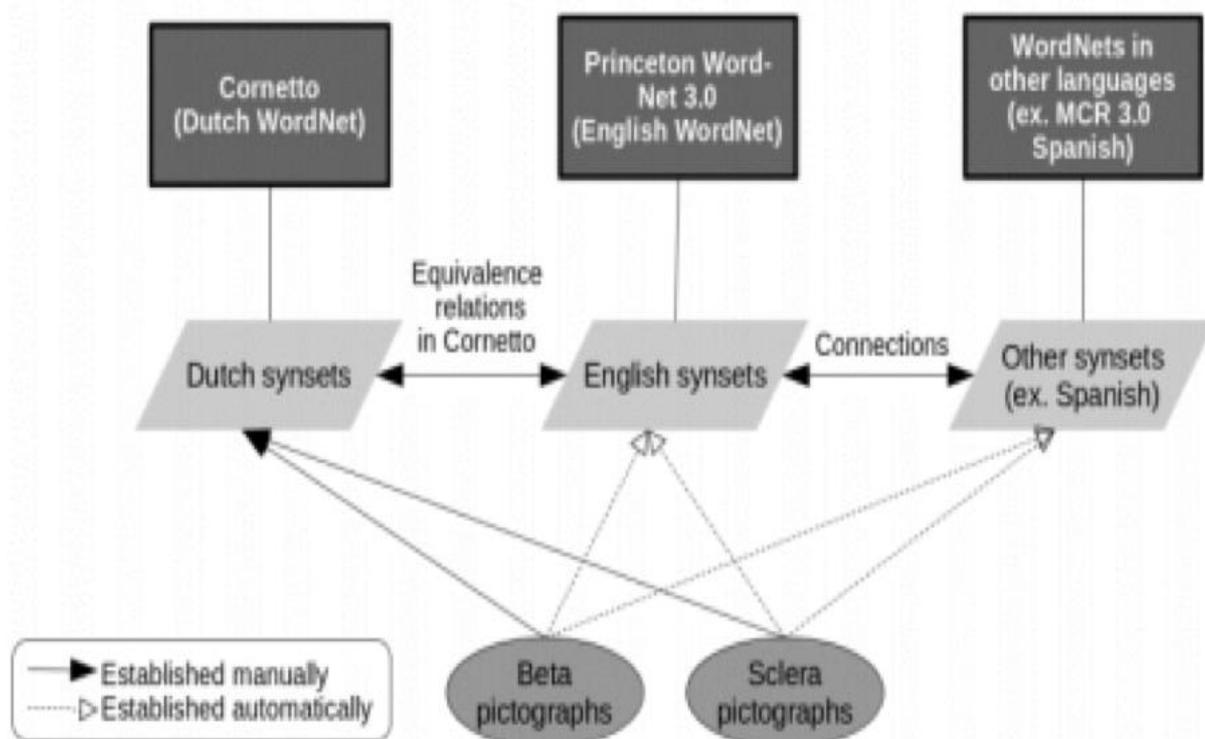


Рисунок 14 - Связи между базами WordNet для голландского, английского и испанского языков в проекте «Text2Picto»

Для разработки системы был проанализирован исходный код программы проекта Text2Picto и структура его баз данных.

В проекте Text2Picto все сети WordNet представлены в виде реляционной базы данных PostgreSQL со схожей структурой, представленной на рисунке 15.

WordNet для каждого поддерживаемого языка связан с WordNet для английского языка. Связи осуществляются за счет таблиц соответствия синсетов между языками (рисунок 16).

Такой подход связывания языков между собой применяется для того, чтобы при интеграции нового языка не создавать вручную связи между пиктограммами и синсетами добавляемого языка. WordNet-сети для языков романской группы разрабатываются со встроенными связями со стандартной Принстонской базой WordNet для английского языка [21]. Наличие таких связей помогает решать задачи, связанные с машинным переводом, анализом семантики текстов на естественном языке и других задач из области компьютерной лингвистики.

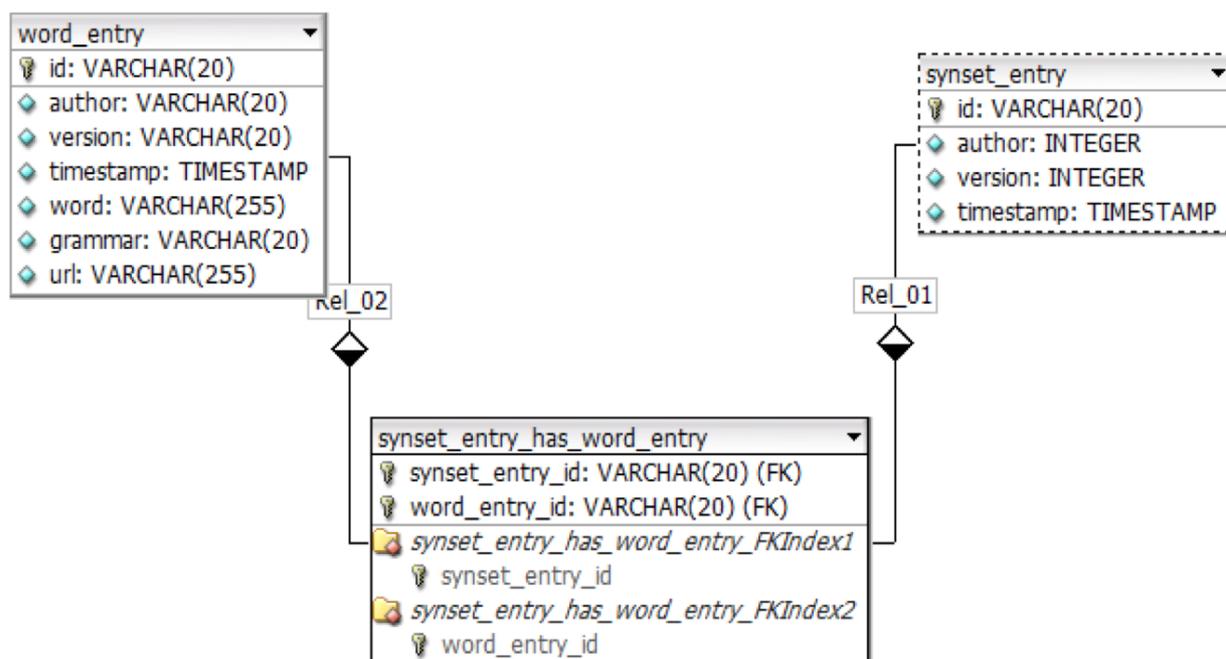


Рисунок 15 - Общая структура WordNet, представленная в базе данных

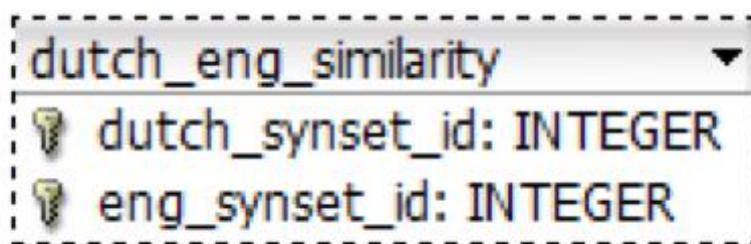


Рисунок 16 - ER-представление таблицы, связывающей сети WordNet для разных естественных языков

Использование связей с центральной базой WordNet в голландской базе позволило разработчикам системы «Text2Picto» достаточно быстро реализовать поддержку английского языка в проекте. Для этого не требовалось создавать связи между пиктограммами и синсетам английского языка, так как для них можно определить соответствующие голландские синсеты, для которых уже известны пиктограммы.

Подобным образом можно осуществить в проекте поддержку любого другого языка, для которого есть WordNet с имеющимися в нем связями с центральной WordNet. Так в «Text2Picto» был добавлен испанский язык. Поиск пиктограмм, соответствующих синсетам испанского языка, происходит также

через голландскую базу WordNet, используя базу для английского языка в качестве связующего промежуточного звена [20].

Это оговорит о том, что любой такой язык может быть добавлен в проект Text2Picto, и перевод будет осуществляться через английский язык в качестве «посредника», синсеты которого привязаны к пиктограммам.

Для добавления поддержки русского языка в «Text2Picto» было изучено большое количество материалов о базах WordNet для русского языка. На данный момент существует несколько тезаурусов, собранных различными университетами или компаниями, однако они несколько уступают базам для голландского или испанского языка. Основной сложностью разработки WordNet для русского языка является его богатый лексикон и сложная грамматика. При обработке русского языка возникают такие проблемы, как сложная морфология слов, неологизмы, омонимия, свободный порядок слов в синтаксисе и раскрытие анафор. В силу того, что язык пиктограмм является упрощенным для людей с ментальными и речевыми нарушениями, можно опустить семантический анализ концептов языка в контексте. Достаточно использовать наиболее часто употребляемые значения каждой леммы языка [20].

Для реализации поддержки преобразования пиктограммных сообщений на русский язык необходим тезаурус для русского языка. Были рассмотрены различные существующие тезаурусы для русского языка. Сравнение рассмотренных тезаурусов для русского языка представлены в таблице 3.

Исходя из представленных в таблице тезаурусов, наиболее подходящим для использования, является YARN, так как его лицензия позволяет бесплатное использование и формат дает возможность обработать данные в собственной программе.

Таблица 3 - Сравнение тезаурусов для русского языка

Название	Формат	Связи с синсетами английского языка	Лицензия
Russian Wordnet (Русский Wordnet)	.wn (формат для просмотра в специальном ридере)	Нет	OPEN
RussNet	xml	Нет	RESTRICTED (sample available for free)
YARN	xml	Нет	CC BY-SA

Модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм

Главной проблемой интеграции русского языка со структурой данных «Text2Picto» является то, что ни одна из существующих баз WordNet для русского языка не имеет связей с центральной WordNet для английского языка. Это означает, что возможность добавить в «Text2Picto» поддержку русского языка таким же образом, как это было сделано для испанского языка отсутствует.

Можно выбрать другие решения для осуществления данной интеграции:

- создать связи между пиктограммами и синсетами базы WordNet для русского языка вручную;
- разработать модель взаимосвязи между синсетами тезауруса для русского языка и синсетами центрального тезауруса для английского языка с помощью электронных словарей и систем для машинного перевода с английского языка на русский язык [20].

Первый подход позволит обеспечить высокое качество, так как все смысловые концепты в синсетах WordNet для русского языка будут анализироваться человеком, что позволит более точно подобрать к ним

соответствующие пиктограммы. Однако, данный процесс требует больших затрат времени в силу большого количества пиктограмм и синсетов в базе [20].

Для создания модели связей между синсетами в базе WordNet для русского языка и центральной базы WordNet для английского необходимо осуществить перевод лемм с одного языка на другой в одной из WordNet и найти соответствующие леммы в другой WordNet по их переводу. Было принято решение переводить леммы английского языка на русский язык. В результате перевода многих лемм английского языка на русский может возникнуть несколько вариантов, которые в русском языке могут иметь различное семантическое значение и быть разными частями речи. Например, английское слово «sea» можно перевести как «море», что может принадлежать различным синсетам базы WordNet для русского языка. «Море» может относиться к концептам, обозначающим водоем и концептам, обозначающим количество со значением «много». Если переводить на язык пиктограмм слово «море», то наиболее ожидаемым результатом пользователя будет изображение водоема, так как для обозначения большого количества существуют более точные и часто употребляемые слова.

Для решения подобных проблем при создании связей между синсетами для разных языков нужно определять, насколько синсеты схожи по своему составу.

Процесс создания связей между синсетами на разных языках можно описать следующими шагами:

- выбрать один из синсетов центральной базы WordNet для создания связей;
- перевести все леммы выбранного синсета на русский язык, получив все варианты переводов всех лемм синсета;
- найти все синсеты в базе WordNet для русского языка, в которых присутствуют в качестве лемм хотя бы некоторые из вариантов переводов, найденных на предыдущем шаге;
- подсчитать количество вхождений вариантов перевода в каждом из синсетов, найденных на предыдущем шаге;

- выбрать те синсеты базы WordNet для русского языка, в которых было найдено наибольшее количество вхождений вариантов переводов [20].

Таким образом, особенностью разработанной модели взаимосвязи тезаурусов является то, что она отражает взаимосвязи только наиболее семантически близких концептов в базах WordNet для русского и английского языков. Помимо этого, применение данной модели в основе метода позволяет избегать проблем омонимии в русском языке. Это происходит благодаря тому, что даже если в синсете для русского языка будет найдено вхождение одного из вариантов перевода, то количество таких вхождений будет мало и синсет не будет выбран в качестве наиболее семантически близкого с анализируемым концептом на английском языке.

Разработанная модель взаимосвязи схематично представлена в виде диаграммы в нотации Crow's Foot на рисунке 17.

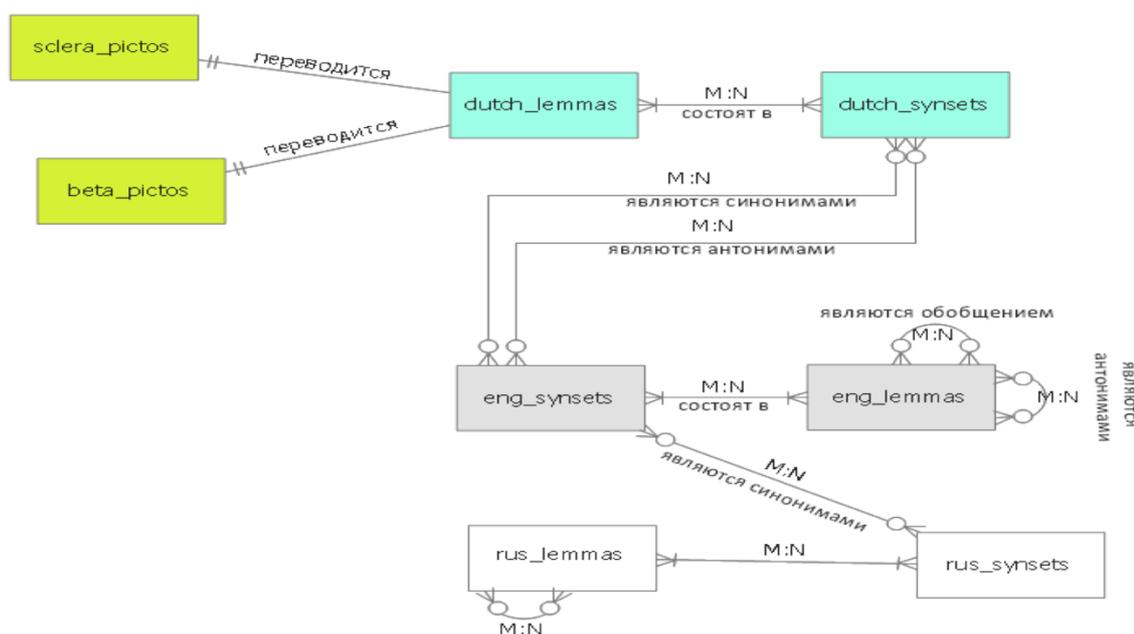


Рисунок 17 - Модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в пиктограммы

Обеспечив приведенную структуру данных модели, можно производить перевод отдельных слов входного текста в систему альтернативной коммуникации.

По данным представленной диаграммы видно, что для перевода необходимо оперировать леммами входного текста, а не исходными словоформами.

Описание алгоритма преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм

После ввода текстового сообщения на естественном языке необходимо произвести лемматизацию всех слов в тексте для того, чтобы получить последовательность лемм (начальных форм). После этого начинается процесс поиска входных лемм в составе синсетов базы WordNet для русского языка. Те леммы, которые не были найдены в WordNet необходимо игнорировать, так как далее найти соответствующие им пиктограммы будет невозможно. Далее происходит поиск пиктограмм, соответствующих найденным синсетам с использованием английской базы WordNet в качестве промежуточного звена по принципу, описанному выше. Процесс преобразования представлен на рисунке 18.

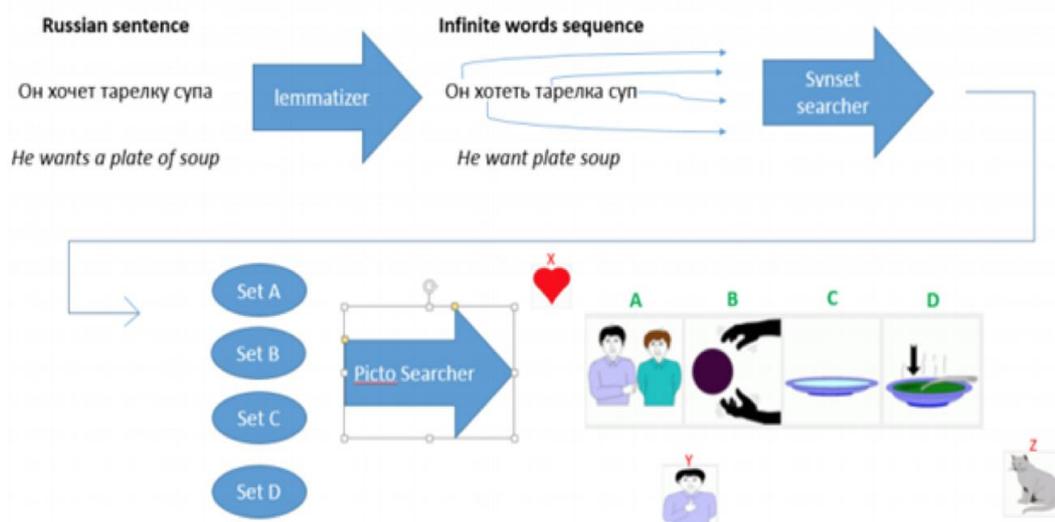


Рисунок 18 - Схема процесса преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм

Алгоритм преобразования слова в систему альтернативной коммуникации на верхнем уровне представлен на рисунке 19.

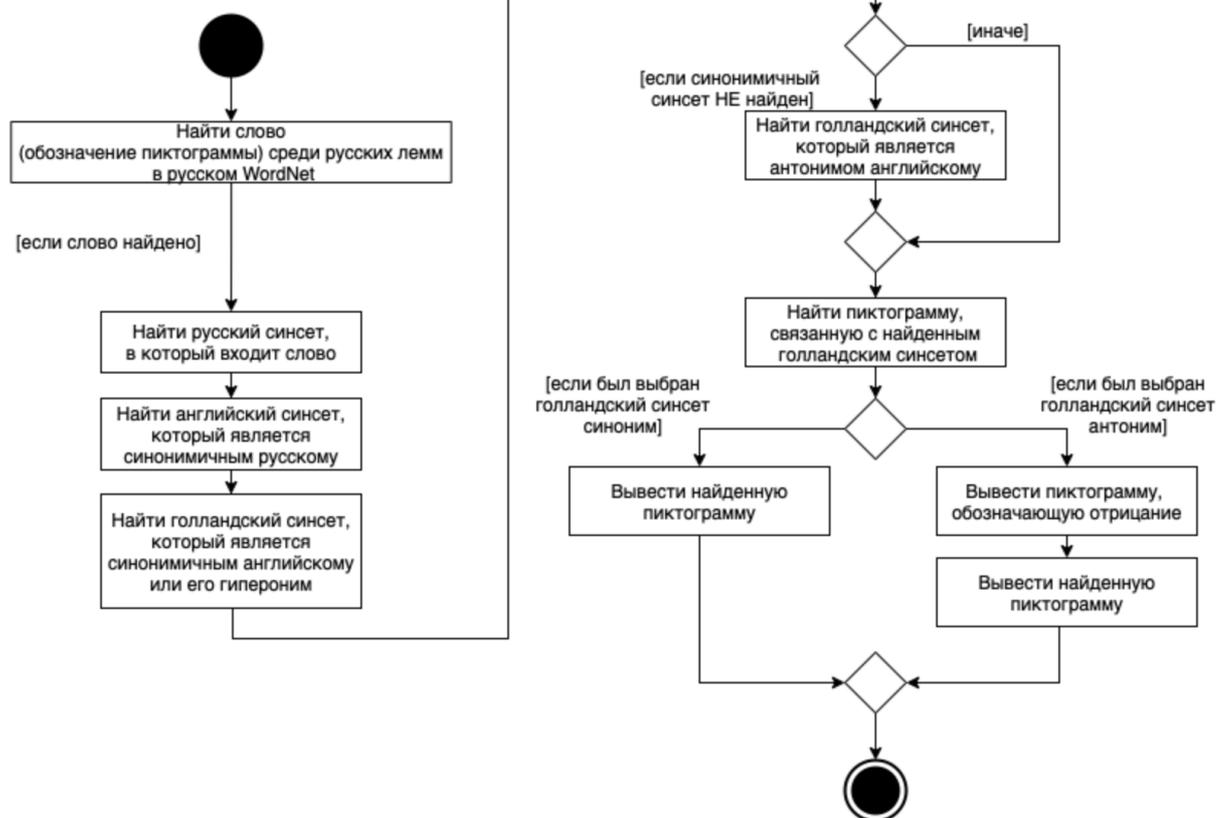


Рисунок 19 - Activity-диаграмма алгоритма преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм

2.2 Описание методов автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст (методы ПТ/П и ПТ/НТ)

Для определения метода решения данной задачи был проведен обзор существующих методов преобразования сообщений в альтернативной системе коммуникации в текстовые сообщения на русском языке.

Система альтернативной коммуникации представляет собой банк пиктограмм, каждая пиктограмма которого обозначает слово на естественном языке или комплексный концепт. Для каждой пиктограммы известен перевод на русском языке. При составлении пиктограммного сообщения формируется последовательность пиктограмм, образуя предложения. Для преобразования таких сообщений на русский язык требуется каждый из инфинитивных переводов

привести к грамматически правильной форме, то есть согласовать предоставленные слова в предложении.

Анализ подходов к разработке автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст

Таким образом, задача трансформации пиктограммного сообщения в текстовое сводится к формированию связного текста из набора инфинитивных форм, определяющих каждую из пиктограмм [6].

Для реализации данного преобразования были рассмотрены различные методы автоматической генерации текста по заданным словам, а именно:

- формальные грамматики [23];
- метод на основе шаблонов [24];
- машинное обучение [25].

Данные подходы генерации текста на основе последовательности инфинитивов были отражены в карте mind-map, представляющей предметную область на рисунке 20.



Рисунок 20 - Фрагмент карты mind-map, отражающий элементы задачи преобразования пиктограмм в текстовое сообщение

Сравнительный анализ приведенных методов с обзором их достоинств и недостатков приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты анализа методов решения задачи генерации связного текста из последовательности инфинитивов

Метод	Достоинства	Недостатки
Формальные грамматики	Набор правил описывает много различных вариантов предложений и обеспечивает большую вариабельность	Требуется большое количество трудозатрат для составления всех необходимых правил, чтобы учесть варианты предложений, составляемых из пиктограмм. Ограниченный словарный запас.
Метод на основе шаблонов	Шаблоны могут быть сгенерированы автоматически из переданного набора предложений, собранных у экспертов	Обеспечивает меньшую вариабельность предложений в сравнении с методом формальных грамматик.
Машинное обучение	Отсутствие необходимости формализации структуры предложений. Простой способ обучения нейронной сети.	Больше подходит для генерации относительно случайных текстов, чем для составления текстов из конкретных слов. Для данной задачи обучающая выборка должна представлять почти перебор всех возможных предложений, которые могут быть составлены из пиктограмм.

По результатам приведенного анализа было принято решение использовать как метод на основе шаблонов, так и на основе машинного обучения для согласования слов в предложении. В силу того, что на практике используются пиктограммные сообщения достаточно простой структуры и с ограниченным

количеством участвующих в них концептов, составление необходимых шаблонов или формирование обучающих корпусов текстов потребует меньшее количество трудозатрат, чем описание формальных грамматик [6].

Описание метода автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст (метод ПТ/П и ПТ/НТ)

Основная идея метода трансформации пиктограммного сообщения в текстовое на русском языке с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами, заключается в том, чтобы заранее собрать у экспертов банк предложений, на основе которых подготовить набор шаблонов наиболее часто употребляемых предложений в процессе работы с пиктограммами, которые содержат информацию о том, как нужно склонять слова во входной последовательности для получения связного предложения. При получении входной последовательности инфинитивных форм слов нужно определить, какому шаблону может соответствовать такая последовательность, а затем применить морфологические преобразования слов, предписанные в найденном шаблоне.

Для реализации данного метода помимо шаблонов, нужно разработать модель предложения русского языка, отражающую характеристики лемм, входящих в состав предложения и доступные морфологические преобразования лемм для получения связного предложения. Тогда при помощи такой модели можно взаимодействовать с данными шаблонов и осуществлять перевод инфинитивной последовательности в связный текст в соответствии с ними.

Разработанный метод трансформации пиктограммного сообщения в текстовое на русском языке с использованием наиболее часто употребляемых предложений (метод ПТ/П) состоит из нескольких шагов, представленных в виде алгоритма на рисунке 21.

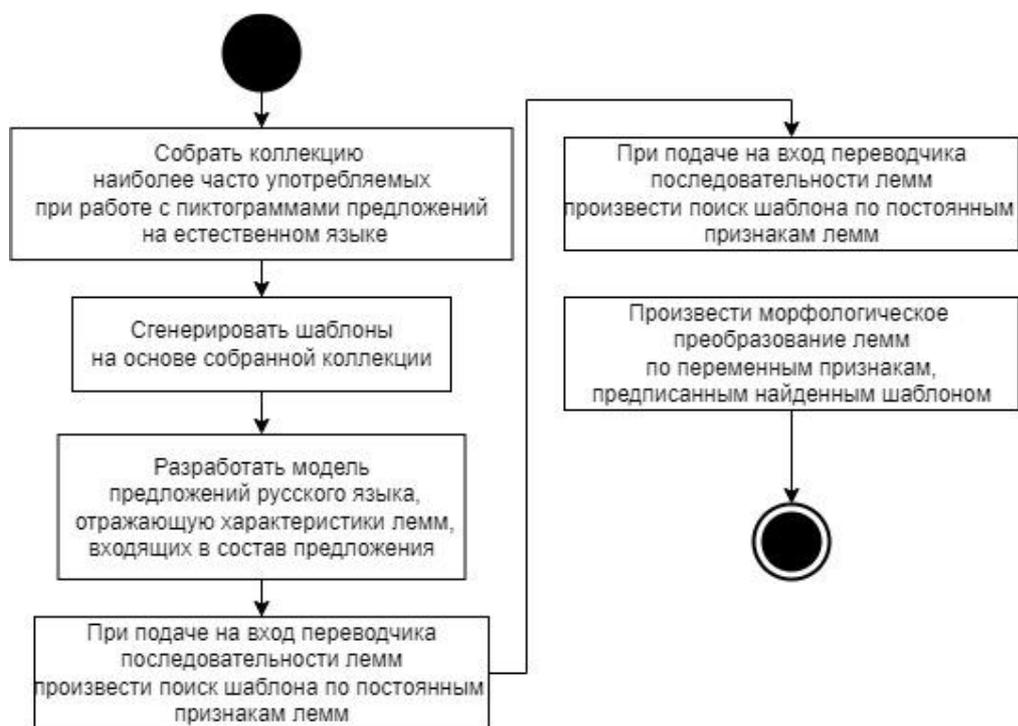


Рисунок 21 - Метод трансформации пиктограммного сообщения в текстовое на русском языке с использованием наиболее часто употребляемых предложений (метод ПТ/П)

Этапы метода ПТ/П:

а) При участии экспертов собрать коллекцию наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами предложений на естественном языке. Данная коллекция предложений была предоставлена экспертами предметной области, специалистами-реабилитологами детского реабилитационного центра ГБСУ СО ОРЦДИ «Надежда».

б) Разработать модель предложений русского языка для автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст за счет формирования шаблонов предложений, описывающую переменные и постоянные морфологические признаки каждого члена предложения.

Каждому предложению на естественном языке из собранной коллекции предложений автоматически создается шаблон на основе предложений, для этого производится определение части речи и морфологический разбор каждого члена предложения, на основании которого строится шаблон.

в) При подаче на вход процесса преобразования текстовой инфинитивной последовательности проводится морфологический разбор каждого слова переданной входной последовательности и по постоянным признакам частей речи в последовательности определяется наиболее подходящий шаблон предложения, которому соответствует переданная последовательность.

г) Провести морфологическое преобразование каждого слова входной последовательности в соответствии с найденным шаблоном.

Описание модели предложений русского языка для автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст

Разработанная модель предложения русского языка представляется в виде объекта в объектно-ориентированной парадигме программирования, который обладает своими данными и поведением.

Данные объекта модели:

- состав слов в предложении и их текстовое значение;
- постоянные морфологические признаки для каждого слова;
- переменные морфологические признаки для каждого слова.

В части поведенческих характеристик модель позволяет осуществлять над имеющимися данными следующие преобразования:

- осуществить морфологическое преобразование указанной леммы в соответствии с заданными параметрами преобразования для образования слова;
- получить значение образованного слова.

Источником переменных морфологических признаков, в соответствии с которыми производится преобразование лемм в согласованные слова, является шаблон, предписывающий процесс преобразования инфинитивной последовательности в связный текст.

Графически модель предложений русского языка, отражающая совокупность данных и поведения модели, для автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст представлена в виде

диаграммы классов на верхнем аналитическом уровне в нотации UML 2.0 на рисунке 22.

Для более подробного описания отношений между основными концептами моделируемой предметной области структура данных русскоязычного предложения представлена в виде онтологической модели.

Схема онтологической модели представляет собой иерархию классов, которая отражает отношение «тип-подтип» и позволяет выделить общие свойства для сущностей, принадлежащих данным классам. Модель предложения содержит следующие классы верхнего уровня:

- «owl:Thing» - класс верхнего уровня иерархии;
- «Морфологический_признак» - объекты данного класса представляют морфологические признаки частей речи и делятся на подклассы «Постоянный признак» и «Переменный признак»;
- «Предложение» - объект данного класса представляет массив слов, из которых состоит предложение;
- «Слово» - объекты данного класса представляют слова, составляющие предложение и делятся на подклассы частей речи.

Иерархия классов онтологической модели представлена на рисунке 23. Соответствие цветов ребер графа связям между узлами также приведены на рисунке.

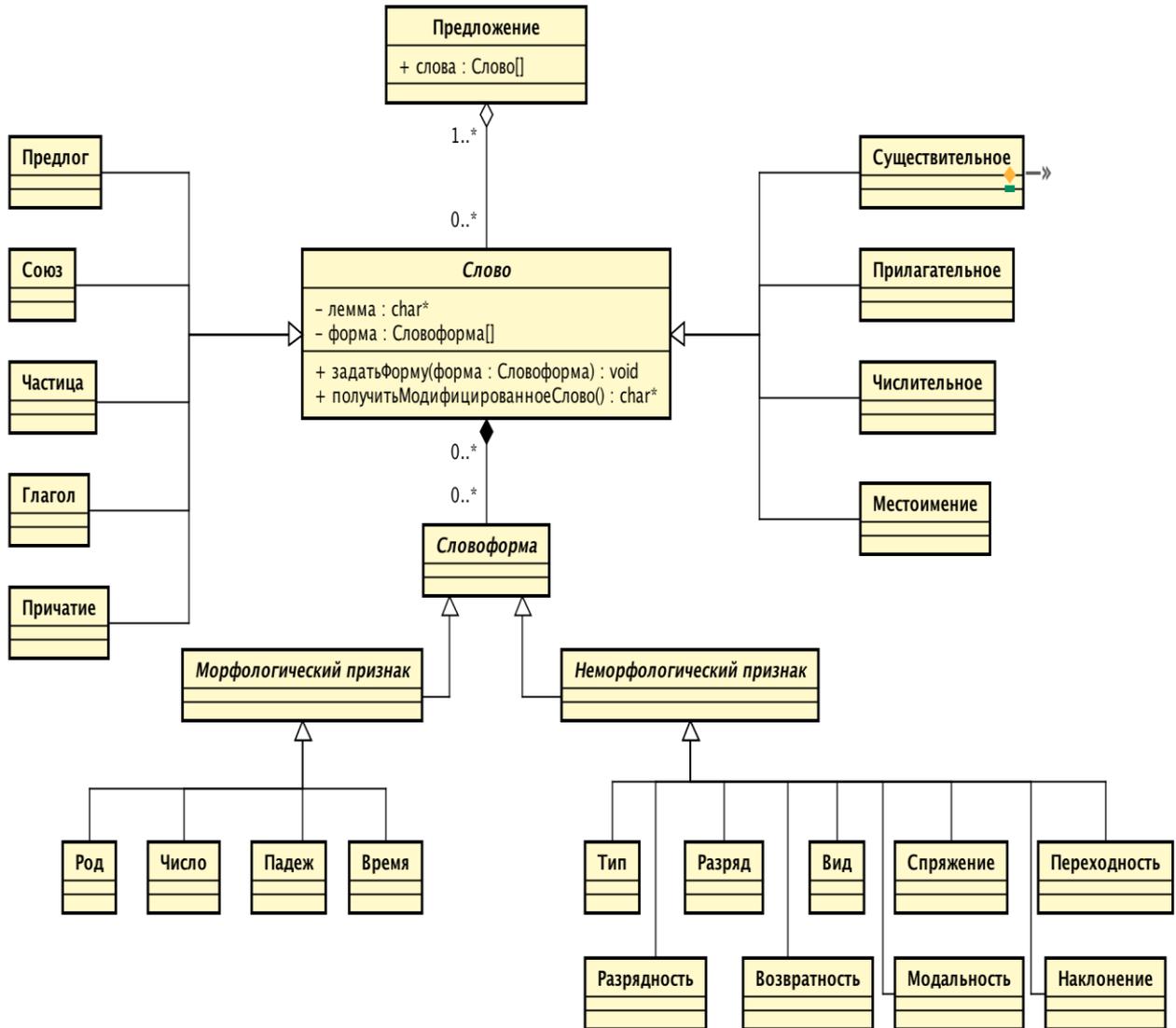


Рисунок 22 - Модель предложений русского языка для автоматического трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст

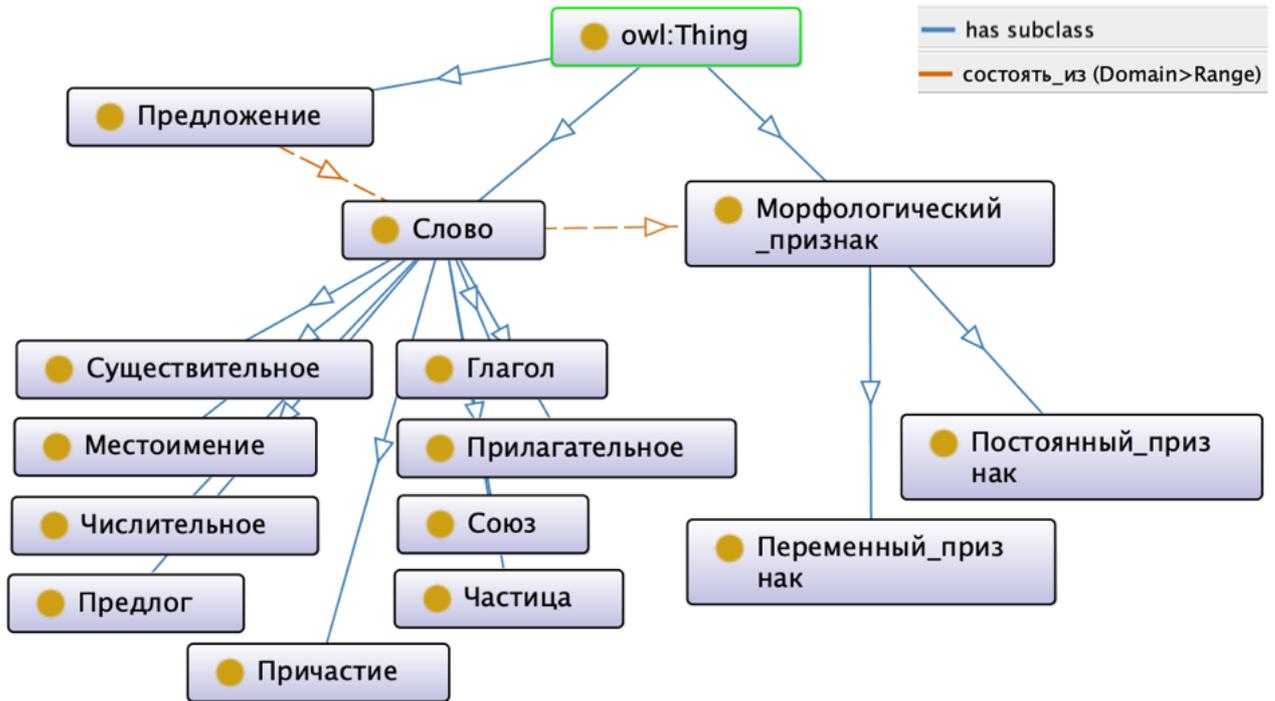


Рисунок 23 - Иерархия классов онтологической модели

Свойства данных (DataProperties) онтологической модели:

- «значение» - служит для указания строкового значения объектов класса «Морфологический признак»;
- «индекс» - служит для указания позиции в предложении у объектов класса «Слово».

Пример предложения «Я играю.» с заполненными в модели постоянными морфологическими признаками слов представлен на рисунке 24 в виде графа. Соответствие цветов ребер графа связям между узлами также приведены на рисунке.

Данные о постоянных признаках лемм, полученные в результате морфологического разбора каждой леммы, размещаются в модели в виде сущностей класса «Постоянные_признаки».

Данные о переменных признаках лемм, полученные из соответствующего последовательности шаблона, размещаются в модели в виде сущностей класса «Переменные_признаки».

На рисунке видно, что в модели присутствуют данные о предложении с символическим обозначением «я_играть», которое состоит из двух объектов слов

с символическим обозначением «я» и «играть». Для каждого слова описаны их части речи и морфологические признаки, принадлежащие классу «Постоянные_признаки». Пример заполнения как постоянных, так и переменных морфологических признаков для слова «я» из примера выше показан на рисунке 25 в виде графа.

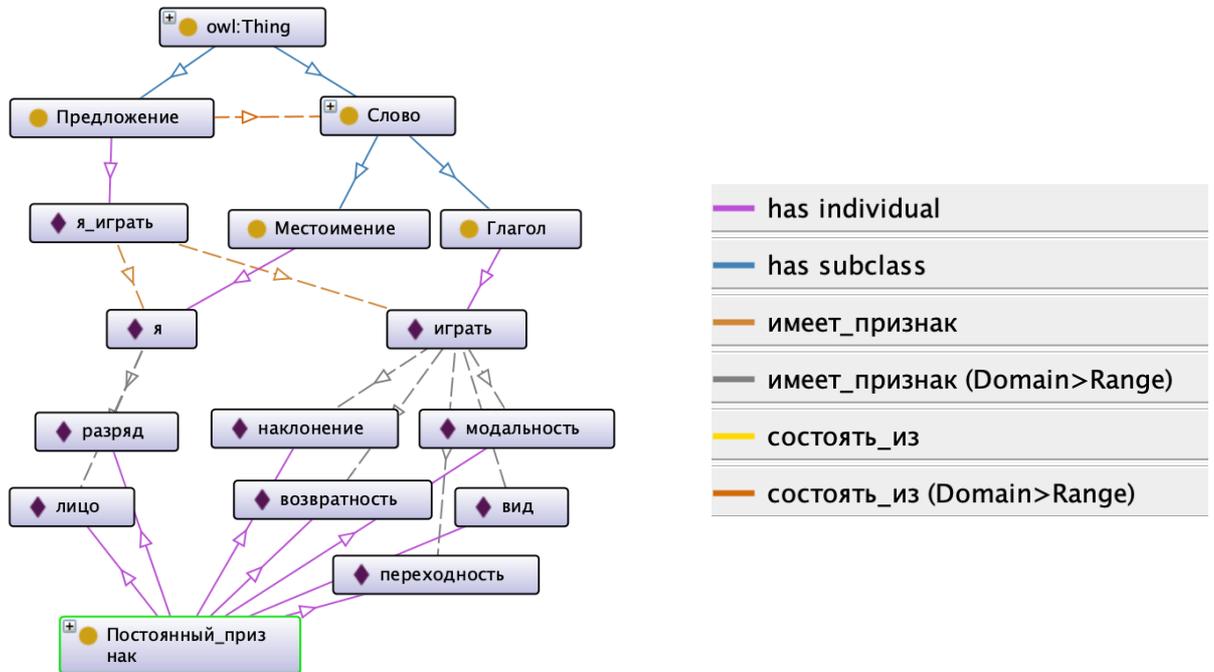


Рисунок 24 - Пример предложения с заполненными в модели постоянными морфологическими признаками слов

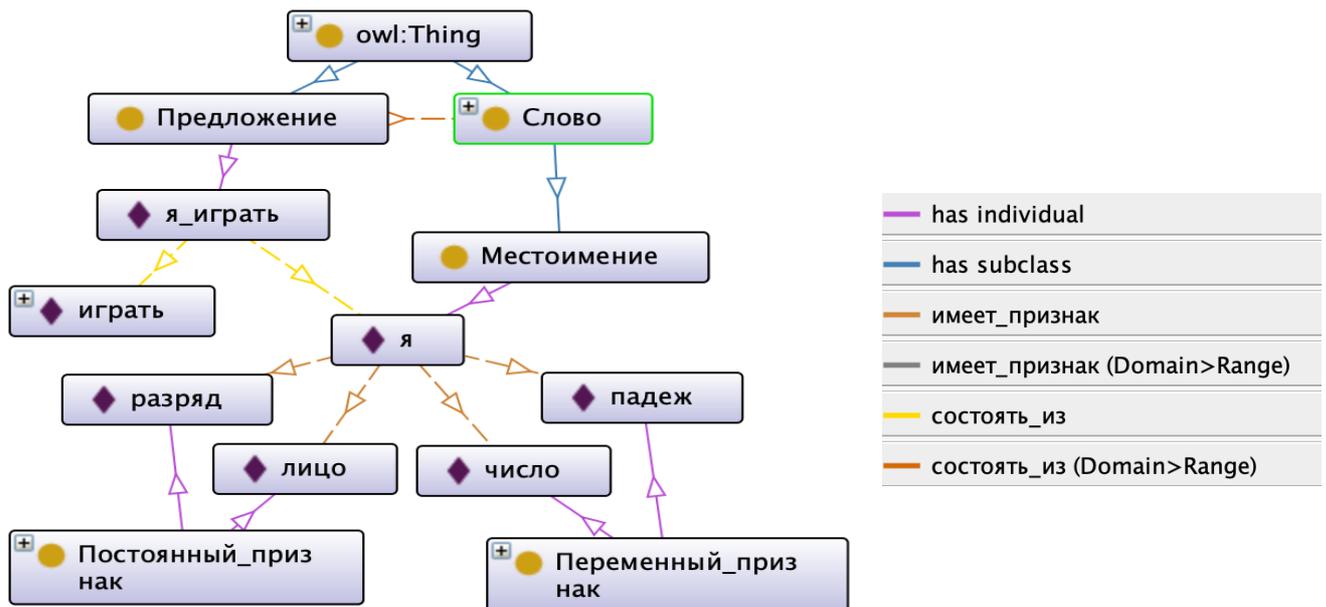


Рисунок 25 - Пример заполнения в модели постоянных и переменных морфологических признаков для слова «я»

Описание процесса подготовки шаблонов для модели и их применения

Шаблоны для описания предложений, которые могут быть построены из инфинитивной последовательности должны содержать информацию о каждом члене предложения и его словоформе. Данные шаблоны можно сгенерировать автоматически на основе предложений на естественном языке, что значительно ускоряет формирование их базы. Список предложений на естественном языке был собран при участии экспертов предметной области (специалистов детского реабилитационного центра), что дает возможность обеспечить максимальное покрытие поддерживаемых для трансформации последовательностей пиктограмм.

В основе реализации трансформации лежит анализ входных данных на соответствие тому или иному заготовленному шаблону и применение преобразований над входными данными, предписанных соответствующим шаблоном [6]. Шаблон должен показывать, какие преобразования необходимо произвести над входными данными, чтобы получить согласованное предложение в качестве перевода.

Для решения задачи трансформации было принято решение использовать в качестве шаблона список, элементы которого несут информацию о том, какой части речи соответствует элемент и какими постоянными и переменными признаками он обладает.

Используемые в шаблонах части речи и их постоянные и переменные признаки приведены в таблице 5.

Для того, чтобы не описывать каждый шаблон вручную, было принято решение автоматически создавать предложенный шаблон на основе предложений на естественном языке. При формировании шаблона на основе предложения производится определение части речи и морфологический разбор каждого члена предложения, на основании которого строится шаблон. Возможности проведения данного разбора предоставляют различные лингвистические библиотеки для языков программирования. Для языка PHP используется библиотека

“phpMorphy”. Для хранения и обработки сформированных шаблонов используется формат разметки XML.

Таблица 5 - Постоянные и переменные признаки элементов шаблона

Часть речи	Переменные признаки	Постоянные признаки
Имя существительное	Число, падеж	Род, одушевленность, склонение, собственное или нарицательное
Имя прилагательное	Род, число, падеж	-
Часть речи	Переменные признаки	Постоянные признаки
Имя числительное	Род, число, падеж	Тип (количественное или порядковое)
Наречие	-	-
Местоимение	Число, падеж	Род, разряд (личное, притяжательное, возвратное, вопросительное, относительное, неопределенное, отрицательное, указательное, определительное)
Глагол	Время, лицо, род, число	Спряжение, вид, переходность, возвратность, наклонение, модальность
Причастие	Время, род, число, падеж	Вид, переходность, возвратность
Деепричастие	-	-
Предлог	-	-
Союз	-	-
Частица	-	-

Для того, чтобы определить, какому шаблону соответствует последовательность входных инфинитивов, проводится морфологический разбор

каждого инфинитива. Это даст возможность сравнивать состав входной последовательности с имеющимися шаблонами по частям речи и постоянным признакам.

После того, как подходящий шаблон предложения будет найден, производится морфологическое преобразование каждого инфинитива в соответствии с шаблоном, в результате чего образуется согласованное предложение.

Например, шаблон, сформированный на основе предложения «Я играю» будет иметь вид, представленный в формате xml на рисунке 26. Морфологическое преобразование инфинитивной последовательности в соответствии с шаблоном проиллюстрировано на рисунке 27.

```

<text>Я играю.</text>
<tokens>
  <token>
    <word>Я</word>
    <position>0</position>
    <lemma>я</lemma>
    <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ
      </part_of_speech>
    <tags>ЛИЦО : 1 | ПАДЕЖ
      : ИМ | ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ
      : АВТОНОМ | ЧИСЛО : ЕД</tags>
  </token>
  <token>
    <word>играю</word>
    <position>1</position>
    <lemma>играть</lemma>
    <part_of_speech>ГЛАГОЛ
      </part_of_speech>
    <tags>НАКЛОНЕНИЕ : ИЗЪЯВ | ВРЕМЯ
      : НАСТОЯЩЕЕ | ЛИЦО : 1 | ЧИСЛО
      : ЕД | МОДАЛЬНЫЙ : 0 | ПЕРЕХОДНОСТЬ
      : ПЕРЕХОДНЫЙ | ПАДЕЖ : ВИН | ПАДЕЖ
      : ТВОР | ВИД
      : НЕСОВЕРШ | ВОЗВРАТНОСТЬ : 0
    </tags>
  </token>

```

Рисунок 26 - Пример шаблона, сформированного на основе предложения

«Я играю»

для одной и той же последовательности инфинитивов может подходить несколько шаблонов одновременно, сгенерированных на основе разных предложений.

Для того, чтобы выбрать нужный шаблон, необходимо произвести преобразования над инфинитивами в соответствии со всеми подходящими шаблонами, а затем для каждого получившегося предложения сформировать синтаксическое дерево, которое описывает взаимоотношения членов предложения между собой (его структуру). Синтаксическое дерево для предложения также можно построить автоматически с помощью программы `gntp-parser-ru`.

Далее следует сравнить получившееся синтаксическое дерево с синтаксическим деревом соответствующего шаблона. Подходящим шаблоном следует считать тот, с которым будут совпадать как постоянные признаки частей речи, так и синтаксические деревья по своей структуре.

Пример синтаксического дерева, сформированного на основе предложения «Я играю» в формате xml представлен на рисунке 28.

```
<syntax_tree>
<node><token>0</token><word>Я</word><parent>1</parent><parent_word
>играю</parent_word><link_type>SUBJECT</link_type></node>

<node is_root='true'><token>1</token><word>играю</word><parent>-1
</parent><parent_word></parent_word><link_type></link_type
></node>

<node><token>2</token><word>.</word><parent>1</parent><parent_word
>играю</parent_word><link_type>PUNCTUATION</link_type></node>

</syntax_tree>
```

Рисунок 28 - Пример синтаксического дерева, сформированного на основе предложения «Я играю»

Структура данных синтаксического дерева в формате xml содержит следующие узлы:

- `syntax_tree` - тэг, содержащий массив узлов синтаксического дерева;

- node - тэг, обозначающий очередной узел синтаксического дерева, содержит атрибут is_root, указывающий на то, что этот узел является корневым;
- token - тэг, обозначающий позицию слова в предложении, соответствующего данному узлу;
- word - тэг, обозначающий строковое значение слова в предложении, соответствующего данному узлу;
- parent - тэг, обозначающий позицию родительского узла;
- parent_word - тэг, обозначающий строковое значение слова родительского узла;
- link_type - тэг, обозначающий тип связи с родительским узлом.

Реализовав данный подход, можно переводить пиктограммные сообщения в текстовые на русском языке, причем в результате перевода будут получаться грамматически согласованные предложения. Подход на основе шаблонов не может дать абсолютной точности перевода в случае отсутствия подходящего шаблона предложения или возникновения неразрешимых неоднозначностей при выборе шаблона, однако в системе пиктограммных сообщений большое количество физических ограничений для построения предложений, что обеспечивает отсутствие сложных грамматических конструкций и уменьшает вероятность появления непредвиденных в шаблонах последовательностей.

Описанный подход на основе шаблонов дает возможность переводить пиктограммные сообщения в текстовые на русском языке, однако данный метод подходит для относительно коротких предложений (до 5 слов). Для более длинных предложений предсказать все возможные варианты предложений и добавить необходимые шаблоны становится проблематично в силу их большого количества. Также при наличии большого количества шаблонов предложений чаще возникает ситуация, когда для одной и той же последовательности инфинитивов подходят несколько шаблонов одновременно.

Описание метода автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст на основе автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера (метод ПТ/НТ)

Был разработан второй метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст на основе автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера (метод ПТ/НТ), позволяющий формировать согласованное предложение на русском языке с учетом особенностей его морфологии, порядка слов и наличием омонимов. Метод на основе машинного обучения позволяет переводить входные последовательности длиной более 5 слов, а также является более эффективным методом для трансформации последовательностей, не учтенных в процессе сбора коллекции предложений.

Разработанный метод ПТ/НТ состоит из нескольких шагов, представленных на рисунке 29.

Этапы метода ПТ/НТ:

№1. Собрать корпус предложений на русском языке. Для решения задачи был собран 1 миллион предложений из открытых источников и корпусов для обучения нейронных сетей.

№2. Произвести лемматизацию всех слов, содержащихся в собранном корпусе и получить второй, параллельный корпус, состоящий из инфинитивных последовательностей. Для этого был реализован алгоритм на языке программирования Python с использованием инструмента для лемматизации «Яндекс-стеммер» (процесс получения параллельных текстовых корпусов для обучения представлен на рисунке 8).

№3. Произвести обучение нейронной сети. В качестве исходного текста передать на вход корпус текстов с лемматизированными предложениями, а в качестве результирующего текста корпус текстов с согласованными предложениями.

№4. Оценить при помощи метрик точности (Accuracy) и разброса (Perplexity) результаты обучения и, при необходимости, произвести изменения гиперпараметров обучения.

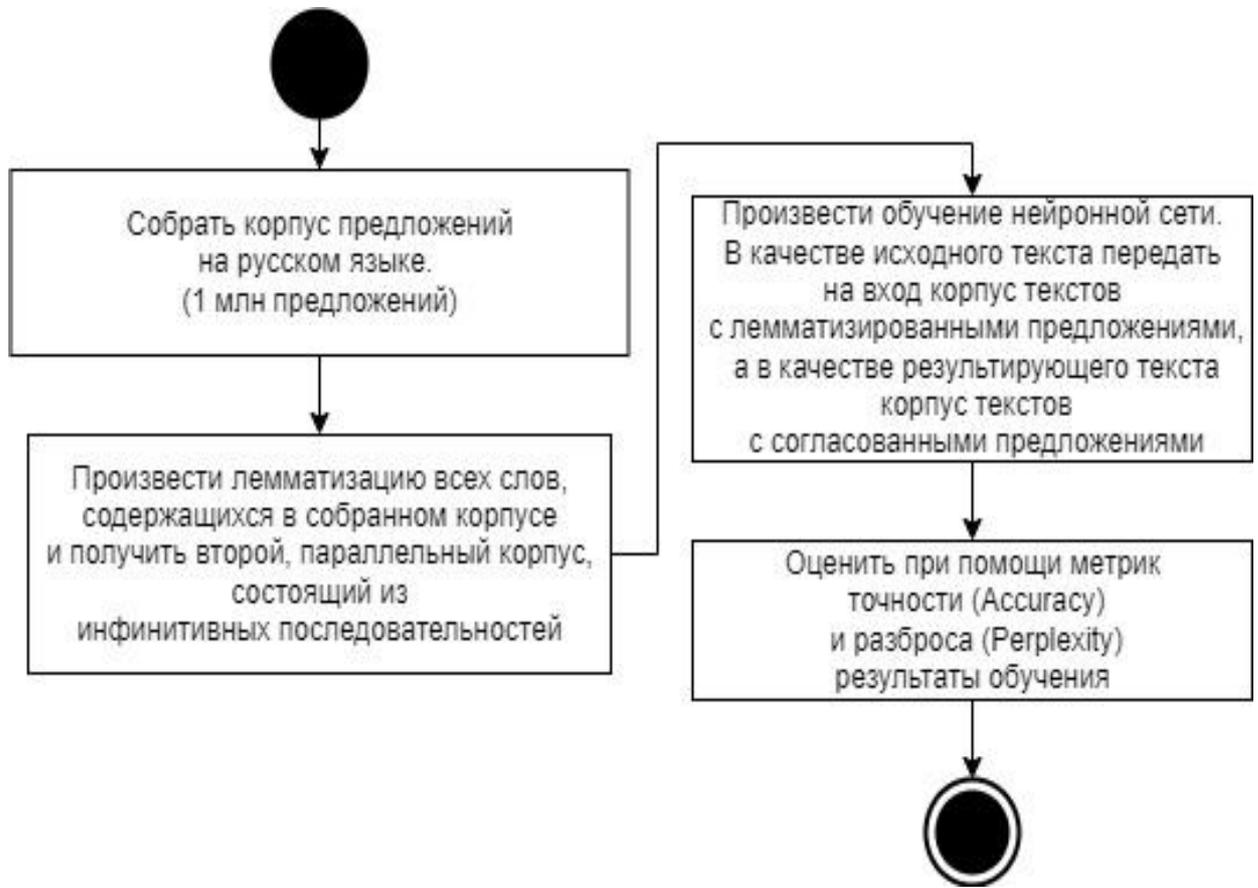


Рисунок 29 - Метода ПТ/НТ

Алгоритмы, в основе которых лежит машинное обучение, в частности глубинное машинное обучение (deep learning), позволяют решать задачи перевода текстов с одного языка на другой в более общем виде, чем методы, основанные на построении структурных моделей естественного языка. Системы, построенные на машинном обучении, являются более устойчивыми к непредсказуемым входным данным, а также способны переводить более длинные и сложные предложения.

На сегодняшний день существует большое количество алгоритмов машинного обучения для решения различных задач. С их помощью можно осуществлять классификацию данных, распознавать визуальные образы и переводить тексты с одного языка на другой.

Автоматический или машинный перевод - это одна из самых сложных задач искусственного интеллекта, учитывая особенности человеческого языка. Классически для этой задачи использовались системы на основе правил, которые были заменены статистическими методами. После статистических методов появились более современные модели перевода на основе нейронных сетей, а процесс перевода с их помощью стал называться нейронным машинным переводом.

Нейронный машинный перевод (NMT) - это новая методология машинного перевода, которая значительно превосходит, особенно с точки зрения оценки качества человеком, системы перевода на основе правил и статистических методов (SMT) [26]. Нейронный машинный перевод рассматривает условный язык для моделирования перевода, описывая вероятность результирующего предложения на основе входного предложения. В основе данного подхода лежит архитектура, включающая кодер, декодер и сети «внимания». Схематическое устройство машины нейронного перевода представлено на рисунке 30.

Красным отмечено векторное представление слов входного предложения, которые подаются в рекуррентную нейронную сеть (RNN). При достижении конца входной последовательности (символ eos), происходит инициализация результирующей RNN, отмеченной синим цветом. Далее, в течение нескольких условных шагов, производится предсказание каждого слова результирующего предложения при переводе.

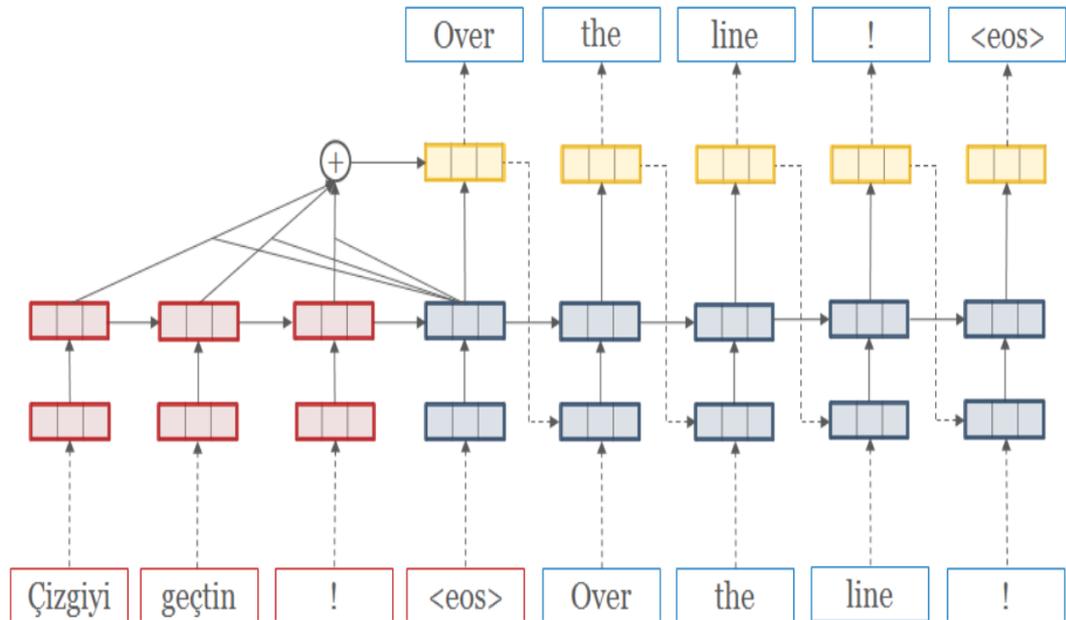


Рисунок 30 - Схематическое отображение машины нейронного перевода

Одним из наиболее популярных методов решения задачи перевода является машинное обучение на параллельных текстовых корпусах [15]. Это значит, что для обучения нейронной сети необходимы два текста на разных языках, идентичных по своему содержанию. Как правило, с одного языка на другой тексты переводятся вручную, для того, чтобы эталоном результата перевода являлся текст, переведенный человеком.

Так как в качестве исходного языка для перевода является последовательность пиктограмм, а не текст на естественном языке, необходимо использовать исходную текстовую интерпретацию пиктограммного сообщения (последовательность инфинитивных форм), как и в методе на основе шаблонов. Таким образом, текст исходного языка должен быть представлен набором последовательностей лемм, а параллельный ему текст на результирующем языке должен состоять из предложений, где данные леммы согласованы. Например, в исходном тексте содержится последовательность инфинитивов “Мальчик хотеть спелый груша”, а в результирующем тексте параллельное данной последовательности предложение - “Мальчик хочет спелую грушу”.

Для различных иностранных языков существуют специально подготовленные корпуса параллельных текстов для обучения нейронных сетей,

но в силу того, что исходный язык в данной задаче является специфичным, потребовалось специально сгенерировать данные для обучения сети. Для этого был взят текстовый корпус, состоящий из 1 миллиона случайно подобранных предложений из открытых источников, которые были преобразованы в последовательности лемм автоматически. Для лемматизации каждого слова в согласованных предложениях был использован инструмент “Яндекс-стеммер” для языка программирования “Python”. В приложении Е приведены первые 25 строк каждого из текстовых корпусов для обучения нейронной сети.

Процесс получения параллельных текстовых корпусов для обучения представлен на рисунке 31.



Рисунок 31 - Процесс получения текстовых корпусов для обучения модели

В качестве нейросетевой модели перевода последовательностей инфинитивных форм в согласованные предложения предлагается использовать архитектуру трансформера, которая была представлена в статье «Attention is all you need» авторами из компании «Google» в 2017 году. Модель нейронной сети трансформера представлена модулями кодера и декодера.

Кодер получает на вход векторное представление входной последовательности (Embeddings) и векторное представление номеров слов (positional embedding). Декодер получает на вход часть этой последовательности и выход кодера. Кодер и декодер состоят из слоев. Слои кодера последовательно

передают результат следующему слою в качестве его входа. Слои декодера последовательно передают результат следующему слою вместе с результатом кодировщика в качестве его входа [27].

Каждый кодировщик состоит из механизма самовнимания (вход из предыдущего слоя) и нейронной сети с прямой связью (вход из механизма самовнимания). Каждый декодер состоит из механизма самовнимания (вход из предыдущего слоя), механизма внимания к результатам кодирования (вход из механизма самовнимания и кодировщика) и нейронной сети с прямой связью (вход из механизма внимания).

Каждый механизм внимания параметризован матрицами весов запросов W_Q , весов ключей W_K и весов значений W_V . Для вычисления внимания входного вектора X к вектору Y , вычисляются векторы $Q = W_Q X$, $K = W_K X$, $V = W_V Y$.

Эти векторы используются для вычисления результата внимания по формуле:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V, \quad (1)$$

где d_k - характеристика размера ключей [28].

Схематичное изображение архитектуры трансформера представлено на рисунке 32.

Для реализации описанной модели нейронной сети был выбран специальный фреймворк “OpenNMT-py” для языка “Python”, который способен на основе двух параллельных текстов создать модель перевода и использовать ее. Помимо обучающих корпусов, на вход “OpenNMT-py” требуются дополнительно два параллельных корпуса, чтобы осуществлять валидацию данных по мере обучения и оценивать точность перевода модели в промежуточных состояниях обучения. В связи с этим, подготовленные корпуса были разделены таким образом, чтобы на вход “OpenNMT-py” было передано 800 тысяч последовательностей лемм и их параллельных переводов для обучения нейронной сети, а 200 тысяч - для ее валидации.

Одним из важных преимуществ фреймворка “OpenNMT-py” является то, что для ускорения процесса обучения нейронной сети можно использовать технологию параллельных вычислений “CUDA”, что значительно сократило время обучения сети.

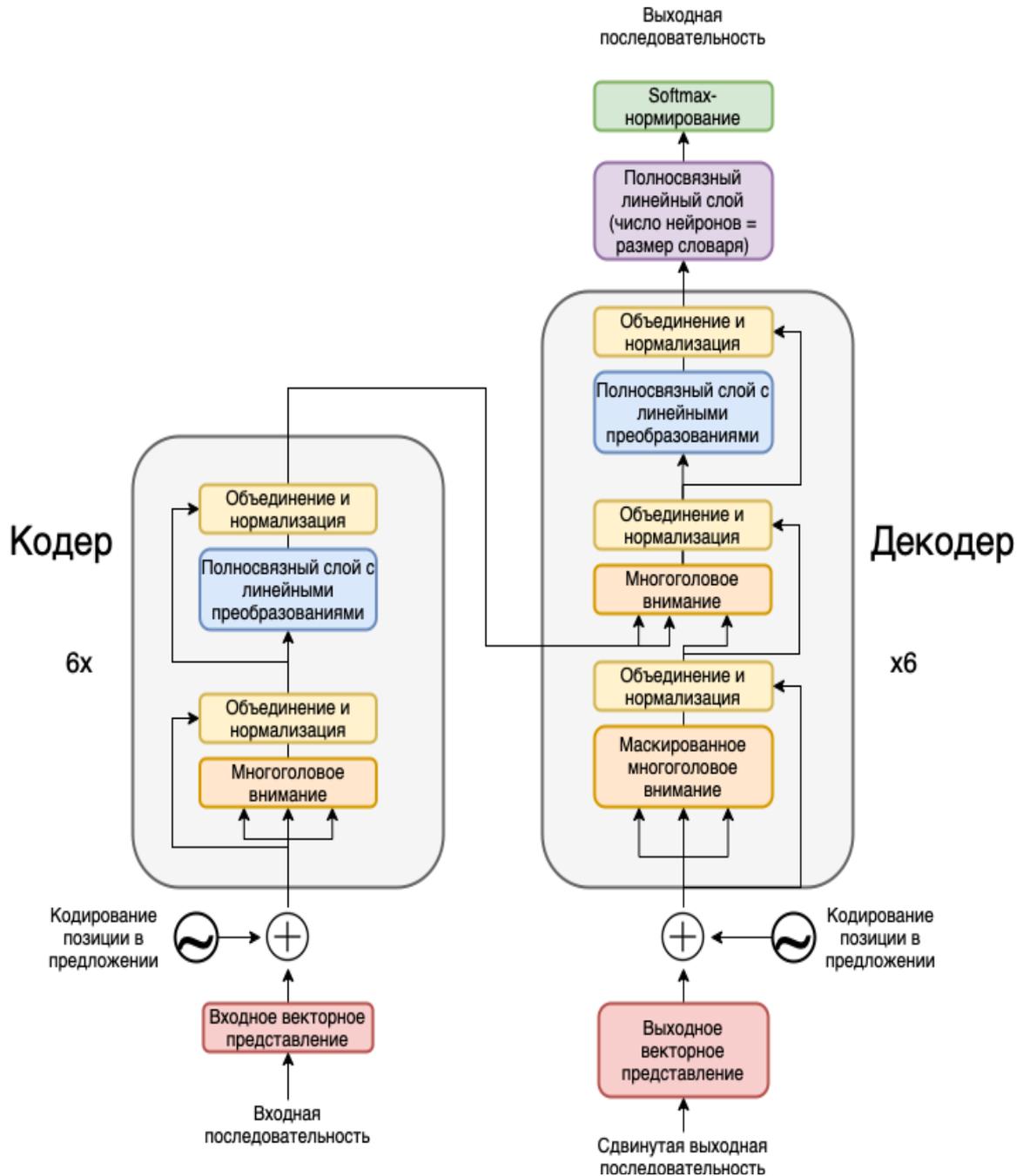


Рисунок 32 - Схематичное изображение архитектуры трансформера

Обучение сети проводилось в 30 эпох, на каждой из которых оценивались параметры точности перевода (ассигасу) и “пеплексия” (perplexity). На каждой эпохе параметр ассигасу увеличивался, а perplexity уменьшался, что говорит о

повышении качества сети в процессе обучения и отсутствии негативного явления переобучения сети. Промежуточные параметры нейронной сети представлены в таблице 6.

Метрика точности - это показатель, который описывает отношение правильно спрогнозированных слов к общему количеству слов в результирующих предложениях в соответствии с выборкой для оценки модели. Точность вычисляется по формуле 1.

$$Acc = \frac{W_{\text{прог.}}}{W_{\text{ож.}}} * 100, \quad (2)$$

где $W_{\text{прог.}}$ - предложения, спрогнозированные на выходе нейронной сети; $W_{\text{ож.}}$ - результирующие предложения из выборки для оценки, ожидаемые на выходе нейронной сети.

Метрика перплексии - это вычисляемая для предложения «степень его искаженности» по отношению к обученной модели нейронной сети, нормализованная по количеству слов в обучающей выборке. Перплексия вычисляется по формуле 2.

$$PP(W) = \frac{1}{P(w_1, w_2, \dots, w_N)^{\frac{1}{N}}}, \quad (3)$$

где PP - значение метрики перплексии; W - тестовый набор предложений для оценки; N - количество всех слов в обучающей выборке; $P(w_1, w_2, \dots, w_N)$ - вероятность спрогнозированного предложения, состоящего из слов w_1, w_2, \dots, w_N .

Таблица 6 - Промежуточные параметры нейронной сети

Итерация	Точность	Перплексия
1	77.72	2.24
7	86.17	1.66
14	87.38	1.65
21	87.63	1.64
30	89.21	1.59

В результате обучения была создана нейронная сеть, способная преобразовывать последовательности лемм в согласованные предложения на русском языке.

Полученная нейронная сеть показала следующие результаты, в сравнении с методом ПТП:

- метод ПТ/НТ позволяет переводить более длинные предложения;
- метод ПТ/НТ позволяет переводить грамматически более сложные предложения с участием вводных слов и междометий;
- могут возникать непредсказуемые варианты переводов и замены некоторых слов в предложении синонимами;
- возможно искажение смысла в процессе перевода.

После реализации и сравнения двух различных подходов к решению задачи трансформации пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке можно сделать вывод, что оба подхода обеспечивают на выходе согласованные предложения. Каждое из решений можно использовать в качестве альтернативных друг другу, в зависимости от потребностей конечного пользователя. Метод ПТ/НТ показал более качественный результат с точки зрения грамматически правильного согласования слов и устойчивости системы к длинным последовательностям входных данных. Однако ПТ/П возвращает результат, в котором используются исключительно те слова, которые были переданы на вход, что позволяет избежать искажение смысла переводимой последовательности.

Выводы ко второй главе

Разработаны модели и методы для преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации: текстовых сообщений на

русском языке в последовательность пиктограмм и пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке.

Для решения задачи преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм был разработан метод обработки текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм в нотациях Sclera, Beta, PECS, была разработана модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в пиктограммы. Для реализации данного метода был обнаружен подходящий тезаурус для русского языка и расширена его структура данных. Для тезауруса WordNet для русского языка были созданы связи его синсетов с синсетами тезауруса WordNet для английского языка при помощи программ машинного перевода. Были разработаны алгоритм создания связей между синсетами на русском и английском языках, алгоритм поиска синсета синонимичного русскому языку и поиск пиктограммы.

Для решения задачи трансформации пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке были разработаны два различных метода автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст: с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами (ПТ/П) и с использованием автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера (ПТ/НТ).

Для реализации метода ПТ/П был собран банк предложений на естественном языке для автоматической генерации шаблонов на их основе и реализован алгоритм согласования последовательности инфинитивов в связный текст на основе данных шаблонов.

Для реализации ПТ/НТ были сформированы текстовые корпуса для обучения нейронной сети. Входным текстом для обучения был банк инфинитивных последовательностей, а выходным текстом - предложения, составленные при помощи согласования соответствующих инфинитивных последовательностей из входного банка. Полученная нейронная сеть позволяет

переводить последовательности инфинитивов (текстовые интерпретации пиктограмм) в согласованные предложения.

Метод ПТ/П применим для относительно коротких предложений (до четырех слов). С помощью шаблонов можно точно задать переменные признаки каждого члена предложения и получить предсказуемый результат.

Метод ПТ/НТ более применим для относительно длинных предложений (более четырех слов). Данный метод учитывает значительно больше различных вариантов предложений для перевода, но может выдавать непредсказуемые результаты с точки зрения выбора морфологических форм членов предложения, заменять входные инфинитивы их синонимами и изменять порядок слов в результирующем предложении, что зависит от содержимого обучающих текстовых корпусов.

3 Описание разработанных программных средств двунаправленного преобразования текстовой и графической информации для альтернативной коммуникации

Для удовлетворения требований кроссплатформенности и возможности интеграции веб-приложения в другие проекты были проанализированы подходы к созданию структуры программных средств и современные способы реализации, позволяющие предоставить данные возможности.

В результате анализа было принято решение реализовать средства двунаправленного преобразования текста в последовательность пиктограмм в виде единого web-приложения, которое будет предоставлять как графический браузерный интерфейс для конечного пользователя, так и REST-API интерфейс, который позволит отправлять запросы к приложению из других систем и получать ответы.

Основной особенностью web-приложения является то, что он выполняет две отдельные задачи:

- перевод текстового сообщения в последовательность пиктограмм;
- перевод пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке.

Веб-сервис разработан с применением методологии объектно-ориентированного программирования с применением паттерна MVC (Model-View-Controller).

3.1 Требования к разрабатываемому программному обеспечению

В ходе проектирования web-приложения главные функциональные требования к нему разделились на две части:

- функциональные требования для преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм;

- функциональные требования для трансформации пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке.

Функциональные требования в виде диаграммы прецедентов для преобразования текстовых сообщений в последовательность пиктограмм представлены на рисунке 33.

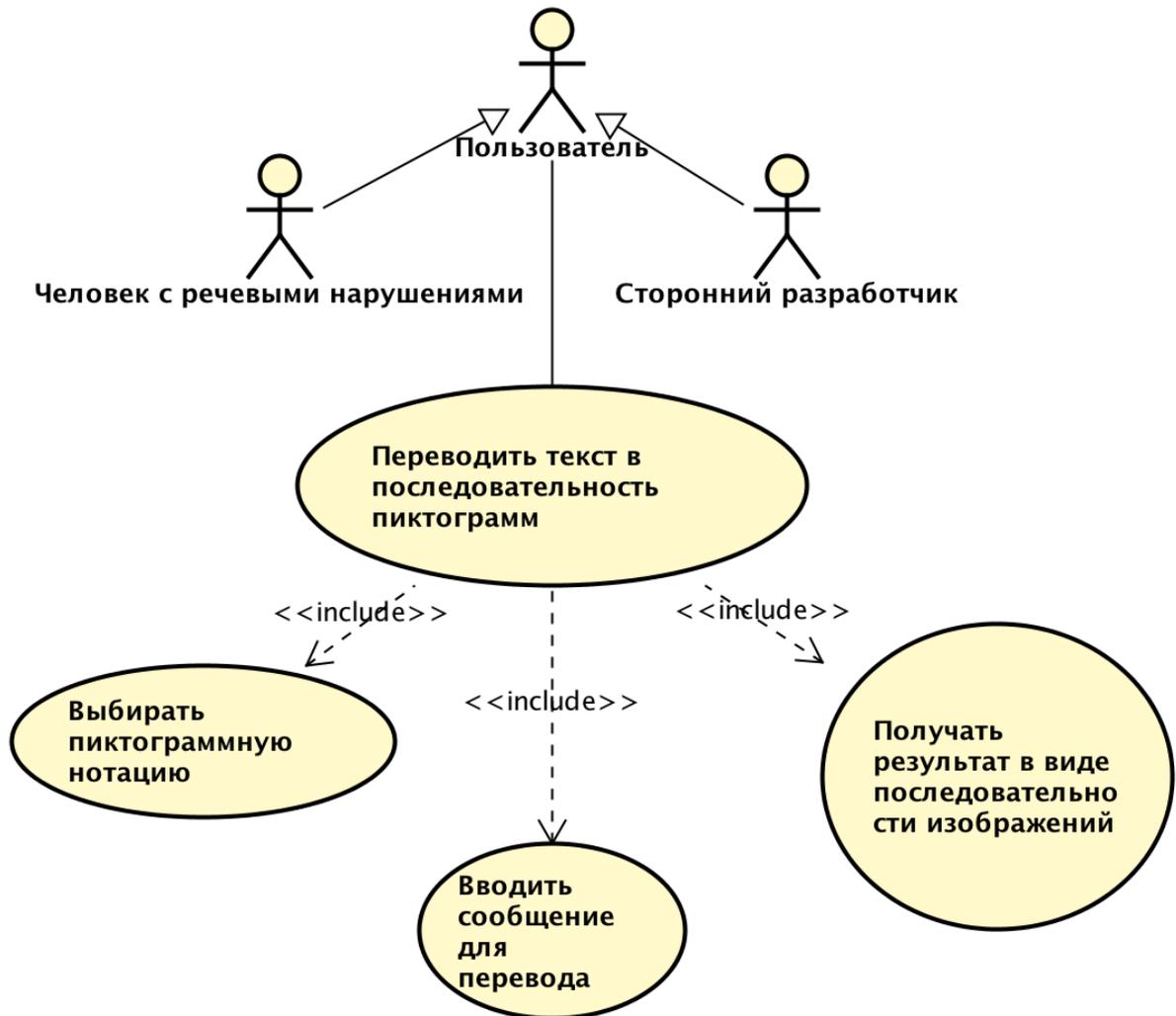


Рисунок 33 - Диаграмма прецедентов для преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм в нотации UML

Пользователями web-приложения могут быть как люди с речевыми нарушениями, так и разработчики сторонних программ. Для каждого из типов пользователей предоставляются отдельный тип интерфейса:

- графический интерфейс для составления текстовых и пиктограммных сообщений;

- REST-API интерфейс для обращения к веб-сервису из сторонних программ по протоколу HTTP.

С помощью интерфейса пользователь должен иметь возможность выбирать пиктограммную нотацию, в которой будет представлено пиктограммное сообщение. Пользователь должен иметь возможность вводить текстовое сообщение на русском языке и получать последовательность пиктограмм в выбранной нотации.

Функциональные требования в виде диаграммы прецедентов для трансформации пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке представлены на рисунке 34.

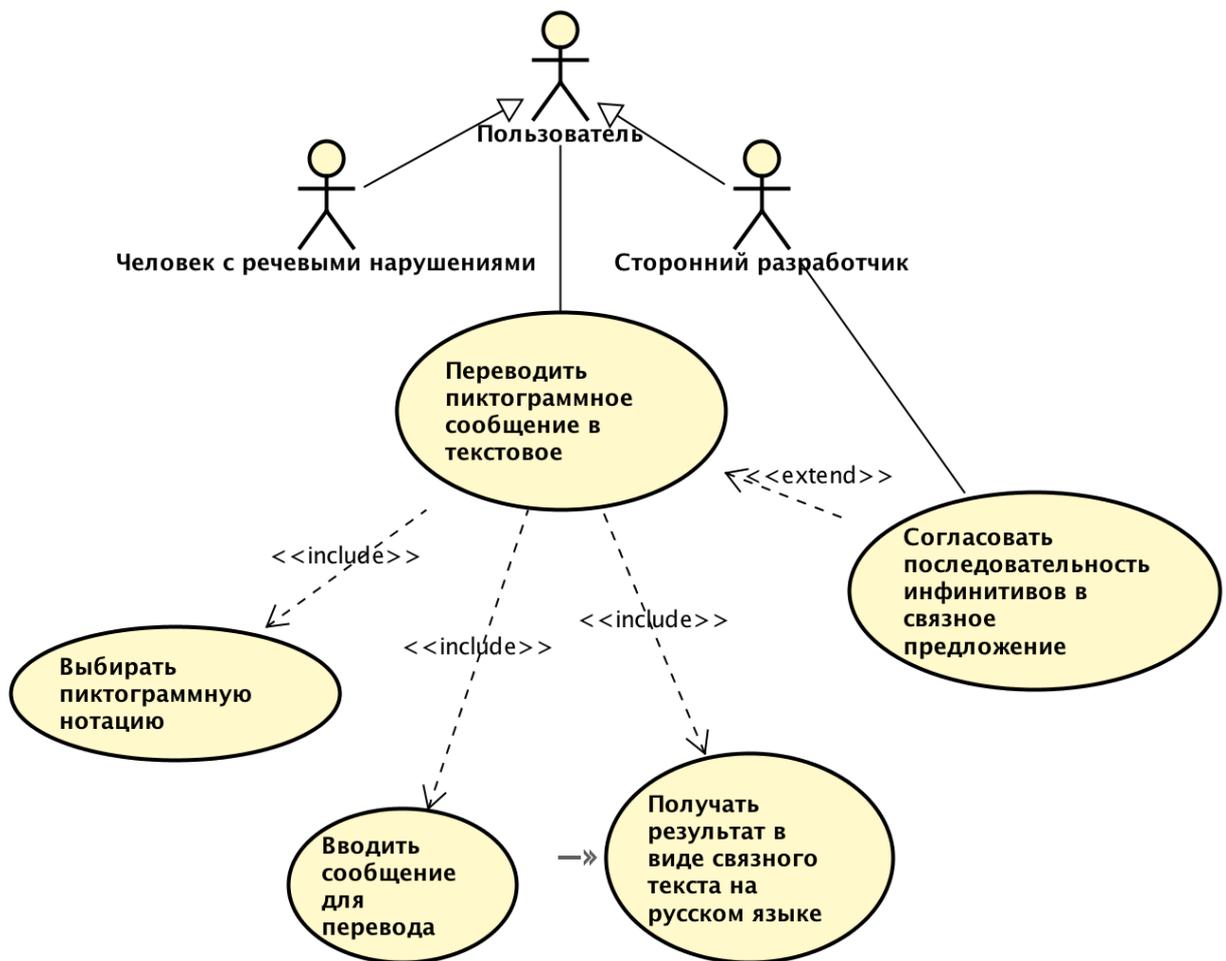


Рисунок 34 - Диаграмма прецедентов для преобразования пиктограммного сообщения в текстовое в нотации UML

Пользователь должен иметь возможность выбирать пиктограммную нотацию для составления пиктограммного сообщения. Пользователь должен иметь возможность составлять пиктограммное сообщение в графическом интерфейсе. Сторонние разработчики, в качестве входных данных, могут отправлять на перевод не последовательность пиктограмм, а последовательность инфинитивов (набор текстовых интерпретаций пиктограмм). Пользователи должны получать результат перевода в виде связного текста на русском языке.

3.2 Архитектура серверной части web-приложения на логическом уровне

После анализа требований к веб-сервису и более подробной проработки внутреннего устройства web-приложения была разработана его архитектура на логическом уровне. Главные функции преобразования сообщений выполняет серверная часть web-приложения, которая стала предметом детального проектирования.

Диаграмма компонентов серверной части web-приложения в нотации UML представлена на рисунке 35.

Серверная часть web-приложения предоставляет обработку запросов клиентов, осуществляет непосредственное преобразование переданных сообщений и состоит из двух основных компонентов:

- преобразование сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм;
- преобразование пиктограммного сообщения в текстовое сообщение на русском языке.

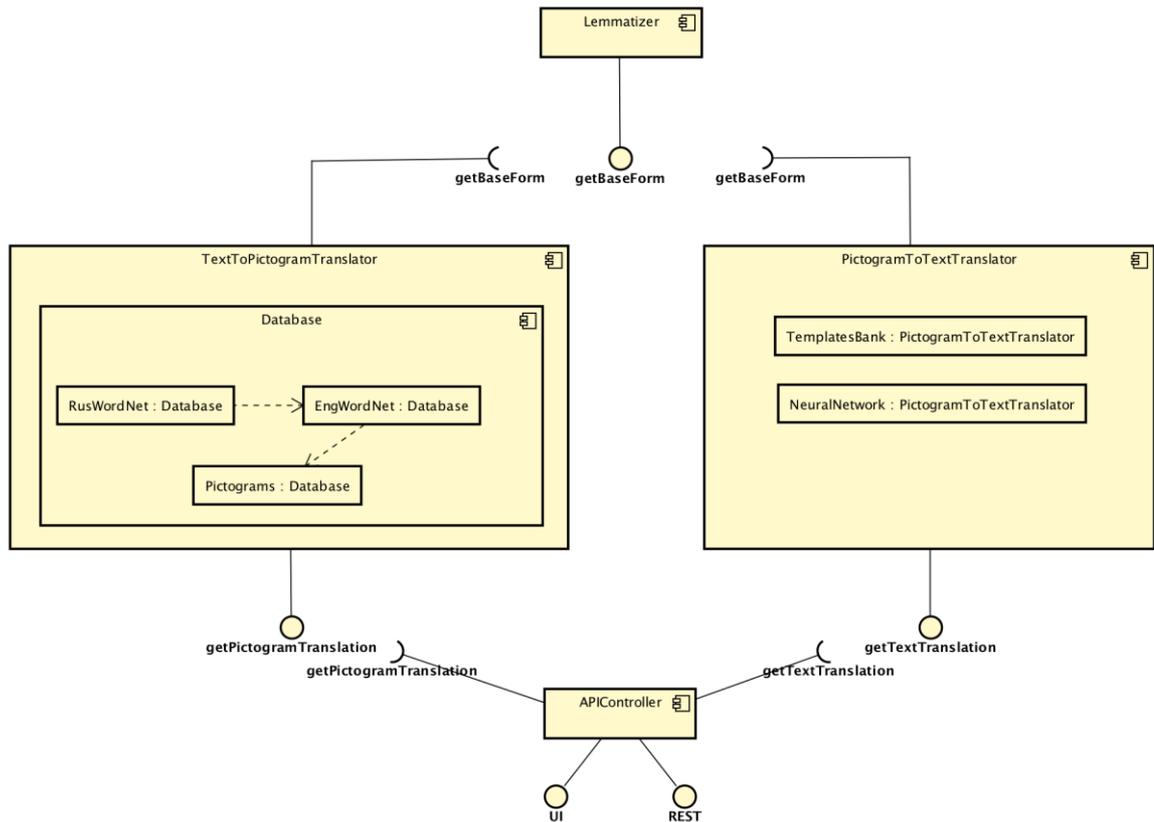


Рисунок 35 - Диаграмма компонентов серверной части web-приложения в нотации UML

Архитектура компонента преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм

В основе компонента преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм лежит специально подготовленная база данных. База данных содержит тезаурус WordNet для английского языка, тезаурус WordNet для русского языка, список пиктограмм в нотации Sclera и список пиктограмм в нотации Beta.

Синсеты тезауруса WordNet для английского языка связаны с пиктограммами каждой из нотаций. Синсеты тезауруса WordNet для русского языка связаны с синсетами тезауруса WordNet для английского языка, что дает возможность найти пиктограмму для русского синсета, используя английский синсет в качестве промежуточного. Русские синсеты, для которых производится поиск пиктограмм определяются словами из входного предложения на перевод.

Все слова, которые хранятся в русскоязычном тезауусе WordNet находятся в базе данных в начальной форме (в виде лемм). Поэтому при получении на вход русскоязычного текста, необходимо преобразовать каждое слово в начальную форму для его дальнейшего поиска в базе данных и перевода. Для преобразования слов входного предложения в начальную форму применяется компонент-лемматизатор, который позволяет получить начальную форму (лемму) для переданной ему на вход производной формы слова. В основе лемматизатора лежит библиотека PHP Morphy для морфологического анализа и обработки слов на русском языке при помощи языка программирования PHP [27].

Аналитическая диаграмма классов компонента преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм представлена на рисунке 36.

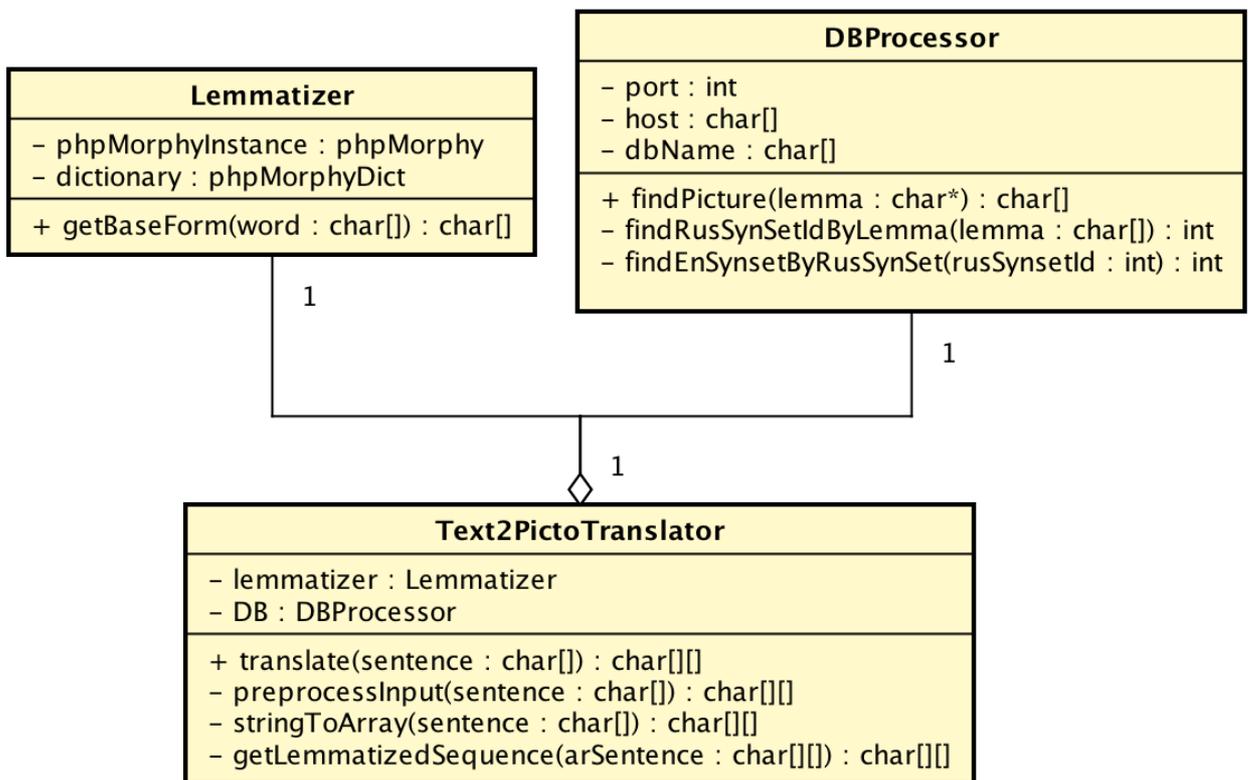


Рисунок 36 - Аналитическая диаграмма классов компонента преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм в нотации UML

Класс преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм агрегирует классы лемматизатора и класса, обеспечивающего работу с базой данных. Агрегированные классы позволяют производить обработку

входных данных и осуществлять поиск пиктограмм, соответствующих переданным словам. Обработка входных данных заключается в разбиении переданного на вход текста на слова, их лемматизации (получении начальных форм слов), приведении к единому регистру и удалении повторов слов. Процесс перевода заключается в том, что для каждой леммы, полученной после обработки входных данных, происходит поиск соответствующих пиктограмм. Сперва осуществляется поиск синсета в тезаурусе WordNet для русского языка. Затем происходит поиск соответствующего английского синсета в тезаурусе WordNet для английского языка. После осуществляется поиск связанной с английским синсетом пиктограммы.

Класс работы с базой данных отвечает за непосредственные обращения к базе данных, некоторые параметры которых зависят от входных данных. Так как пользовательские данные могут быть подставлены в код запроса к базе данных, это является потенциальной уязвимостью для различных типов атак базы данных.

Методы класса работы с базой данных являются функциями-обертками для запросов к базе данных, которые учитывают такие защитные меры, как экранирование специальных символов в коде запросов, использование защитных механизмов языка РНР (prepared statements) и другие. Такой подход к реализации класса инкапсулирует обращения к хранилищу данных и обеспечивает ее безопасность.

Архитектура компонента трансформации пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке

Основной задачей, которую выполняет компонент преобразования пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке, является согласование полученной на вход последовательности инфинитивов в связный текст.

Процесс данного преобразования реализован с помощью двух различных подходов: метод ПТ/П и метод ПТ/НТ.

Аналитическая диаграмма классов компонента трансформации пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке представлена на рисунке 37.

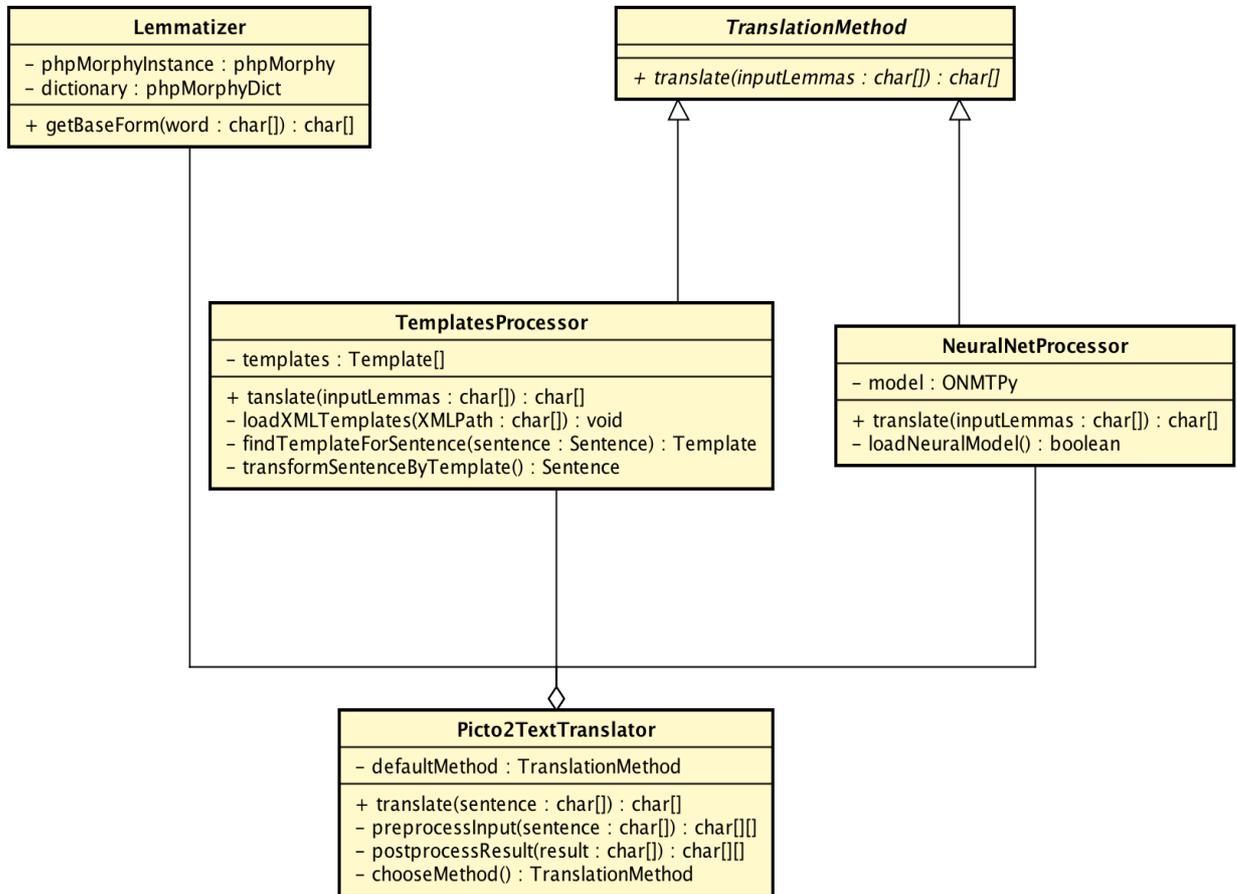


Рисунок 37 - Аналитическая диаграмма классов компонента трансформации пиктограммного сообщения в связный текст в нотации UML

Архитектура компонента трансформации пиктограммного сообщения в связный текст на русском языке описывает поддержку двух методов. Метод выбирается на основе анализа входных данных на этапе их подготовки к переводу.

Также на этапе подготовки к преобразованию при помощи класса лемматизатора входные данные проверяются на то, все ли переданные слова являются инфинитивами. В случае, если передан не инфинитив, переданное слово приводится к его начальной форме.

Трансформация с помощью метода ПТ/НТ принимает на вход последовательность инфинитивов и обращается к обученной модели нейронной сети.

Трансформация предложений с помощью метода ПТ/П на этапе подготовки данных анализирует и преобразует входную последовательность инфинитивов в специальную структуру данных в программе, соответствующую модели предложения, описанной в разделе 2.2.

Для каждого инфинитива последовательности определяется его часть речи и постоянные признаки. На основании полученных данных выбирается соответствующий шаблон предложения. Шаблоны предложений хранятся в физическом файле на сервере в формате XML.

Далее каждый инфинитив во входной последовательности преобразуется в ту морфологическую форму, которая для него указана в шаблоне.

Описание пользовательских интерфейсов web-приложения

В разработанном web-приложении поддерживаются два типа интерфейсов:

- графический пользовательский интерфейс для работы в браузере;
- REST-API интерфейс для отправки запросов к веб-сервису от сторонних программ.

Описание графического интерфейса для преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм

Графический пользовательский интерфейс разработан при помощи следующих технологий:

- язык HTML для описания разметки страницы;
- каскадные стили CSS для описания стилей отдельных элементов страницы;

- библиотека Bootstrap для обеспечения кроссбраузерности и адаптивности разметки страницы;
- язык JavaScript для описания логики работы элементов интерфейса на странице;
- библиотека JQuery для обеспечения кроссбраузерности клиентского кода JavaScript;
- технология AJAX для обеспечения отправки запросов к серверной части web-приложения без перезагрузки страницы;
- синтезатор голоса Яндекс-SpeechKit для осуществления озвучки текстовых сообщений.

Преобразование текстового сообщения в последовательность пиктограмм и в обратном направлении расположены на одной странице. В верхней ее части расположен блок преобразования текстового сообщения в последовательность пиктограмм. Макет экранной формы фрагмента страницы с переводом текстового сообщения в последовательность пиктограмм представлен на рисунке 38.

Графический пользовательский интерфейс предоставляет возможность выбора пиктограммной нотации (Bet или Sclera), а также ввода текстового сообщения на русском языке.

После нажатия кнопки «Перевести» под заголовком «Перевод» выводится последовательность пиктограмм, являющаяся переводом введенного сообщения.

Онлайн-сервис для двунаправленного перевода пиктограммных сообщений в
текстовые на русском языке

Текст в пиктограммы:

Beta Sclera

Я хочу горячий чай

Перевести

Перевод:

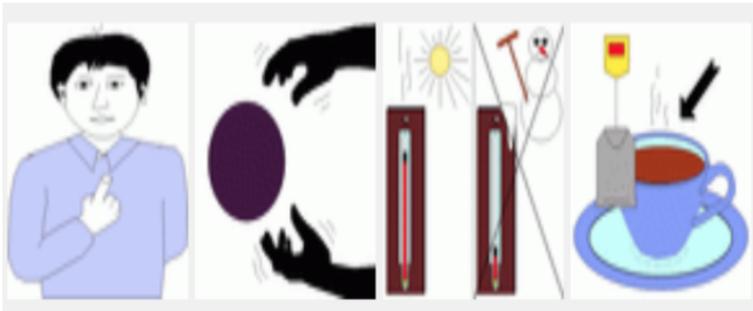


Рисунок 38 - Макет верхней части страницы

Описание графического интерфейса для преобразования пиктограммного сообщения в текстовое

Элементы интерфейса для преобразования пиктограммного сообщения в текстовое на русском языке расположены в нижней части страницы.

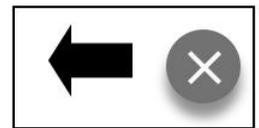
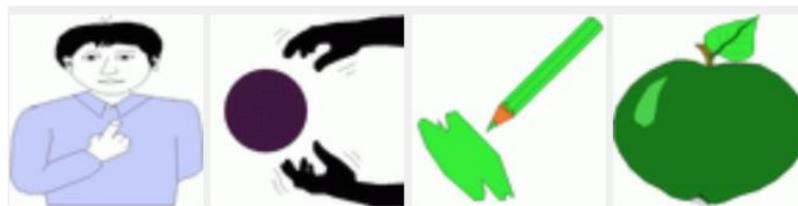
Макет экранной формы фрагмента страницы с переводом пиктограммного сообщения в текстовое представлен на рисунке 39.

Пиктограммы в текст:

Beta Sclera



Сообщение:



Перевод:

Я хочу зеленое яблоко



Рисунок 39 - Макет нижней части страницы

Для преобразования пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке выводится группированный по темам список пиктограмм, из которых можно составлять пиктограммные сообщения. Для выбора пиктограммной нотации предлагаемых пиктограмм на страницу добавлен переключатель.

Для внесения коррективов в составляемое пиктограммное сообщение в интерфейсе добавлены кнопки для удаления последней добавленной пиктограммы и удаления всех добавленных пиктограмм.

По мере добавления пиктограмм под заголовком «Перевод» автоматически появляется текст перевода составляемого пиктограммного сообщения. Для озвучивания результата перевода синтезатором речи в интерфейс добавлена специальная кнопка.

Описание интерфейса для сторонних разработчиков

Для предоставления возможности сторонним разработчикам программного обеспечения отправлять запросы на перевод разработанному веб-сервису был реализован специальный REST-интерфейс.

Для отправки запроса на перевод текстового сообщения в последовательность пиктограмм в веб-сервисе существует специальный метод. Вызов метода осуществляется отправкой POST или GET-запроса по протоколу HTTP с переданным текстом на перевод в качестве аргумента метода.

Ответ от web-приложения возвращается в виде строки в формате JSON, описывающей массив URL-адресов изображений (пиктограмм).

В силу того, что для составления пиктограммного сообщения в сторонних программах могут быть использованы различные нотации пиктограмм, их банки и представления, было принято решение принимать на вход не идентифицирующие данные о пиктограммах, а последовательность слов, являющихся переводами пиктограмм. Таким образом, для осуществления трансформации пиктограммного сообщения в текст, необходимо вызвать метод web-приложения, передав ему в качестве аргумента последовательность слов, которую нужно согласовать в связный текст.

Ответ от web-приложения возвращается в виде строки в формате JSON, описывающей массив, в котором содержится один или несколько вариантов согласования переданной последовательности слов.

Выводы по третьей главе

В ходе выполнения работ по проектированию и кодированию разработанного веб-сервиса был выполнен ряд задач.

Была спроектирована и реализована клиент-серверная архитектура веб-приложения.

Было принято решение разделить веб-приложение на отдельные компоненты: компонент для преобразования текстовых сообщений на русском языке в последовательность пиктограмм и компонент для трансформации пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке.

Была представлена архитектура приложения, выделены и описаны основные компоненты системы, а также приведены соответствующие им аналитические диаграммы компонентов и классов в нотации UML.

Были разработаны отдельные интерфейсы взаимодействия с веб-сервисом для различных типов пользователей: графический интерфейс для работы с веб-сервисом в браузере и REST-интерфейс для использования web-приложения сторонними разработчиками в своих программах.

Были представлены и описаны макеты экранных форм графического интерфейса пользователя.

Были описаны входные и выходные данные REST-интерфейса web-приложения для использования сторонними разработчиками.

4 Тестирование разработанного web-приложения

Для проверки факта достижения поставленной цели были проведены испытания разработанного web-приложения как с точки зрения качества его реализации, так и его влияние на конечных пользователей.

4.1 Модульное тестирование системы

Для проверки правильности работы были созданы тесты при помощи специального фреймворка PHPUnit. Тестирование проводилось методом черного ящика для двух основных функций web-приложения: перевод текстового сообщения в последовательность пиктограмм и перевод пиктограммного сообщения в текстовое на русском языке.

В таблице 7 приведены результаты тестирования REST-методов для преобразования пиктограммных сообщений в текст и в обратном направлении.

Таблица 7 - Результаты модульного тестирования REST-методов

Описание группы тестов	Количество тестов	% покрытия кода
Из текста в пиктограммы, 1 слово	22	92
Из текста в пиктограммы, 3 слова	25	93
Из текста в пиктограммы, от 3 до 16 слов	25	80
Из текста в пиктограммы, некорректные входные данные	11	84
Из пиктограмм в текст, 1 слово	27	87

Продолжение таблицы 7

Описание группы тестов	Количество тестов	% покрытия кода
Из пиктограмм в текст, от 3 до 12 слов	35	73
Из пиктограмм в текст, некорректные входные данные	20	78

Итого было разработано 83 теста для проверки правильности преобразования текстовых сообщений в пиктограммные, из них 83 пройдено. Было разработано 82 теста для проверки правильности перевода пиктограммных сообщений в текстовые, из них 82 пройдено.

4.2 Тестирование web-приложения с участием разработчиков

Для оценки успешности создания интерфейса для сторонних разработчиков и осуществления возможности интеграции web-приложения в другие программы был проведен эксперимент с участием сторонних разработчиков.

В эксперименте с разработчиками принимали участие 2 студента Волгоградского Государственного Технического Университета, обучающихся по направлению «Программная инженерия». Каждый из выбранных студентов является разработчиком собственной программы для людей с ограниченными возможностями:

- мобильное приложение «Travel and Communication Assistant» для помощи людям с ограниченными возможностями в коммуникации и перемещении;
- веб-сайт для создания индивидуального визуального расписания и проведения комплексной диагностики детей с расстройствами аутистического спектра.

Каждому участнику эксперимента необходимо было произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку и оценить степень удовлетворенности работой web-приложения.

Для оценки успешности реализации в веб-сервисе интерфейса для разработчиков были выделены следующие критерии:

- критерий 1 (К1) - смог ли разработчик произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку (легко/ нормально/ сложно);
- критерий 2 (К2) - был ли разработчик удовлетворен возможностями web-приложения в рамках его задачи (отлично/ хорошо/ плохо).

После проведения тестирования были получены отзывы от разработчиков согласно выдвинутым критериям. Критерий 1 был выполнен обоими участниками эксперимента, все смогли «легко» произвести интеграцию web-приложения в собственную разработку. Критерий 2 был выполнен обоими разработчиками на «отлично».

В приложении «Travel and Communication Assistant» веб-сервис использовался для коммуникации при помощи пиктограмм. Все имеющиеся в приложении пиктограммы могут быть переведены разработанным веб-сервисом и использованы для общения людей с речевыми нарушениями с людьми, использующими вербальную речь, благодаря представлению пиктограммных сообщений в виде текста на естественном языке. На веб-сайте для создания визуального расписания и проведения комплексной диагностики веб-приложения был применен для перевода действий, отраженных в визуальном расписании. Элементы визуального расписания на сайте представлены пиктограммами, которые были успешно переведены с помощью разработанного web-приложения.

Таким образом, тестирование web-приложения на разработчиках показало, что REST-интерфейс для разработчиков позволяет интегрировать веб-сервис в сторонние разработки, а количество пиктограмм и слов, доступных для перевода удовлетворяют требованиям к переводу в подобных программах.

4.3 Тестирование с участием людей с ограниченными возможностями

В рамках данной работы было налажено взаимодействие с областным реабилитационным центром для детей-инвалидов «Надежда» (г.Волжский). В данном учреждении проходят реабилитацию более 200 людей с различными заболеваниями, в том числе и с заболеваниями аутистического спектра. Именно на таких людей было принято решение ориентироваться при тестировании разработанного web-приложения, так как они являются целевыми пользователями разработанной программы.

В силу того, что заболевания и нарушения детей реабилитационного центра характеризуются индивидуальными особенностями, а использование одного и того же программного средства преследует различные цели, а результаты его использования оцениваются индивидуально, не было возможности определить однозначные критерии успешности реализации программы.

Для того, чтобы оценить, была ли достигнута цель работы, была выбрана группа из 16 детей, страдающих речевыми нарушениями различной степени тяжести. На протяжении 28 дней в рамках программы реабилитации в центре «Надежда» было задействовано разработанное web-приложение. Также использование web-приложения осуществлялось вне реабилитационного центра при помощи родителей, что позволило более тесно познакомить детей с разработанным приложением.

После 28 дней использования по каждому из 16 детей были собраны данные о результатах работы с разработанным web-приложением. Специалисты реабилитационного центра «Надежда» совместно с родителями рассматриваемых детей предоставили результаты собственного анализа результатов использования разработанного web-приложения. В данных результатах было представлено, что:

- для 16 детей уменьшились проявления различных форм нежелательного (дезадаптивного поведения);
- для 4 из 16 детей появилась возможность сообщать о своих нуждах и состоянии здоровья, которой ранее не было;

- для 16 детей было отмечено совершенствование произвольных процессов внимания и памяти, расширение объема восприятия;
- у всех 16 детей стимулируется мыслительная деятельность;
- для 5 из 16 детей активизируется импрессивная и экспрессивная форма речи;
- для 12 из 16 детей зафиксировано расширение объема активного и пассивного словарного запаса;
- для 14 из 16 детей появился опыт составления простой фразы из отдельных слов.

Таким образом, в ходе тестирования было подтверждено, что использование разработанного web-приложения у людей с речевыми нарушениями приводит к развитию навыков вербальной коммуникации и обмена пиктограммными сообщениями. Специалисты реабилитационного центра и родители рассматриваемых детей отметили улучшение коммуникации от использования именно электронного устройства для работы с пиктограммами, так как работа с электронным устройством в большей степени воспринимается ребенком как игра и фокусирует на себе больше внимания.

Выводы к четвертой главе

На этапе тестирования получены важные сведения для дальнейшей разработки и развития системы. Были проведены несколько видов тестирования:

- модульное тестирование;
- тестирование с участием разработчиков;
- тестирование с участием конечных пользователей.

Тестирование с участием разработчиков показало, что интеграция web-приложения в сторонние разработки возможна. Интегрированный веб-сервис позволяет решать важную задачу перевода в проектах для людей с ограниченными возможностями, расширяя функциональные возможности

программ. Разработанный веб-сервис удовлетворяет требованиям различных проектов, что говорит о его потенциальных перспективах дальнейшего использования.

Тестирование с участием конечных пользователей показало, что разработанный веб-сервис может быть использован в качестве вспомогательного средства в процессе обучения и реабилитации детей с расстройствами аутистического спектра. Также веб-сервис может быть использован как средство альтернативной коммуникации, позволяющий дополнить, а в некоторых случаях, и полностью заменить вербальную речь.

Заключение

В данной работе была рассмотрена проблема коммуникации людей с речевыми нарушениями, которые не способны использовать вербальную коммуникацию или испытывают с ней затруднения.

В процессе проведения диссертационного исследования были разработаны модели, методы, программные средства автоматического двунаправленного преобразования текстовой и графической информации, обеспечивающих альтернативную коммуникацию людей с речевыми нарушениями

1. Проведен системный анализ процессов общения людей с ограниченными речевыми способностями при помощи пиктограмм, методов и средств альтернативной коммуникации. В результате выявлены недостатки процесса взаимодействия, предложено изменение этого процесса путем внедрения программного средства, выявлены требования к разрабатываемым методам и программным средствам. Установлено, что на сегодняшний день для русского языка таких средств не существует, а имеющиеся методы для иностранных языков не подразумевают интеграции с русским языком в силу его сложной морфологии.

3. Разработана модель взаимосвязи тезаурусов русского и английского языков для преобразования текстовых сообщений в пиктограммы. В результате разработанная модель позволила осуществлять поиск пиктограмм для русскоязычных слов, который необходим для реализации метода обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализация в виде последовательности пиктограмм. Разработан метод обработки текстового сообщения на русском языке и его визуализация в виде последовательности пиктограмм в нотациях «Sclera», «Beta», «PECS», отличающийся созданной связью тезаурусов русского и английского языков, позволяющий в процессе обмена текстовыми и пиктограммными сообщениями заменять отсутствующие в пиктограммной нотации концепты;

4. Разработаны модель предложения, учитывающую правила построения предложений на русском языке, метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием предложений, наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами. Собрана при участии экспертов предметной области коллекция наиболее часто употребляемых при работе с пиктограммами предложений на естественном языке. На основе собранной коллекции были сгенерированы шаблоны предложений, с помощью которых производится согласование последовательности инфинитивов в связное предложение.

6. Разработан метод автоматической трансформации пиктограммного сообщения в русскоязычный текст с использованием автоматически подготовленных корпусов параллельных текстов и нейронной сети с архитектурой трансформера. Обучена нейронная сеть, которая позволила осуществлять преобразование последовательности лемм в согласованный текст на русском языке с учетом особенностей его морфологии, порядка слов и наличием омонимов.

7. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение двунаправленного преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм, реализующее предлагаемые методы, в виде кроссплатформенного web-приложения, которое позволяет конечным пользователям осуществлять коммуникацию текстовыми и пиктограммными сообщениями с помощью графического интерфейса как на настольных, так и на мобильных устройствах.

10. Проведена апробация программного обеспечения двунаправленного преобразования текстового сообщения на русском языке в последовательность пиктограмм., в результате применения которого у детей с речевыми нарушениями было зафиксировано расширение словарного запаса и появления навыков сообщать о своих нуждах и состоянии здоровья, которых ранее не было, что говорит об облегчении процесса коммуникации и повышении социальной адаптации.

В качестве перспективы дальнейшей разработки темы планируется развивать разработанные методы и программные средства, улучшать качество двунаправленного преобразования текста в пиктограммы, а именно:

- применить технологии машинного обучения для предсказания следующих пиктограмм по уже имеющимся в сообщении, что даст возможность подсказывать нужные пиктограммы в процессе набора сообщений;

- доработать архитектуру нейронной сети, чтобы обеспечить возможность дообучения сети при помощи правок, вносимых пользователями;

- разработать метод автоматического подбора и размещения пиктограмм в интерфейсе веб-приложения в зависимости от индивидуальных потребностей пользователя;

- доработать методы и средства для людей с другими нарушениями.

Список использованных источников

1. World Health Statistics [Электронный ресурс]. - URL : <https://www.who.int/data/gho/publications/world-health-statistics>, - 284p. (дата обрац. 10.12.2021).
2. Вайзман Н. П. Реабилитационная педагогика. М.: Аграф, 1996.
3. Patel, R., Pilato, S. & Roy, D. (2004). Beyond Linear Syntax: An Image-Oriented Communication Aid. Assistive Technology Outcomes and Benefits, 1(1), 57-66. Retrieved June 26, 2022 from <https://www.learntechlib.org/p/114211/>
4. Применение информационных и коммуникационных технологии в образовании людей с особыми потребностями: специализированный учебный курс / ИИТО ЮНЕСКО: под ред. А. Эдвардса. Пер. с англ. Н. Токаревой. М.: ИД «Обучение-Сервис», 2008. 312 с.
5. Зюммала, Р. Обучение и сопровождение детей с аутизмом по программе ТЕФССН / Р. Зюммала. - Минск: БелАПДИиМИ. - 2005. - 56с.
6. Матюшечкин, Д. С. Веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в согласованные тексты на русском языке / Д. С. Матюшечкин, М. Б. Кульцова, А. В. Аникин // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2018. - № 5(215). - С. 30-36.
7. «Методика использования Блиссимволики в работе с детьми с задержкой речевого развития» [Статья]. Автор Литвиненко О.В. учитель- логопед ГБОУ СКШ№7 Красносельского района Санкт-Петербурга.
8. Смирнова, И.А. Неартикулируемые средства общения и методика их использования в работе по формированию коммуникативности у неговорящих детей / И.А. Смирнова // Логопедическая диагностика, коррекция и профилактика нарушения речи у детей с ДЦП. Алалия, дизартрия, ОНР. - СПб.: Речь. - 2004. - с. 206-226.

9. «Сезам» - первый российский интернет-мессенджер для детей и взрослых с нарушениями речи и письма // Теплица социальных технологий URL: <https://te-st.ru/elements/sezam/> (дата обращения: 05.02.2018).
10. Приложение «Говори Молча» для планшета // АУТИЗМ Будущее есть URL: <http://autizmru.ru/5390-2/> (дата обращения: 05.02.2018).
11. Text2Picto URL: <http://picto.ccl.kuleuven.be/> (дата обращения: 05.02.2018).
12. R. Mihalcea and C. Leong, Toward Communicating Simple Sentences Using Pictorial Representations, *Machine Translation*, vol. 22, no. 3, pp. 153-173, 2009.
13. Фридлл Д. Регулярные выражения. 3-е издание // СПб.: Символ Плюс. 2008.
14. L. Sevens, V. Vandeghinste, and F. Van Eynde, Improving the Precision of Synset Links Between Cornetto and Princeton WordNet, in *LG-LP 2014 Proceedings of the COLING Workshop on Lexical and Grammatical Resources for Language Processing*, 2014.
15. О машинном переводе [Электронный ресурс] URL: yandex.ru/dev/translate/doc/dg/concepts/how-works-machine-translation.html (дата обращения: 10.03.2021).
16. P. Leemans, *VIL: A Visual Inter Lingua*. Dissertation. Worcester Polytechnic Institute., 2001.
17. V. Vandeghinste, I. Schuurman, L. Sevens, and F. Van Eynde, “Translating Text into Pictographs,” *Natural Language Engineering*, Accepted.
18. Теория перевода (лингвистические аспекты): Учеб. для ин-тов и фак. иностр. яз. - М.: Высш. шк., 1990. - 253 с.
19. George A. Miller, Richard Beckwith, Christiane Fellbaum, Derek Gross, and Katherine Miller 1993. *Introduction to WordNet: An On-line Lexical Database*.

20. Мобильное приложение «travel and communication assistant» для людей с когнитивными нарушениями / М. Б. Кульцова, А. О. Усов, Д. С. Матюшечкин, С. А. Карпова // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2017. - № 8(203). - С. 64-71.

21. L. Sevens, V. Vandeghinste, I. Schuurman, and F. Van Eynde, Natural Language Generation from Pictographs, in ENLG 2015 Proceedings of the 15th European Workshop on Natural Language Generation, 2015.

22. V. Vandeghinste and I. Schuurman, Linking Pictographs to Synsets: Sclera2Cornetto, in LREC 2012 Proceedings of the 9th International Conference on Language Resources and Evaluation, 2014, pp. 3404-3410.

23. Шаров С. Средства компьютерного представления лингвистической информации// ИТТС, ТТС 2, 20.02.2000, URL: http://www.kcn.ru/tat_en/science/ittc/vol000/002/.

24. Иорданская Л. (1992) Коммуникативная структура и ее использование в системе текстовой генерации // Международный форум по информации и документации. Т. 17, No2. С. 15-28.

25. Маккьюин К. Дискурсивные стратегии для синтеза текста на естественном языке // НЗЛ. Вып. XXIV. М., 1989. С. 311-356.

26. Найденова К.А., Невзорова О.А. Машинное обучение в задачах обработки естественного языка: обзор современного состояния исследований // Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки. - 2008. - №4.

27. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, & Illia Polosukhin (2017). Attention is All You Need.

28. NLP Course // For You URL : lena-voita.github.io/nlp_course/seq2seq_and_attention.html (дата обращения: 21.05.2022).

29. phpMorphy//sourceforge.net URL: <http://phpmorphy.sourceforge.net/dok> (дата обращения: 05.02.2018).
30. Петрова, Е.А. Жесты в педагогическом процессе / Е.А. Петрова. - М.: Московское городское педагогическое общество. - 1998 - 222с.
31. T. Keskinen, T. Heimonen, M. Turunen, J. Rajaniemi, and S. Kauppinen, "SymbolChat: A Flexible Picture-based Communication Platform for Users with Intellectual Disabilities," *Interacting with Computers*, vol. 24, no. 5, pp. 374-386, 2012.
32. Протасов С. В. Обучение с нуля грамматики связей русского языка // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2006.
33. P. Vossen, I. Maks, R. Segers, and H. van der Vliet, Integrating Lexical Units, Synsets, and Ontology in the Cornetto Database, in *LREC 2008 Proceedings of the 6th International Conference on Language Resources and Evaluation*, 2008.
34. OpenNMT-py URL: <http://opennmt.net/OpenNMT-py/> (дата обращения: 05.02.2018).
35. Айзенберг Б. И., Юдилевич А. Л., Белоножко О. П. Диагностические и коррекционные аспекты использования компьютеров в работе с детьми, имеющими нарушение познавательной деятельности // *Дефектология*. No 6. 1991.
36. Сороко, Е.Н. Дополнительная и альтернативная коммуникация как средство нормализации жизни детей с особенностями психофизического развития / Е.Н. Сороко // *Специальное образование: пути развития за 20 лет независимости: материалы науч.-практ. конференции / отв. ред. д.п.н., проф. Р.А. Сулейманова*. - Алматы, «Центр САТР», 2012. - С. 197 - 201.
37. Хаустов А.В. Формирование у ребенка с РАС навыка соотнесения числа с количеством предметов.: 2013
38. Бгажнокова, И.М. Воспитание и обучение детей и подростков с тяжелыми и множественными нарушениями развития: Программно-методические

материалы / И.Б. Бгажнокова, М.Б. Ульянцева, С.В. Комарова и др.; Под ред. И.М. Бгажноковой. - М.:ВЛАДОС, 2007. - 239с.

39. Pushpak Bhattacharyya, IndoWordNet, Lexical Resources Engineering Conference 2010 (LREC2010), Malta, May, 2010.

40. Заболеева-Зотова А. В. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем / А. В. Заболеева-Зотова, В. А. Камаев // Москва «Высшая школа» - 2008: С. 135-139.

41. Словарь русского языка для ispell. [Электронный ресурс.] - URL: <http://scon155.phys.msu.ru/swan/orthography.html>.

42. Жигалов В.А., Соколова Е.Г. InBASE: технология построения ЕЯ интерфейсов к базам данных // Труды Международного семинара Диалог'2001 по компьютерной лингвистике, Том 2, Аксаково, Июнь 2000, с. 123-135.

43. John Bateman; KPML Development Environment - multilingual linguistic resource development and sentence generation. Release 1.1 January 1997 // Institut fuer integrierte Publikations- und Informationssysteme (IPSI), German Centre for Information Technology (GMD), Dolivostr. 15, Darmstadt Germany. URL: <http://www.darmstadt.gmd.de/publish/komet/kpml.html>

44. Bateman, J., Teich, E. (1995) Selective information presentation in an integrated publication system: an application of genre-driven text generation. Information processing management, Vol. 31, No. 5, pages 753- 767.

45. Дейтел, Х.М.; Дейтел, П.Дж. Как программировать на С++; М.: Бином; Издание 4-е, 2005. - 390 с

46. Нейгел, К. С# 2005 для профессионалов; Вильямс, 2006. - 763 с.

47. Рихтер, Джеффри CLR via C. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 2.0 на языке С; Питер, 2007. - 656 с.

48. Фримен, Э. Паттерны проектирования / Э. Фримен, Е. Фримен, К. Сиерра - Санкт-Петербург: Питер, 2014. - 656 с.

49. Kultsova, Marina & Matyushechkin, Dmitry & Anikin, Anton. (2018). Web-Service for Translation of Pictogram Messages into Russian Coherent Text. 1-5. 10.1109/IISA.2018.8633677.

50. Kultsova, Marina & Matyushechkin, Dmitry & Usov, Andrey & Karpova, Svetlana & Petrenko, Alexander. (2017). Assistive technology for complex support of children rehabilitation with autism spectrum disorder. 1-5. 10.1109/IISA.2017.8316444.

51. Kultsova, Marina & Matyushechkin, Dmitry & Usov, Andrey & Karpova, Svetlana & Romanenko, Roman. (2017). Generation of pictograph sequences from the Russian text in the assistive mobile application for people with intellectual and developmental disabilities. 1-4. 10.1109/IISA.2017.8316440.

52. Матюшечкин, Д.С. Автоматический перевод пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке с помощью технологий искусственного интеллекта / Д.С. Матюшечкин // NovaUm.Ru : электронный научный журнал. - 2021. - № 34. - URL: <http://novaum.ru/public/p2335>.

53. Орлова, Ю.А. Разработка специального графического интерфейса пиктограммного коммуникатора для людей с речевыми нарушениями / Ю.А. Орлова, Д.С. Матюшечкин, С.В. Кравченко // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2019. - Т. 9, № 4 (33). - С. 93-105.

54. Матюшечкин, Д.С. Веб-сервис для автоматического перевода пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке на основе нейронной сети / Д.С. Матюшечкин, М.Б. Кульцова, Ю.А. Орлова // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сб. ст. по материалам Третьей всерос. науч.-практ. конф., проводимой в рамках Пермского естественнонаучного форума «Математика и глобальные вызовы XXI века» (г. Пермь, 14-18 мая 2018 г.) / редкол.: Б.А. Вяткин [и др.], отв. ред.: Л.Н. Ясницкий ; Пермское отделение Научного совета РАН по методологии

искусственного интеллекта, Пермский гос. нац. исслед. ун-т [и др.]. - Пермь, 2018. - С. 206-209.

55. Кравченко, С.В. Педагогическое обследование детей с расстройствами аутистического спектра при помощи интернет-технологий [Электронный ресурс] / С.В. Кравченко, Д.С. Матюшечкин // NovaUm.Ru : сетевой научный журнал. - 2018. - № 16 (ноябрь-декабрь). - С. 25-27. - Режим доступа : <http://novaum.ru/archive/number-16>.

56. Матюшечкин, Д.С. Разработка веб-сервиса для автоматического перевода пиктограммных сообщений в текстовые на русском языке / Д.С. Матюшечкин // XXII Региональная конференция молодых учёных Волгоградской области (г. Волгоград, 21-24 ноября 2017 г.) : тез. докл. / редкол.: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; Комитет молодёжной политики Волгоградской обл., Совет ректоров вузов Волгоградской обл., ВолГТУ. - Волгоград, 2017. - С. 178-179.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт внедрения результатов данной работы в ГБСУ СО
ОРЦДИ «Надежда» (г. Волжский)**

Государственное бюджетное специализированное учреждение социального обслуживания
"Областной реабилитационный центр для детей-инвалидов "Надежда"
404125, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. Пионерская, 26, тел/факс (8443) 25-07-31, Nadezhda@volganet.ru
ИНН 3435881800 ОГРН 1023402022786 КПП 343501001 ОКПО 34719346 ОКОНХ 9180

" 02 " 06 2021 г. № 429
на № _____ от " ____ " _____ 2021 г.

АКТ

о внедрении научных результатов диссертационного исследования

Матюшечкина Дмитрия Сергеевича

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Матюшечкина Дмитрия Сергеевича «Методы и средства для автоматического двунаправленного перевода пиктограммных сообщений в текст на русском языке» переданы в ГБСУ СО ОРЦДИ «Надежда» (г. Волжский) и применяются в процессе реабилитации детей с речевыми нарушениями.

Применение результатов диссертационной работы позволило:

- ускорить процесс обучения детей общению при помощи пиктограмм;
- упростить процесс создания и перевода пиктограммных сообщений;
- облегчить процесс социальной адаптации детей с речевыми нарушениями за счет автоматического перевода пиктограммных сообщений и озвучки результатов перевода.

Полученные результаты внедрения позволяют сделать выводы о допустимости практического использования предложенных в диссертационном исследовании методов и программных средств.

Директор



Т.И. Галаева

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт внедрения результатов данной работы В МОУ ДЮЦ
Волгограда**



Муниципальное учреждение дополнительного образования
«ДЕТСКО-ЮНОШЕСКИЙ ЦЕНТР ВОЛГОГРАДА»
 400066, г. Волгоград, ул. Краснознаменская, 11 тел. 78-15-07
 e-mail: secretar@ctc-volgograd.ru

Исх. № дво
 от 16 июня 2022 г.

По месту требования

АКТ
о внедрении научных результатов диссертационного исследования
Матюшечкина Дмитрия Сергеевича

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Матюшечкина Дмитрия Сергеевича «Методы и средства для автоматического двунаправленного перевода пиктограммных сообщений в текст на русском языке» переданы в МОУ ДЮЦ Волгограда и применяются в процессе обучения детей с речевыми нарушениями.

Применение результатов диссертационной работы позволило:

- ускорить процесс обучения детей общению при помощи пиктограмм;
- упростить процесс создания и перевода пиктограммных сообщений;
- облегчить процесс социальной адаптации детей с речевыми нарушениями за счет автоматического перевода пиктограммных сообщений и озвучки результатов перевода.

Полученные результаты внедрения позволяют сделать выводы о допустимости практического использования предложенных в диссертационном исследовании методов и программных средств.

Директор



Т.М. Минина

Малашкина Наталья Валентиновна
 89173328965

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019611906

Веб-сервис для перевода пиктограммных сообщений в связный текст на русском языке

Правообладатель: *Матюшечкин Дмитрий Сергеевич (RU)*

Автор: *Матюшечкин Дмитрий Сергеевич (RU)*

Заявка № **2019610791**

Дата поступления **22 января 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **06 февраля 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Свидетельство о государственной регистрации
программы для ЭВМ. Программа для педагогического обследования детей с
расстройствами аутистического спектра**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU**2019611078**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

<p>Номер регистрации (свидетельства): <u>2019611078</u></p> <p>Дата регистрации: 21.01.2019</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2019610062 09.01.2019</p> <p>Дата публикации: <u>21.01.2019</u></p> <p>Контактные реквизиты: нет</p>	<p>Авторы: Кравченко Сергей Вячеславович (RU), Аникин Антон Викторович (RU), Матюшечкин Дмитрий Сергеевич (RU)</p> <p>Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ) (RU)</p>
---	---

Название программы для ЭВМ:

Программа для педагогического обследования детей с расстройствами аутистического спектра

Реферат:

Программа предназначена для первичного педагогического обследования детей с расстройствами аутистического спектра. Область применения программы: образовательные и медицинские учреждения реабилитации детей с врожденными заболеваниями, компании, оказывающие услуги по реабилитации детей с расстройствами аутистического спектра: просмотр списка диагнозов как для педагога, так и для родителя; прохождение диагностики как для педагога, так и для родителя; импорт диагностики; просмотр результата диагностики как для педагога, так и для родителя; просмотр родителем профиля ребёнка; просмотр родителем расписания ребёнка.

Язык программирования: PHP, JS, C#

Объем программы для ЭВМ: 240 Кб

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Примеры шаблонов, сгенерированных на основе предложений

Примеры шаблонов предложений в формате xml представлены в таблице Д1. Представленные примеры взяты из коллекции предложений, собранных у специалистов-реабилитологов.

Таблица Д1 - Примеры шаблонов предложений в формате xml

Текст предложения	Xml-шаблон
Они играют.	<pre> <text>Они играют.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>Они</word> <position>0</position> <lemma>я</lemma> <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ</part_of_speech> <tags>ЛИЦО:3 ПАДЕЖ:ИМ ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ:АВТОНОМ ЧИСЛО:МН</tags> </token> ▼<token> <word>играют</word> <position>1</position> <lemma>играть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:3 ЧИСЛО:МН МОДАЛЬНЫЙ:0 ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ВИН ПАДЕЖ:ТВОР ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>2</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
Я хочу спать.	<pre> <text>Я хочу спать.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>Я</word> <position>0</position> <lemma>я</lemma> <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ</part_of_speech> <tags>ЛИЦО:1 ПАДЕЖ:ИМ ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ:АВТОНОМ ЧИСЛО:ЕД</tags> </token> ▼<token> <word>хочу</word> <position>1</position> <lemma>хотеть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:1 ЧИСЛО:ЕД ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ВИН ПАДЕЖ:ДАТ ПАДЕЖ:РОД ПАДЕЖ:ПАРТ ПАДЕЖ:СЧЕТН ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0 МОДАЛЬНЫЙ:1</tags> </token> ▼<token> <word>спать</word> <position>2</position> <lemma>спать</lemma> <part_of_speech>ИНФИНИТИВ</part_of_speech> <tags>ВИД:НЕСОВЕРШ ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ТВОР ВОЗВРАТНОСТЬ:0</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>3</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
Я умею прыгать	<pre> <text>Я умею прыгать.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>Я</word> <position>0</position> <lemma>я</lemma> <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ</part_of_speech> <tags>ЛИЦО:1 ПАДЕЖ:ИМ ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ:АВТОНОМ ЧИСЛО:ЕД</tags> </token> ▼<token> <word>умею</word> <position>1</position> <lemma>уметь</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:1 ЧИСЛО:ЕД ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ВИН ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0 МОДАЛЬНЫЙ:1</tags> </token> ▼<token> <word>прыгать</word> <position>2</position> <lemma>прыгать</lemma> <part_of_speech>ИНФИНИТИВ</part_of_speech> <tags>ВИД:НЕСОВЕРШ ПЕРЕХОДНОСТЬ:НЕПЕРЕХОДНЫЙ ВОЗВРАТНОСТЬ:0</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>3</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
Я хочу кашу.	<pre> <text>Я хочу кашу.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>Я</word> <position>0</position> <lemma>я</lemma> <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ</part_of_speech> <tags>ЛИЦО:1 ПАДЕЖ:ИМ ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ:АВТОНОМ ЧИСЛО:ЕД</tags> </token> ▼<token> <word>хочу</word> <position>1</position> <lemma>хотеть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:1 ЧИСЛО:ЕД ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ВИН ПАДЕЖ:ДАТ ПАДЕЖ:РОД ПАДЕЖ:ПАРТ ПАДЕЖ:СЧЕТН ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0 МОДАЛЬНЫЙ:1</tags> </token> ▼<token> <word>кашу</word> <position>2</position> <lemma>каша</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ:ВИН ЧИСЛО:ЕД ОДУШ:НЕОДУШ РОД:ЖЕН ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ:ДА ПАДЕЖВАЛ:РОД</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>3</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
Я хочу горячий суп.	<pre> <text>Я хочу горячий суп.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>Я</word> <position>0</position> <lemma>я</lemma> <part_of_speech>МЕСТОИМЕНИЕ</part_of_speech> <tags>ЛИЦО:1 ПАДЕЖ:ИМ ТИП_МЕСТОИМЕНИЯ:АВТОНОМ ЧИСЛО:ЕД</tags> </token> ▼<token> <word>хочу</word> <position>1</position> <lemma>хотеть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:1 ЧИСЛО:ЕД ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ВИН ПАДЕЖ:ДАТ ПАДЕЖ:РОД ПАДЕЖ:ПАРТ ПАДЕЖ:СЧЕТН ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0 МОДАЛЬНЫЙ:1</tags> </token> ▼<token> <word>горячий</word> <position>2</position> <lemma>горячий</lemma> <part_of_speech>ПРИЛАГАТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>КРАТКИЙ:0 СТЕПЕНЬ:АТРИБ ПАДЕЖ:ВИН ЧИСЛО:ЕД РОД:МУЖ ОДУШ:НЕОДУШ</tags> </token> ▼<token> <word>суп</word> <position>3</position> <lemma>суп</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ:ВИН ЧИСЛО:ЕД РОД:МУЖ ОДУШ:НЕОДУШ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ:ДА ПАДЕЖВАЛ:РОД</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>4</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
У друга болит рука.	<pre> <text>У друга болит рука.</text> ▼<tokens> ▼<token> <word>У</word> <position>0</position> <lemma>у</lemma> <part_of_speech>ПРЕДЛОГ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ:РОД</tags> </token> ▼<token> <word>друга</word> <position>1</position> <lemma>друг</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ:РОД ЧИСЛО:ЕД РОД:МУЖ ОДУШ:ОДУШ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ:ДА ПАДЕЖВАЛ:РОД</tags> </token> ▼<token> <word>болит</word> <position>2</position> <lemma>болеть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ:ИЗЪЯВ ВРЕМЯ:НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО:3 ЧИСЛО:ЕД ПЕРЕХОДНОСТЬ:ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ:ТВОР ВИД:НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ:0 МОДАЛЬНЫЙ:0</tags> </token> ▼<token> <word>рука</word> <position>3</position> <lemma>рука</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ:ИМ ЧИСЛО:ЕД РОД:ЖЕН ОДУШ:НЕОДУШ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ:ДА ПАДЕЖВАЛ:РОД</tags> </token> ▼<token> <word>.</word> <position>4</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

Продолжение таблицы Д1

Текст предложения	Xml-шаблон
<p>Человек играет с маленькой машинкой ночью.</p>	<pre> <text>Человек играет с маленькой машинкой ночью.</text> ▼ <tokens> ▼ <token> <word>Человек</word> <position>0</position> <lemma>человек</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ: ИМ ЧИСЛО: ЕД РОД: МУЖ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ: ДА ОДУШ: ОДУШ ПАДЕЖВАЛ: РОД</tags> </token> ▼ <token> <word>играет</word> <position>1</position> <lemma>играть</lemma> <part_of_speech>ГЛАГОЛ</part_of_speech> <tags>НАКЛОНЕНИЕ: ИЗЪЯВ ВРЕМЯ: НАСТОЯЩЕЕ ЛИЦО: 3 ЧИСЛО: ЕД МОДАЛЬНЫЙ: 0 ПЕРЕХОДНОСТЬ: ПЕРЕХОДНЫЙ ПАДЕЖ: ВИН ПАДЕЖ: ТВОР ВИД: НЕСОВЕРШ ВОЗВРАТНОСТЬ: 0</tags> </token> ▼ <token> <word>с</word> <position>2</position> <lemma>с</lemma> <part_of_speech>ПРЕДЛОГ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ: РОД ПАДЕЖ: ПАРТ ПАДЕЖ: ТВОР ПАДЕЖ: ВИН</tags> </token> ▼ <token> <word>маленькой</word> <position>3</position> <lemma>маленький</lemma> <part_of_speech>ПРИЛАГАТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>СТЕПЕНЬ: АТРИБ КРАТКИЙ: 0 ПАДЕЖ: ТВОР ЧИСЛО: ЕД РОД: ЖЕН</tags> </token> ▼ <token> <word>машинкой</word> <position>4</position> <lemma>машинка</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ: ТВОР ЧИСЛО: ЕД РОД: ЖЕН ОДУШ: НЕОДУШ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ: ДА ПАДЕЖВАЛ: РОД</tags> </token> ▼ <token> <word>ночью</word> <position>5</position> <lemma>ночь</lemma> <part_of_speech>СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ</part_of_speech> <tags>ПАДЕЖ: ТВОР ЧИСЛО: ЕД РОД: ЖЕН ОДУШ: НЕОДУШ ПЕРЕЧИСЛИМОСТЬ: ДА ПАДЕЖВАЛ: РОД</tags> </token> ▼ <token> <word>.</word> <position>6</position> <lemma>.</lemma> <part_of_speech>ПУНКТУАТОР</part_of_speech> <tags/> </token> </tokens> </pre>

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Примеры текстовых корпусов для обучения нейронной сети

В таблице Е1 приведены первые 25 строк каждого из текстовых корпусов для обучения нейронной сети.

Таблица Е1 - Первые 25 строк каждого из текстовых корпусов для обучения нейронной сети

№	Корпус исходных инфинитивных последовательностей	Корпус целевых предложений
1	такой развитие характер гарри мочь разочаровывать читатель, полюбить его былой мстительность, но с другой сторона это преобразование укреплять позиция тот, кто не видеть глубоко сюжет и изображение герой.	Такое развитие характера Гарри может разочаровать читателей, полюбивших его былую мстительность, но, с другой стороны, это преобразование укрепляет позицию тех, кто не видит глубже сюжета и изображения героев.
2	решение суд (группа вернуться под крыло к Elektra Entertainment) предотвращать дальнейший нападки со сторона неугомонный ульрих.	Решение суда (группа вернулась под крыло к Elektra Entertainment) предотвратило дальнейшие нападки со стороны неугомонного Ульриха.
3	когда ты 18 или 19 год, легко перенимать бандитский повадка и переносить они в группа.	Когда тебе 18 или 19 лет, легко перенимать бандитские повадки и переносить их в группу.
4	а сейчас куча трибют тот же самый BLACK SABBATH и KISS.	А сейчас куча трибютов тем же самым BLACK SABBATH и KISS.
5	я быть единственный, кто заниматься копирование демо на кассета.	Я был единственным, кто занялся копированием демо на кассете.

Продолжение таблицы Е1

№	Корпус исходных инфинитивных последовательностей	Корпус целевых предложений
6	я вырастать при такой свободный воспитание, что ты и представлять себя не мочь.	Я вырос при таком свободном воспитании, что ты и представить себе не можешь.
7	обычно я просыпаться в 7:30, спускаться вниз и видеть что дверь в дом открывать, на кухня и в гостиная стоять 600 банка пиво и дома никто нет.	Обычно я просыпался в 7:30, спускался вниз и видел что дверь в дом открыта, на кухне и в гостиной стоит 600 банок пива и дома никого нет.
8	например о смертный казнь.	Например о смертной казни.
9	в такой звучание нет душа, человеческий искра отодвигать на задний план.	В таком звучании нет души, человеческая искра отодвинута на задний план.
10	восприятие лишать смысл.	Восприятие лишено смысла.
11	этот мысль не обязательно должны быть в очевидный родство с наш идея, но не должны и противоречить она.	Эти мысли не обязательно должны быть в очевидном родстве с нашей идеей, но не должны и противоречить ей.
12	с нетерпение ожидать вы.	С нетерпением ожидаю Вас.
13	этот блокада - акт коллективный наказание, преступление, запрещать международный гуманитарный право.	Эта блокада - акт коллективного наказания, преступление, запрещенное международным гуманитарным правом.
14	ваш ребенок мочь написать письмо ребенок сектор газ, и мы доставлять они на наш судно.	Ваши дети могут написать письма детям Сектора Газа, и мы доставим их на наших судах.

Продолжение таблицы Е1

№	Корпус исходных инфинитивных последовательностей	Корпус целевых предложений
15	за два неделя до введение военный управление они должный быть отправлять в лагерь для немедленный уничтожение.	За две недели до введения военного управления они должны быть отправлены в лагеря для немедленного уничтожения.
16	следующий из отсутствующий заголовков новость, касаться перемещение граждан:	Следующие из отсутствующих заголовков новостей, касаются перемещения граждан:
17	знаменитый репербан со многих место отдых и развлечение располагать в 8 минута езда на S-Bahn.	Знаменитый Репербан со многими местами отдыха и развлечения расположен в 8 минутах езды на S-Bahn.
18	в республика армения происходить экономический рост, основывать на наличие высококвалифицированный рабочий сила, широкий поддержка диаспора и помощь извне, инвестиция в образование и научный исследование.	В Республике Армения произойдет экономический рост, основанный на наличии высококвалифицированной рабочей силы, широкой поддержке диаспоры и помощи извне, инвестициях в образование и научные исследования.
19	при наличие явно выраженный общий интерес (экономический развитие) речь мочь бы идти об экономический союз государство, не просто прежде враждовать, а даже находиться формально в состояние война.	При наличии явно выраженных общих интересов (экономическое развитие) речь могла бы идти об экономическом союзе государств, не просто прежде враждовавших, а даже находящихся формально в состоянии войны.

Продолжение таблицы Е1

№	Корпус исходных инфинитивных последовательностей	Корпус целевых предложений
20	ежегодно они выносятся в процессия во время празднование святой покровитель город (3, 4 и 5 февраль).	Ежегодно они выносятся в процессии во время празднования святого покровителя города (3, 4 и 5 февраля).
21	я уже склоняться к мысль, что у мой друг не оставаться в живой никто из родня, когда однажды, к мой большой удивление, он заговаривать со я о свой брат.	Я уже склонялся к мысли, что у моего друга не осталось в живых никого из родни, когда однажды, к моему большому удивлению, он заговорил со мной о своем брате.
22	сейчас ровно шесть, и вечер прекрасный, так что, если вы не прочь проходиться, я быть рад познакомить вы с два диковинка сразу.	Сейчас ровно шесть, и вечер прекрасный, так что, если вы не прочь пройтись, я буду рад познакомить вас с двумя диковинками сразу.
23	кроме то, в досье в вид гиперссылка указываться весь источник информация, на основа который создаваться досье, что позволять провожать контроль указанный сведение	Кроме того, в досье в виде гиперссылок указываются все источники информации, на основе которых создавалось досье, что позволяет проводить контроль указанных сведений
24	с тот пора сено-тропа становиться место отдых и развлечение для парижский и международный элита.	С тех пор Сен-Тропе стал местом отдыха и развлечений для парижской и международной элиты.

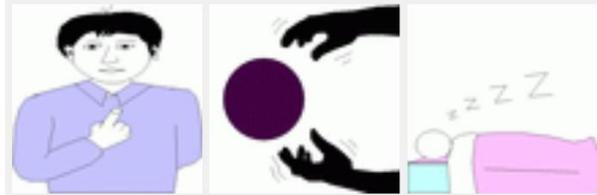
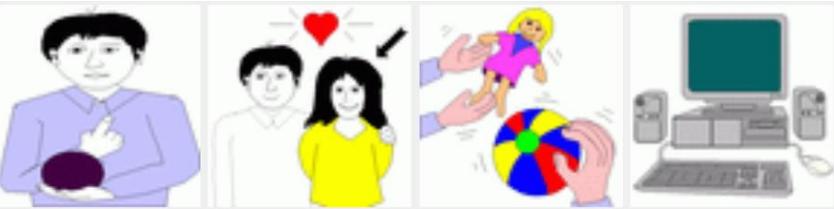
Продолжение таблицы Е1

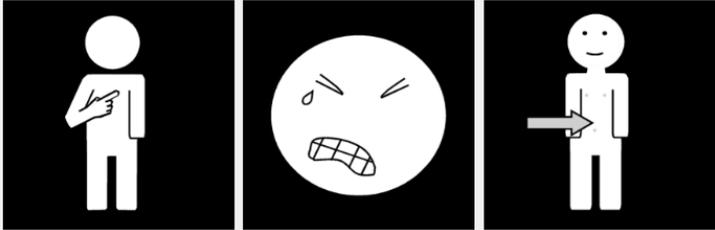
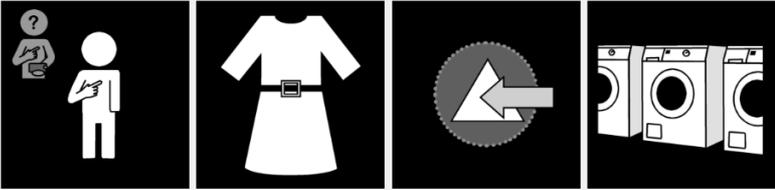
№	Корпус исходных инфинитивных последовательностей	Корпус целевых предложений
25	<p>первый непосредственный манипуляция в этот область, совершать при помощь био- и генный технология, несомненно, принадлежать к важный веха текущий эпоха и являться значительный этап становление общий тема «граница» внутри культура европейский тип, новый сюжет в развитие и проживание этот тема.</p>	<p>Первые непосредственные манипуляции в этой области, совершаемые при помощи био- и генных технологий, несомненно, принадлежат к важнейшим вехам текущей эпохи и являются значительным этапом становления общей темы «границ» внутри культур европейского типа, новым сюжетом в развитии и проживании этой темы.</p>

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Примеры перевода текстовых сообщений в
последовательность пиктограмм**

Примеры перевода сообщений в последовательность пиктограмм в разных нотациях приведены в таблице Ж1.

Таблица Ж1 - Примеры перевода сообщений в последовательность пиктограмм

Нотация	Текстовое сообщение	Последовательность пиктограмм
Вета	Моя кошка красивая.	
	Я хочу спать.	
	Родителей нет дома.	
	Мои друзья играют в компьютер.	
	Сегодня на обед лосось?	

Sclera	У меня болит живот.	
	Мама дала мне лекарства.	
	Моя одежда в стиральной машине.	
	Позвоните моим родителям.	
	Мы сделали домашнее задание.	