

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пензенский государственный технологический университет»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

На правах рукописи



Терехин Михаил Александрович

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АННОТИРОВАНИЯ
ИНЖЕНЕРНЫХ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Специальность 2.3.8. Информатика и информационные процессы
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: Иващенко
Антон Владимирович доктор
технических наук, профессор

Пенза – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обзор и анализ информационных технологий поддержки инженерной деятельности.....	10
1.1 Системы информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий.....	10
1.2 Инженерная деятельность и изобретательство.....	23
1.3 Технологии человеко-компьютерного взаимодействия.....	28
1.4 Проблематика организации взаимодействия человека и искусственного интеллекта в контексте инженерного творчества.....	30
1.6 Выводы по первой главе.....	31
Глава 2. Модель, метод и технология представления и аннотирования результатов инженерной деятельности.....	33
2.1 Формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности.....	33
2.2 Критерий преадаптации для результатов инженерной деятельности....	37
2.3 Метод аннотирования инженерных данных на основе аффордансов....	40
2.4 Технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов.....	43
2.5 Выводы по второй главе.....	47
Глава 3. Реализация технологии промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов в интеллектуальной системе поддержки принятия инженерных решений.....	48
3.1 Информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства.....	48
3.2 Применение больших языковых моделей в рамках реализации системы поддержки принятия инженерных решений.....	53
3.3 Методическая оценка эффективности технологии промпт-инжиниринга на основе аффордансов.....	63
3.4 Выводы по третьей главе.....	73

Глава 4. Экспериментальные исследования и результаты	74
4.1 Анализ восприятия графических и визуальных данных в контексте логических задач и технического творчества	74
4.2 Экспериментальное исследование метода разметки с использованием аффордансов	91
4.3 Исследование критерия преадаптации	107
4.4 Исследование технологии промпт-инжиниринга.....	111
4.5 Выводы по четвертой главе	119
Глава 5. Реализация и внедрение информационных технологий интеллектуальной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности в области медицинской инженерии.....	121
5.1 Аффорданс-анализ и разметка медицинских изделий.....	121
5.2 Опыт внедрения результатов исследования в инновационную инфраструктуру университета.....	137
5.3 Выводы по пятой главе.....	139
Заключение	141
Список литературы	143
Приложение А Акты внедрения результатов диссертации	153
Приложение Б Результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в ходе исследования	158

Введение

Актуальность темы исследования. Промпт-инжиниринг представляет собой новую дисциплину разработки и оптимизации запросов или инструкций для искусственной нейронной сети, которая нацелена на эффективное использование больших языковых моделей в широком спектре приложений. Исследование данного вида человеко-машинного взаимодействия критично для выстраивания эффективной профессиональной коммуникации с искусственным интеллектом в интегрированной информационной среде инновационного промышленного предприятия, реализующего современные концепции цифровых двойников и роботизированных ассистентов.

В промышленности реализация промпт-инжиниринга имеет широкие перспективы по информационной поддержке инженерного мышления и совершенствованию технического творчества, однако организационные и методологические подходы к реализации такой возможности в настоящее время отсутствуют. Таким образом, актуальной является научно-техническая задача внедрения технологий искусственного интеллекта и промпт-инжиниринга в интегрированную информационную среду инновационного предприятия для стимулирования и информационной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности.

Теоретическую основу исследования в области информационных технологий поддержки инженерной деятельности сформировали современные научные работы таких ученых, как А.И. Боровков, М.А. Погосян, В.Ю. Кулемин, Д.К. Щеглов, Е.А. Сулимова, Р.А. Халиулин, M. Eigner, N. Kasper, K. Mporfu, A. E. Matenga, R. Torres-Sánchez, P. Hansen, и др.

Целью диссертационной работы является совершенствование процессов обработки информации в системах управления инженерными данными и конструкторско-технологической подготовки производства за счет интеграции элементов искусственного интеллекта для стимулирования

инженерного творчества и информационной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Исследование современных методов и средств организации междисциплинарной инженерной деятельности в интегрированной информационной среде инженерного и искусственного интеллекта;
2. Разработка формально-логической модели междисциплинарной инженерной деятельности;
3. Разработка метода группировки и аннотирования инженерных данных в интегрированной информационной среде предприятия, ведение библиотеки и документации;
4. Разработка технологии промпт-инжиниринга для задач профессиональной коммуникации в рамках междисциплинарной инженерной деятельности;
5. Разработка алгоритмов и информационной системы поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства.

Объектом исследования диссертационной работы является процесс человеко-компьютерного взаимодействия в едином информационном пространстве предприятия с элементами искусственного интеллекта.

Предмет исследования – информационные технологии аннотирования и разметки инженерных данных в рамках реализации и внедрения технологий искусственного интеллекта.

Научная новизна работы. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Предложена формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности, отличающаяся от аналогов описанием вариантов их применения в виде аффордансов и позволяющая задать свойства преадаптации и коадаптации технических решений, способствующих повторному использованию.

2. Разработан метод группировки и аннотирования инженерных данных, отличающийся от аналогов правилом разметки документации и ведением библиотеки на основе аффордансов, а также учётом онтологии пользователей и позволяющий сократить не менее, чем на 71,6% объем терминов, и использовать их при генерации новых технических решений.

3. Разработана технология промпт-инжиниринга в рамках междисциплинарной инженерной деятельности, реализующая эмиссию аффордансов и позволяющая сократить не менее, чем на 22,6% время человеко-компьютерного взаимодействия.

4. Разработаны алгоритмы и информационная система поддержки принятия решений в области аннотирования инженерных данных и конструкторско-технологической подготовки производства, отличающиеся:

- интеграцией естественного и искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования и поискового конструирования;
- использованием промпт-инжиниринга как основы взаимодействия;
- согласованием информационных объектов на разных уровнях проектирования;
- применением аффордансов для связи параметров и моделей;
- атрибутивным описанием проектных объектов в PDM-системе;

и позволяющие снизить трудоемкость разработки новых технических решений с использованием больших языковых моделей.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Повышение эффективности процессов информационной поддержки и стимулирования инженерной деятельности за счет организации человеко-компьютерного взаимодействия для профессиональной коммуникации с искусственным интеллектом.

2. Предложенная в диссертации технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов отличается от аналогов методом разметки и аннотирования технических решений по вариантам использования и

позволяет интегрировать технологии искусственного интеллекта в единое информационное пространство производственного предприятия для информационной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработанная в ходе исследования информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства отличается от аналогов способом интеграции элементов искусственного интеллекта посредством аффордансов и позволяет сократить время на разработку новых технических решений.

2. Реализованные в ходе исследования информационные технологии позволили в отличие от аналогов внедрить элементы искусственного интеллекта на этапе конструкторско-технологической подготовки производства в области медицинской инженерии в технопарке Самарского государственного медицинского университета, сократив время на проектирование и тестирование инновационных технических решений.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались теории и технологии искусственных нейронных сетей, имитационного моделирования, поддержки принятия решений, теории графов, семиотики, дизайн мышления, решения изобретательских задач, формализации и инженерии знаний.

Соответствие паспорту специальности. Результаты исследования соответствуют паспорту научной специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки): 4. Разработка методов и технологий цифровой обработки аудиовизуальной информации с целью обнаружения закономерностей в данных, включая обработку текстовых и иных изображений, видео контента. Разработка методов и моделей распознавания, понимания и синтеза речи, принципов и методов извлечения требуемой информации из текстов; 6. Обеспечение информационных систем и процессов, применения информационных технологий и систем в принятии

решений на различных уровнях управления. Общие принципы и основы организации информационных служб и электронных библиотек; 7. Разработка методов обработки, группировки и аннотирования информации, в том числе, извлеченной из сети интернет, для систем поддержки принятия решений, интеллектуального поиска, анализа; 13. Разработка и применение методов распознавания образов, кластерного анализа, нейросетевых и нечетких технологий, решающих правил, мягких вычислений при анализе разнородной информации в базах данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Формально-логическая модель междисциплинарной инженерной деятельности обеспечивает терминологическую и онтологическую основу системы человеко-компьютерного взаимодействия в интеллектуальной интегрированной информационной среде предприятия.

2. Метод группировки и аннотирования инженерных данных на основе аффордансов для систем интеллектуального поиска и поддержки принятия инженерных решений сокращает объем терминов при генерации новых технических решений.

3. Технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов позволяет построить профессиональную коммуникацию с искусственным интеллектом.

4. Алгоритмы и информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства снижает трудоемкость разработки новых технических решений с использованием больших языковых моделей.

Достоверность результатов исследований подтверждается корректностью использования теоретических методов, сравнением полученных результатов с результатами выполнения реальных проектов и апробацией предложенных разработок на практике.

Апробация работы. Результаты исследования внедрены в ООО «Открытый код», Институте инновационного развития, Технопарке и

Передовой медицинской инженерной школе Самарского государственного медицинского университета для информационной поддержки инновационной деятельности в области медицинской инженерии. Также результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» на программах бакалавриата и магистратуры по направлению «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия».

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: XXV Международной научно-технической конференция «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2025), XXIV Международной научно-технической конференция «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2024); Modern Informatization Problems in the Technological and Telecommunication Systems Analysis and Synthesis MIP-2025'AS, (Yelm, 2025); Международной научно-практической конференции «Транспортная наука и инновации» (Самара, 2023); 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA) (Lipetsk2022); Всероссийской научно-практической конференции «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте» (Самара, 2021).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 27 печатных научных работы, в том числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и 8 статей в изданиях, индексируемых международными информационными базами данных Web of Science и Scopus, получено 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и приложения; содержит 152 страницы основного текста. Список использованных источников включает 107 наименований.

Глава 1. Обзор и анализ информационных технологий поддержки инженерной деятельности

1.1 Системы информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий

Цифровая трансформация промышленных предприятий в России в значительной степени задаётся опытом аэрокосмической отрасли, где уже реализованы полнофункциональные контуры проектирования, производства и эксплуатации. Ключевым примером служит методология «цифрового инжиниринга» на базе единой информационной платформы, описанная Боровковым и Кулеминым [1]. Авторы подчёркивают, что непрерывная цифровая модель изделия становится «скелетом» кооперативной инженерной деятельности и позволяет синхронно управлять изменениями на всех стадиях ЖЦИ.

Практико-ориентированное развитие этой идеи демонстрирует трёхчастная работа Боровкова, Буракова, Мартынца и соавт., посвящённая промышленной платформе CML-BENCH® [2]. В публикации фиксируется переход от локальных PDM-хранилищ к облачной микросервисной архитектуре с поддержкой параллельного вариативного проектирования, что критически важно для кооперативных команд.

Институциональный уровень стандартизации PLM-подхода отражён в коллективной монографии под ред. М.А. Погосяна, где на материале авиационной техники обоснована многоуровневая модель ЖЦИ с верифицируемыми цифровыми двойниками [3]. Центральным элементом модели выступает интегральная «цифровая нить», обеспечивающая сквозную прослеживаемость параметров и решений.

Методические аспекты выбора PDM-ядра для высокотехнологичных предприятий раскрывает работа Щеглова [4]. На основании многофакторной оценки (функциональность, масштабируемость, стандарты обмена) автор

формализует алгоритм, обеспечивающий повышенную совместимость с CALS-документооборотом.

Sulimova вводит понятие Digital Enterprise Management Toolkit как надсистемы, соединяющей корпоративные PLM-процессы с инструментами оперативного менеджмента инноваций [5]. Статья подчёркивает роль аналитических панелей, визуализирующих метрики эффективности работы межфункциональных R&D-команд.

Технологическая синергия ИИ и CAD подробно проанализирована в ряде международных работ. Sabbella, Singh и Maheswari доказывают, что применение модулей AI-based feature recognition сокращает время рутинного 3D-моделирования до 45 % [6]. Shreya и Kumar, исследуя text-to-3D-генерацию, отмечают снижение барьера входа для нетехнических стейкхолдеров, вовлекаемых в ранние стадии дизайна [7].

На концептуальном уровне переход к Industry 6.0 трактуется как коэволюция генеративного ИИ и киберфизических систем; соответствующая онтология предложена Lykov и соавт. [8]. Парадигму Intelligent CAD 2.0, где LLM-агенты автоматически формируют вариативные CAD-деревья, представляет Zou и коллеги [9]. Об отраслевом внедрении говорит Li и соавт.: сгенерированные AI-скетчи автомобильного диска транслируются в параметрическую модель и сразу проходят топологическую оптимизацию [10]. В стоматологическом CAD/CAM-секторе Yeslam и соавт. показывают, что AI-модели повышают точность прилегания реставраций на 17 % [11]. Обобщённый обзор алгоритмов распознавания конструктивных признаков в CAD приводит Shi [12].

Отечественный контекст внедрения двойников в мониторинг производственных процессов раскрывает Халиулин [13], где цифровой двойник линии формовки контролирует отклонения технологического режима и автоматически формирует задания службам ТОиР.

Блокчейн-подход к достоверности PLM-данных впервые интегрирован Matenga и Mrofu для рельсовых тележек: смарт-контракты регистрируют

каждый акт ремануфактуры, минимизируя риск потери «паспорта» изделия [14]. Задачу семантической связности данных решают Kasper, Pfenning, Eigner, предложившие графовую БД как ядро цифровой нити [15].

Системные вызовы и возможности PLM в контексте Industry 4.0 суммирует Torres-Sánchez и соавт., выделяя четыре группы «узких мест»: гетерогенность стандартов, кибербезопасность, этика ИИ-решений и компетенции персонала [16]. Подход к устойчивому PLM на примере биотрансформируемых продуктов презентуют Hansen и коллеги, акцентируя потребность в замкнутых контурах обратной связи «эксплуатация → дизайн» [17].

Ngueutsa и Venayache описывают прикладной стек Digital Thread + Digital Twin для авиаремонтного завода, где граф облачных микро-ДТ синхронизируется с ERP-системой [18]. Комплексный обзор эволюции цифровой нити предоставлен Jagusch и соавт.; авторы обобщают более 350 источников и формируют классификацию метамodelей DT/DT [19].

Методологическую лакуну ЖЦИ-управления для Smart Product-Service Systems закрывает Sgarzi и соавт., предлагая матрицу ответственности акторов на каждой фазе жизненного цикла [20]. Вопросы внедрения DLT-технологий в PLM контуре, включая экономические и правовые барьеры, систематизированы Gutiérrez и Rodríguez-Espíndola [21].

Romero, Piquié и Noël демонстрируют, что иммерсивные VR-среды повышают качество коллективного ревью цифровых макетов на ранних стадиях и сокращают число итераций Эскиз-КД на 12 % [22].

Сдвиг к блокчейн-экосистемам рассматривается Di Vaio и Varriale: авторы выделяют пять сценариев миграции от традиционных PLM-решений к распределённым регистраторам [23]. Lindström и соавт. вводят категорию existential design aspects, указывая на важность учёта долгосрочных гуманитарных рисков при удлинении жизненных циклов [24]. Три взаимодополняющих методики категоризации 3D-литейных моделей в PLC-контуре предлагают Kyösti и коллеги [25].

Kozlov и соавт. расширяют дискуссию через призму устойчивого управления активами, интегрируя PLM с IoT-датчиками ресурсоёмкого оборудования [26]. Системный подход к жизненному циклу для циркулярной экономики предлагают de Oliveira и соавт., подчёркивая роль цифровых паспортов изделия [27]. В инженерных НИОКР-циклах Lindahl и коллеги показывают целесообразность объединения CAD и LCA-модулей для оценки экологичности на раннем этапе [28].

Rodrigues и соавт. в систематическом обзоре фиксируют рост публикаций по устойчивому PLM в 4 раза с 2016 г., но отмечают дефицит прикладных KPI-метрик [29]. Проблему информационной насыщенности долгоживущих активов решают Kasper и коллеги с помощью графо-ориентированного репозитория, интегрируемого в PLM-среду [30].

Наконец, классические для мирового PLM-движения исследования Bissay и соавт. (интеграция бизнес-процессов и KPI) [31] и Manakitsirisuthi, Ouzrout, Bouras (multi-agent-поддержка устойчивости) [32] остаются фундаментом методологических рамок, в которые вписываются современные AI/DT-проекты.

Многие компании, занимающиеся разработкой PDM, PLM, CAD, CAE, CAM систем и подобного рода CALS-технологий прибегают к использованию искусственного интеллекта и нейронных сетей. Ключевые области применения ИИ в этих системах включают:

- 1) предиктивную аналитику;
- 2) оптимизацию процессов;
- 3) анализ больших данных;
- 4) генеративный дизайн.

Использование алгоритмов машинного обучения позволяет проводить анализ текущих процессов и их оптимизацию, что в свою очередь обеспечивает обнаружение закономерностей и повышение качества принимаемых решений, а также позволяет прогнозировать временные

затраты на проекты и выявлять потенциальные риски на ранних этапах проектирования.

Перечислим некоторые из таких систем: AI CAD Generator, SimScale, Siemens Solid Edge, Siemens Teamcenter, PTC Windchill, Creo Generative Design (PTC), Autodesk Fusion 360. Достоинства и недостатки существующего ПО поддержки инженерной деятельности представлены в таблице 1.1. Классификация существующего ПО поддержки инженерной деятельности по области применения ИИ представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Достоинства и недостатки существующего ПО поддержки инженерной деятельности

№ п/п	Система / ПО	Достоинства	Недостатки
1.	AI CAD Generator	<p>Автоматизация процесса 3D-моделирования на основе текстовых запросов.</p> <p>Гибкость интеграции с другими CAD-системами через API.</p> <p>Высокая скорость генерации моделей за счет облачных вычислений.</p>	<p>Ограниченная точность и детализация создаваемых моделей по сравнению с ручным проектированием.</p> <p>Зависимость от качества текстовых запросов (промтов).</p>
2.	SimScale	<p>Использование ИИ для предсказательной оптимизации параметров моделирования.</p> <p>Снижение затрат вычислительных ресурсов.</p> <p>Облачные технологии позволяют проводить симуляции без необходимости локальных вычислительных</p>	<p>Ограниченная точность ИИ-прогнозов в сложных многокомпонентных симуляциях.</p> <p>Зависимость от интернет-соединения, и как следствие возможное ограничение</p>

		мощностей. Гибкость настройки параметров CFD и FEA анализов.	производительности.
3.	Siemens Solid Edge	Интеграция CAD, PDM и PLM позволяет управлять проектами в единой среде. Использование ИИ для автоматизированного анализа проектных решений и повышения эффективности конструкторских процессов. Поддержка AR/VR улучшает визуализацию и взаимодействие с прототипами.	Высокие вычислительные требования для работы с большими проектами. Сложность освоения расширенных функций без специализированного обучения.
4.	Siemens Teamcenter	Применение ИИ для прогнозирования рисков и оптимизации производственных процессов. Гибкая интеграция с другими инженерными системами и PLM-платформами. Высокий уровень автоматизации управления жизненным циклом изделия.	Высокая стоимость внедрения и обслуживания. Требует сложной адаптации к конкретным потребностям предприятий.
5.	PTC Windchill	Интеграция ИИ для предиктивного анализа и прогнозирования изменений в проектах. Поддержка IoT и больших данных, улучшает управление	Высокая сложность настройки, требующая значительных технических знаний. Требует мощной вычислительной

		<p>жизненным циклом продукта.</p> <p>Высокая степень защиты данных и безопасность информационных потоков.</p>	<p>инфраструктуры при работе с большими объемами данных.</p>
6.	Creo Generative Design (PTC)	<p>Применение генеративного проектирования для создания оптимизированных конструкций. Возможность параллельного анализа множества проектных сценариев.</p> <p>Интеграция с производственными процессами, включая аддитивное производство.</p>	<p>Высокая стоимость лицензий, ограничивающая доступность для малого бизнеса.</p> <p>Требует значительного обучения для эффективного использования алгоритмов генеративного дизайна.</p>
7.	Autodesk Fusion 360	<p>Интеграция CAD, CAM и PDM обеспечивает комплексный подход к разработке изделий.</p> <p>ИИ-алгоритмы анализа проектных данных позволяют выявлять закономерности и улучшать конструкции.</p> <p>Автоматизация рутинных операций, таких как моделирование и создание управляющих программ для ЧПУ.</p>	<p>Ограниченный доступ в некоторых регионах, что может повлиять на распространение технологии.</p> <p>Зависимость от облачных вычислений, требующих стабильного подключения к интернету.</p>

Таблица 1.2 – Возможности применения искусственного интеллекта в современных системах ИПИ

№ п/п	Система / ПО	Предиктивная аналитика	Оптимизация процессов	Анализ больших данных	Генеративный дизайн
1.	AI CAD Generator	–	–	Обработка больших объемов данных для создания моделей	Автоматическая генерация 3D-объектов на основе текстовых запросов.
2.	SimScale	–	Оптимизация параметров моделирования и ускорение проектирования.	–	–
3.	Siemens Solid Edge	–	Оптимизация проектных процессов и коллаборация в облаке.	–	–
4.	Siemens Teamcenter	Прогнозирование рисков и управление жизненным циклом продукта.	–	Анализ данных по жизненному циклу продукта и интеграция с PLM-	–

				системами.	
5.	PTC Windchill	Предиктивный анализ изменений, интеграция с IoT для мониторинга в реальном времени.	–	Анализ данных в реальном времени, управление изменениями.	–
6.	Creo Generative Design (PTC)	–	–	–	Оптимизация конструкций на основе заданных требований
7.	Autodesk Fusion 360	–	Устранение избыточности и в проектировании, упрощение производства.	ИИ-анализ проектных данных, выявление закономерностей.	Автоматизированный генеративный дизайн с учетом нагрузок и материалов

Одним из ярких примеров применения цифрового моделирования и диагностики технических систем, является идентификация параметров электродвигателей.

Идентификация параметров ПМС-двигателей в условиях шумов датчика скорости решается методом инструментальных переменных, инкапсулируемым в модуль Teamcenter TestBench [33]. Длительные

испытания индукционных двигателей показывают, что оценка остаточного ресурса по статистике отказов даёт ошибку не более 8 % [34].

Kim и Lee внедрили ML-кластеризатор токовых сигнатур для детектирования высокоомных контактов при пуске, результаты синхронизируются с PLM-паспортизацией силовой установки [35]. Байдюк и Константинов разработали метод спектральной оценки межвитковых замыканий, данные диагностики автоматически попадают в PDM-карточку двигателя [36]. Алгоритм Dybkowski и Majdański на базе модифицированного MRAS-наблюдателя даёт прирост точности статора-fault-ID до 94 % и интегрирован в блок цифрового двойника эксплуатируемого электропривода [37].

Сравнительный анализ существующих инструментов и подходов к аннотированию данных, применяемых в задачах машинного обучения, инженерного проектирования и управления жизненным циклом изделий, а также предложенного аффорданс-ориентированного метода разметки приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Анализ инструментов аннотирования данных

Критерий	CVAT	Label Studio	Doccano	FBS Model	Functional Ontologies (MO KA, Onto PDM)	Semantic Annotation in PLM	Use-case / Scenario-based annotation	Robotics affordance models	Knowledge-Based Engineering (КВЕ)	Аффордансная разметка (предлагаемый метод)
Тип данных	Изображения, видео	Мультимодальные	Текст	Концептуальные модели	Инженерные знания	CAD /PLM объекты	Сценарии взаимодействия	Геометрия, 3D	Параметрические модели	Инженерные данные: чертежи, схемы, параметры,

										функц ии
Что разме чаетс я	Объек ты, контур ы	Объек ты, текст, аудио	Текст овые един ицы	Функ ции, повед ение, структ ура	Функ ции, связи	Стру ктур а изде лия	Дейст вия пользо вателе я	Возмо жные действ ия робота	Прави ла проект ирования	Функ ции, дейст вия, цели, услов ия приме нения (аффо рданс ы как предик аты)
Сема нтиче ский урове нь	Низкий	Средн ий	Сред ний	Средн ий	Высо кий	Сред ний	Сред ний	Средн ий	Средн ий	Высо кий: функц ионал ьная семан тика + онтол огия пользо вателе я
Конте кст испол зова ния	Нет	Огран иченн ый	Огра ниче нный	Части чно (повед ение)	Стру ктурн ый конте кст	Про ектн ая струк тура	Сцен арии, но не форм альн ые	Физич еские ограни чения	Конст рукти вные прави ла	Конте кст перви чен: что объек т позво ляет делат ь в задан ных услов иях
Цель метод а	Данные для ML	Данны е для ML	Данн ые для ML	Описа ние проце сса проект ирования	Пред ставл ение инже нерн ых знан ий	Под дер жка PLM	UX- дизай н	Робото техни ческие действ ия	Автом атизац ия проект ирования	Подде ржка инже нерны х решен ий и модел

										ирова ние вариантов применения
Поддержка онтологий	Нет	Ограничена	Нет	Нет	Да	Частично	Нет	Ограничена	Частично	Да: онтология восприятия, цели, действия, аффордансы как предикаты
Формализация	Слабая	Слабая/средняя	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая (логика предикатов)
Использование в инженерии	Низкое	Ограниченное	Низкое	Среднее (теория)	Высокое	Высокое	Низкое	Ограниченное	Высокое	Высокое (интеграция с CAD/PLM + СППР)
Автоматизация	Полуавтоматическая	Автоматизация через ML backend	Нет	Нет	Частичная	В PLM-системах	Нет	Да (роботами)	Да	Автоматизация через онтологии и предикатный аппарат
Сильные стороны	Точность CV-разметки	Гибкость	Текстовая разметка	Формализация функций	Богатая онтология	PLM-интеграция	Пониженные действия	Физическая интерактивность	Опыт и правила	Глубокая семантическая

							пользователя			модель, релевантная инженерии и принятию решений
Ограничения	Нет семантики	Не инженерный фокус	Только текст	Нет пользовательской онтологии	Нет контекста действия	Нет цели пользователя	Нет формальности	Только физические affordances	Нет контекста пользователя	Требует экспертной инженерной онтологии; более сложная модель

Сравнение выполнено по ключевым критериям, характеризующим применимость методов в инженерной среде, включая тип обрабатываемых данных, уровень семантической насыщенности, контекст использования, степень формализации, наличие онтологической поддержки, возможности интеграции с CAD/PLM-системами и уровень автоматизации.

Анализ показывает, что классические инструменты разметки данных (CVAT, Label Studio, Doccano) ориентированы преимущественно на подготовку обучающих выборок для задач машинного обучения и характеризуются низким или средним уровнем семантической формализации, отсутствием инженерного контекста и слабой интеграцией с цифровыми моделями изделий.

Подходы, основанные на функциональных онтологиях и семантической аннотации в PLM-средах, обеспечивают более высокий уровень формализации инженерных знаний и поддержку структуры изделия,

однако, как правило, не учитывают пользовательские сценарии эксплуатации и не формализуют действия как элементы проектного пространства.

Методы сценарно-ориентированной разметки и робототехнические модели аффордансов позволяют описывать действия и взаимодействие с объектами, однако ограничены узкой предметной областью и не обеспечивают интеграции с параметрическими и конструкторскими моделями.

Предлагаемый аффорданс-ориентированный метод аннотирования сочетает преимущества инженерных онтологий, семантической разметки PLM-объектов и моделей пользовательских действий. Он обеспечивает высокий уровень семантической формализации, поддержку инженерного контекста и возможность интеграции с CAD/PLM-системами и системами поддержки принятия решений.

Таким образом, представленный сравнительный анализ обосновывает необходимость разработки специализированных методов аннотирования инженерных данных, ориентированных не только на описание структуры изделий, но и на формализацию функциональных возможностей, условий применения и проектных сценариев, что и реализовано в рамках предлагаемого аффорданс-ориентированного подхода.

1.2 Инженерная деятельность и изобретательство

Классической отправной точкой исследования инженерного (конструкторского) творчества в русскоязычной школе является ТРИЗ Г. С. Альтшуллера. В своей работе [38] Альтшуллер подробно описывает методы и подходы к изобретательству в контексте своей теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), которая была разработана в 1946 году и продолжала развиваться на протяжении всей его жизни. Одним из ключевых аспектов изобретательства является понимание и преодоление противоречий: технических, физических и административных. Технические противоречия

связаны с необходимостью улучшать одну характеристику системы без ухудшения других, тогда как физические противоречия касаются ситуаций, где один и тот же элемент должен выполнять противоположные функции.

Альтшуллер также акцентирует внимание на важности анализа известных решений и наблюдений за природой для восполнения пробелов в существующих технологиях. Он разработал ряд методик, которые помогают изобретателям генерировать идеи и находить нестандартные решения. Одним из таких инструментов является "40 индустриальных решений", которые представляют собой общие принципы, применимые в различных областях техники.

Согласно Генриху Альтшуллеру, изобретатель должен обладать уникальными способностями к творческому мышлению и решению задач, и не только создавать новые продукты, но и иметь возможность оптимизировать существующие технологии и процессы, в своей деятельности ориентироваться на системный анализ, выявлять противоречия и находить инновационные решения, учитывая эти противоречия.

К ключевым характеристикам изобретателя относятся несколько важных аспектов: во-первых, это способность к абстрактному и ассоциативному мышлению, что позволяет находить неожиданные решения, опираясь на знания из различных областей, во-вторых, изобретатель должен быть готов к экспериментированию и принятию риска, а также уметь действовать в условиях неопределенности, и в-третьих, важно накапливать и систематизировать знания, которые могут быть использованы для генерации идей.

В программном труде «Найти идею» автор подчёркивает, что «изобретательская задача принципиально отличается от обычной исследовательской, поскольку содержит внутреннее *противоречие*, требующее разрешения посредством перехода к надсистеме» [38]. Развивая этот тезис, Карлов и Шпаковский демонстрируют, как алгоритмы OTSM-TRIZ-платформы позволяют формализовать конфликт и транслировать его в

пакет САD-правил, автоматически проверяемых PDM-системой на этапе вариативного проектирования [39].

Ключевой методический приём ТРИЗ – *оператор размерности*, который «расширяет пространство поиска решения за пределы первоначально заданной функциональной зоны» [38]. Именно эта эвристика находит цифровое воплощение в генеративных модулях PLM, где переход «компонент → надсистема» формализуется через иерархический граф аффордансов.

Философско-конструктивистское осмысление инженерного творчества представлено в работах П. К. Энгельмейера, трактующего технику как «продолжение органических возможностей человека» [40] и фиксирующего феномен «созидательной переделки» как условие появления новой технической функции [41]. Через призму семиозиса инженерных артефактов данный подход продолжает отечественная школа, акцентирующая роль знаковой медиумы в эволюции технических форм [53, 54].

На рубеже 2000-х вошёл в обиход биосемиотический концепт *преадаптации*: технологии, «предназначенные для одной функции, но оказавшиеся пригодны для другой» [43]. Классическое исследование К. Каттани на материале оптоволокна показало, что латентные конструкции могут десятилетиями «ждать» изменения макроэкономического ландшафта, прежде чем проявить свой инновационный потенциал [45]. В ответной полемике Н. Дью подчёркивает, что «преадаптация – это не случайный побочный продукт, а результат скрытого многофакторного отбора» [46].

Психологическое развертывание концепта предложено Асмоловым, Шехтером и Черноризовым в исследовании «Преадаптация к неопределённости» [42]: творческая стратегия «заранее иметь ресурс гибкости» проявляется как у биологических систем, так и в человеческой инженерной практике. Позднейший обзор тех же авторов фиксирует «парадокс сосуществования адаптации и преадаптации»: успешная

инженерная культура одновременно закрепляет нормы и создаёт механизмы их подрыва [44].

Отдельную линию составляет эмпирическое направление «когнитивная преадаптация», в котором Т. Мутираян и П. Каргоне-кар показали, что использование библиотек аналогов в CAD уменьшает время поиска решения на 25 % [49]. В нейрокогнитивном срезе А. Ардила интерпретирует преадаптацию как «нелинейную эвристическую карту» в креативном мозге [50]. К 2024 г. под грифом *SSRN* опубликован ряд пред-принтов (Jiyong K., He Y. и др.), где математически описывается «эволюционное окно» между патентной ландшафтной зрелостью и рыночным мультипликатором нового применения [47, 48].

Теоретически близким понятием выступает *экзаптация* – «обнаружение неожиданной функции у существующего решения» [46]. В инженерной эвристике это коррелирует с понятием *аффорданса* и формирует когнитивную платформу для генеративного дизайна. Практическое подтверждение гипотезы экзаптации даёт классический пример «полого вала» в массовом электроприводе, где внутренняя полость изначально служила облегчению массы, а затем была переиспользована под кабель-канал датчика – изменение, повысившее технологичность узла без доработки литейной оснастки [55].

Критически осмыслить проблему «расширенной рациональности» инженерного мышления позволяет обращение к логике Поля – «решение рождается из правильно поставленного вопроса» [51]; здесь же укореняется современный *промпт-инжиниринг* как внешняя когнитивная оболочка ИИ-систем.

Сдвиг от абстрактных методик к предметно-ориентированному творчеству ярко проявлен в промышленных коллаборациях «инжиниринг + медицина». В диссертации сформулированы принципы *концептуализации междисциплинарной инженерной деятельности*: «формальная онтология продукта должна включать биомедицинские, эргономические и

эксплуатационно-производственные аффордансы» [57]. С этой позиции сотрудниками Самарского государственного медицинского университета был разработан цифровой пульсоксиметр, что зафиксировано в патенте РФ № 225596 U1 [58].

В статье [59] рассматривается опыт подготовки магистрантов Передовой медицинской инженерной школы СамГМУ к решению междисциплинарных задач (медицина + инженерия). Авторы исходят из дефицита квалифицированных инженерных кадров в здравоохранении и обосновывают необходимость интеграции инженерных и клинических компетенций.

Ключевым методическим результатом работы является внедрение модели многосвязного графа, представляющей проект как совокупность альтернативных дизайн-решений в цифровой среде двойников. Модель обогащена понятием аффорданса, описывающего пригодность изделия к достижению целевых функций и формально связывающего свойства объекта с возможностями пользователя, что в свою очередь позволило ввести критерий инновационности технического решения и применить его в задачах иммерсивной реальности.

Образовательная технология построена на принципе «спирали практики»: магистрант чередует работу над фронтальными проектами высокой неопределённости с отработкой типовых решений, что стимулирует развитие изобретательского мышления. Практическая реализация включает распределение студентов по проектным командам, работу в пространствах цифровой фабрики и раннее вовлечение промышленных партнёров. Авторы демонстрируют, что предложенная комбинация ТРИЗ-приёмов, дизайн-мышления и графовой онтологии изделий способствует получению новых технических решений уже в ходе обучения, тем самым подтверждая эффективность методики для подготовки инженеров-медиков.

1.3 Технологии человеко-компьютерного взаимодействия

Понятие аффорданса трактуется как «отношение между объектом и агентом, предоставляющее агенту потенциальную возможность действия» [60]. Первоначально предложенное Дж. Гибсоном, оно получило когнитивную интерпретацию в работах Грино, где подчёркивается роль «распределённого» интеллекта среды [60]. Современную онтологизацию категории даёт Херас-Эскрибано, выделяющий три слоя: физический, функциональный и культурно-символический [61]. На инженерной плоскости именно такой трёхслойный подход обеспечивает связку CAD-геометрии с пользовательским сценарием эксплуатации.

Норман, вводя термин *дизайн-переопределение (design re-specification)*, указывает, что «главная задача проектировщика – сделать аффорданс *заметным*» [62]. Это положение систематизировано в онтологии Matei, где выдвинута идея «контролируемой латентности» аффордансов: интерфейс должен оставлять пространство для новых функций, не перегружая пользователя [63].

Инженерная формализация проблемы разработана Канненгиссером и Геро, предложившими *процессную рамку аффордансов* [64], а также Харвудом, уточнившим семиотическую природу «приглашений к действию» [65]. Современные экспериментальные обзоры (Mangalam и др.) фиксируют, что цифровые двойники дают возможность «выводить» скрытые аффордансы через симуляцию сценариев [66].

Практическую валидность концепта подтверждает применение аффорданс-анализа в m-Health-приложениях [67] и системах корпоративных информационных технологий [68]. В систематическом обзоре Ван и др. подчёркивается, что 80 % эмпирических работ связывают аффордансы с повышением инновационного поведения акторов [69]. Новейшие исследования используют категориально-теоретический аппарат для

описания композиции аффордансов [70] и выделяют четыре когнитивных «стойки» их трактовки [71].

Методологический мост от теории к практике строится в работах Масуди и др. – авторы предлагают *Affordance-Based Design* (ABD) как синтез функций, задачи и формы [72], что пересекается с методикой *Axiomatic Design* Мейера и Фадела [73]. Полевые исследования (Vyas и др.) демонстрируют, что при работе с прототипом участники считают не форму, а «набор действий, которые она позволяет» [74]. Компьютерное зрение подтверждает эту гипотезу: алгоритм Grabner и др. автоматически классифицирует предметы по потенциалу взаимодействия [75].

В машинном обучении моделирование аффордансов переходит к парадигме RL-перспективы [76] и вычислительной рациональности [77]; Zhu и Kohls вводят *pattern language* для креативных аффордансов [78], а Линдstrand помещает тему в более широкий семиотический контекст [79].

Дизайн-мышление как проектная логика «от эмпатии к прототипу» постепенно институционализируется в российском инженерном образовании. Богомолова подчёркивает, что «закрепление термина без методического наполнения ведёт к симулякрам инноваций» [80]. Васильева и Точилкина показывают синергию дизайн-мышления с процессной трансформацией предприятия [81], а Собиров рассматривает экономический эффект от внедрения дизайн-офисов [82].

В связи с появлением генеративного ИИ возникает «дизайн-мышление 2.0»: Кузьминов и Кручинская фиксируют, что LLM-сервисы радикально снижают стоимость итерации «прототип → отзыв» [83]. Тезисно-формальная база автоматизированного проектирования ещё в 2000-е была изложена Норенковым [84]; сегодня она дополняется практикой *prompt engineering*, систематически обобщённой в обзоре Liu и др. [85]. Тем самым создаётся новый уровень человеко-компьютерного взаимодействия, где *prompt* – это метаструктура, соединяющая когнитивный замысел с формально-алгоритмическим исполнением.

1.4 Проблематика организации взаимодействия человека и искусственного интеллекта в контексте инженерного творчества

Карелов формулирует «ловушку Гудхарта» для ИИ-систем: минимизация заданной метрики может привести к разрушению целевой функции [86]. В инженерном проектировании это означает риск «переоптимизации» конструкции под недостаточно полную цель. Проблема обостряется при росте возможностей LLM-моделей: экспериментальная работа Vubesk и др. фиксирует появление у GPT-4 «искр общего интеллекта» [87].

Язык взаимодействия с такими моделями становится новым «узким горлышком» инженерной цепочки. Алексеева и Алексеев показывают, что вариативность формулировки запроса к генеративной нейросети изменяет качество результата на порядок [88]. Соколова верифицирует этот вывод на корпусе научных текстов [89].

На философском уровне Лешкевич вводит понятие «субъектоподобности» ИИ, указывая на необходимость перераспределения ответственности между human- и non-human-агентами [90, 91]. Социотехническое измерение обсуждает Михненко, демонстрируя, что в профессиональном инженерном сообществе разрыв цифровых компетенций становится ключевым барьером внедрения LLM [92].

Фундаментальный курс Russell & Norvig остаётся методическим «якорем» для понимания границ и возможностей ИИ-алгоритмов [93]; однако авторы подчёркивают, что rapid-prototyping-среды смещают акцент с глубинного понимания к инструментальной эксплуатации.

Рубежный сдвиг примечается во включении нейрокогнитивных показателей в контур оценки креативности. Soroush и Zeng с помощью 32-канального EEG показывают, что фазовая синхронизация γ -диапазона коррелирует с «кооперативной дивергенцией» идей в команде дизайнеров [94].

Горан и др. демонстрируют возможность использования одноканального недорогого EEG-датчика для предикции качества визуального решения [95]. Систематический обзор Balters и др. резюмирует, что большинство «творческих» маркеров локализируются в правой фронтальной коре [96].

Эксперименты Yang и др. в VR-среде подтверждают, что обратная нейрофидбэк-связь повышает количество оригинальных идей на 23 % [97], а Сао и др. указывают на снижение «design-fixation» при подаче пользователю биоуправления [98]. Hartog и др. фиксируют, что у инженеров-практиков доминирует β -ритм, тогда как у концептуальных дизайнеров – α -пред-альфа-ритм [99].

Ahad и др. подтверждают, что тренинг «дизайн-мышление + биофидбэк» увеличивает дивергентность решений студентов-машиностроителей [100]. Yin и др. сравнивают «художественный» и «инженерный» резоны, демонстрируя разное распределение θ -мощности [101]. Обзор Stevens предлагает метафору «креативность приходит волнами», подчёркивая динамическую природу творческого состояния [102]. Современная теория «рассеянного внимания» в дизайне-нейрокогнициии представлена в работе Wang и др. [103]; исторический задел методики суммирован у Jaarsveld и др. [104].

1.6 Выводы по первой главе

Проведённый анализ современных информационных технологий показал, что эволюция средств поддержки инженерной деятельности характеризуется переходом от документ-ориентированных PDM-ядер к графо-ориентированным PLM-платформам, основанным на концепции цифровой нити и цифрового двойника. Формирование такой экосистемы обеспечивает единое семантическое пространство для кооперативного

инженерного мышления и создаёт предпосылки для сквозного управления жизненным циклом изделия.

Переосмысление инженерного творчества через когнитивно-семиотические модели аффорданса, преадаптации и экзаптации позволяет трактовать инновацию как процесс трансформации пространства потенциальных функций, а не как линейное решение заранее заданной задачи. В результате меняется роль человеко-машинного интерфейса: переход от GUI-парадигмы к prompt-ориентированному взаимодействию с LLM-ассистентами обуславливает перераспределение ответственности между человеком, формулирующим семантику, и машиной, генерирующей проектные варианты.

Возрастающая автономия интеллектуальных модулей усиливает этические и управленческие риски, связанные с верификацией целевых метрик. Для их минимизации необходимы механизмы прозрачности (explainable AI) и доверенные регистры жизненного цикла на базе распределённых технологий, обеспечивающие неизменяемость проектных данных и возможность ретроспективного аудита.

Наконец, использование биометрических показателей открывает перспективу объективной оценки творческого потенциала инженерных команд; однако стандартизированные процедуры интеграции таких маркеров в корпоративный PLM-контур пока отсутствуют. Недостаточная разработанность автоматизированной валидации аффордансов, KPI устойчивого PLM в условиях циркулярной экономики и метрик инновационной валентности формирует исследовательский задел для последующих глав диссертации.

Глава 2. Модель, метод и технология представления и аннотирования результатов инженерной деятельности

2.1 Формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности

В рамках решения задачи разработки роботизированного ассистента инженерного творчества была построена формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности. Данная модель обеспечивает терминологическую и онтологическую основу системы человеко-компьютерного взаимодействия, позволяющей интегрировать пользовательскую активность и результаты обработки данных средствами машинного зрения в смешанную среду инженерного и искусственного интеллекта. Предложенная модель была реализована в составе программного комплекса поддержки инженерного мышления пользователей в составе интегрированной информационной среды предприятия.

Рассмотрим для некоторого изделия (component) c_i разработано и существует несколько проектов или дизайн-решений (design) его реализации $d_{i,j}$. Каждый проект обладает рядом параметров, обеспеченных техническими или технологическими идеями:

$$d_{i,j}(c_i, \{p_{i,j,k}\}, \{s_{i,j,l}\}) = \{0, 1\}, \quad (2.1)$$

где $\{p_{i,j,k}\}$ – набор характерных параметров (parameters);

$\{s_{i,j,l}\}$ – определяющий значения параметров набор технических или технологических идей (solutions/sparks).

Предположим, что группа пользователей обладает определенной онтологией восприятия – картиной мира Ω_n , определяющей возможности применения разработанного изделия в исполнении дизайна $d_{i,j}$ в соответствии с заданным назначением.

Такое применение в теории технического дизайна и психологии мышления описывается понятием «аффорданс». Аффорданс, в отличие от параметров и свойств, отражающих общие характеристики объекта, включает в себе пригодность для достижения цели субъекта в данной ситуации. Аффорданс задает связь между свойствами объекта и возможностями агента, которые определяют, каким образом объект может быть использован, то есть:

$$a_{i,j,n,m}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m) = \{0, 1\}, \quad (2.2)$$

где g_m - цель или показатель назначения (goal), $a_{i,j,n,m}$ - Булева функция, принимающая значение «1» в случае достижения показателя назначения и «0» иначе.

Отметим, что разделение свойств объекта на две группы характерных параметров и показателей назначения позволяет разделить области конструктивных особенностей реализации и области применения изделия. Соответственно, реализованные в объекте идеи и конструктивные решения позволяют расширить область применения, обеспечив универсальные свойства изделия. Такой подход ближе к эволюционному подходу, когда новые технические решения не отменяют, но расширяют сферы его применения, что определяет свойство преадаптации.

В заданных определениях задачу оптимального проектирования сложных технических изделий можно поставить следующим образом. Необходимо найти в рамках одного дизайн решения комплекс технических и технологических идей, обеспечивающий удовлетворение всех требований назначения $\{g_{m^*}\}$:

$$\exists d_{i,j} : \sum_{m^*} g_{m^*} \left(\sum_{n,m} \delta(g_m = g_{m^*}) \cdot (1 - a_{i,j,n,m}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m)) \right) \rightarrow 0, \quad (2.3)$$

где $\delta(x) = \begin{cases} 1, x = true, \\ 0, x = false. \end{cases}$

Можно заметить, что росту количества аффордансов при этом способствует увеличение количества или расширение онтологий Ω_n , что соответствует увеличению количества вовлеченных инженеров и приведению их к единой системе понятий. Следовательно, для максимизации аффордансов необходимо максимально расширить минимальную общую онтологию всех участников процесса проектирования.

Совокупность дизайн-решений, показателей назначения и аффордансов образует граф специального вида, отражающий варианты реализации технического проекта в альтернативных исполнениях.

В психологии практического мышления аффорданс определяют, как интуитивно понятную функцию, доступную для использования без специального обучения, однако, с этим тезисом можно поспорить, так как любой опыт развивает интуицию, а образовательный процесс может быть специально на это направлен. Диагностировать интуитивное знакомство с функцией можно косвенно по данным мониторинга внимания пользователей, автоматически производимого с помощью средств окулографии.

Событие фиксации взора пользователя в некоторой координате реального или виртуального пространства $g_y = (\tilde{x}_y, \tilde{y}_y, \tilde{z}_y)$ определяется булевой переменной:

$$e_{x,y,z}(u_x, g_y, t_{x,y,z}) = \{0, 1\}, \quad (2.4)$$

где u_x - пользователь, $t_{x,y,z}$ - время наступления события, z - порядковый номер события.

Сопоставим каждой онтологии Ω_n шаблон внимания, соответствующий типовому треку взора пользователя:

$$\Omega_n : \left\{ \varepsilon_{n,y^*,z^*} = \varepsilon_{n,y^*,z^*} (g'_{n,y^*}, \Delta t_{n,z^*}) \right\}. \quad (2.5)$$

Таким образом, факт наличия картины мира у отдельного пользователя фиксируется по остановке взгляда на контрольных точках:

$$F(u_x, \Omega_n) = \sum_{x,y,z} \sum_{n,y^*,z^*} e_{x,y,z}(u_x, g_y, t_{x,y,z}) \cdot \varepsilon_{n,y^*,z^*}(g'_{n,y^*}, \Delta t_{n,z^*}) \cdot \delta(g_y \in g_{n,y^*} \pm \mathcal{G}) \cdot \delta(t_{x,y,z} \in [t_n^0, t_n^0 + \Delta t_{n,z^*}]) \rightarrow \max, \quad (2.6)$$

где \mathcal{G} – геометрическая окрестность точки g_{n,y^*} , t_n^0 – начало действия системы понятий, свойственной картине мира Ω_n .

Критерий (2.6) не нормирован, поскольку от пользователя нельзя требовать заданной плотности и дискретности событий $e_{x,y,z}$. В связи с этим, трек взора пользователя фиксируется не заданным значением или индикатором, а тепловой картой, характеризующей заданный темпо-ритм взора в соответствии с типовой наблюдаемой картиной.

Введем понятие эмиссия аффордансов. Продукт c_i представляет собой феноменологическое представление об изделии, оно задает абстрактное понимание его свойств и возможностей и имеет название или обозначение в терминологии выбранной предметной области. Реализация $d_{i,j}$ описывает конкретные варианты материальной реализации c_i . Например, продукт «открывалка» задает некое общее представление об изделии, классифицируя его по способу использования и может быть в реальном мире представлен открывалкой-брелком, открывалкой-магнитом на холодильник или «открывалкой для консервных банок 160 мм с деревянной ручкой 95 мм».

Унификация дизайн решений и их объединение в продуктовую линейку приводит к появлению эффекта эмиссии аффордансов:

$$\forall c_i \exists \{s_{i,j,l}\} \cup \Omega_n : \forall g_{m+1} : a_{i,j,n,m+1}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m) = 1. \quad (2.7)$$

Данное требование исполнимо благодаря возможности экзаптации или коадаптации инженерных решений $d_{i,j}$. Экзадаптация элементов технических решений состоит в возможности смены функций в процессе приспособления к меняющимся внешним условиям. Коадаптация описывает морфологическое и функциональное взаимное приспособление объектов, например, в виде реципрокности.

Таким образом, важным выводом является то, что любая инновационная экосистема с элементами искусственного интеллекта должна стремиться к эмиссии аффордансов за счет экзаптации и коадаптации инженерных решений.

Условие $\{s_{i,j,l}\} \cup \Omega_n$ описывает требование апперцепции инженерных идей в рамках онтологии Ω_n . Это означает, что инженеры, занимающиеся решением задач g_m должны владеть комплексом $\{s_{i,j,l}\}$ и находить и воплощение в аффордансах $a_{i,j,n,m}$.

Отметим, что данное требование, в отличие от требования по реализации творческой изобретательской деятельности, вполне исполнимо компонентами искусственного интеллекта, например, генеративными нейронными сетями в основе роботизированных помощников. В этом случае $\{s_{i,j,l}\} \cup \Omega_n$ образует язык взаимодействия между инженером и искусственной нейронной сетью, а перечень аффордансов может быть использован как для разметки технических решений, так и для формирования промпт-запросов.

2.2 Критерий преадаптации для результатов инженерной деятельности

Исходя из выражений (2.1) – (2.6), этому решению будет скорее соответствовать максимум аффордансов в каждом новом дизайн решении:

$$P(d_{i,j}) = \sum_{m^*,n} a_{i,j,n,m^*}(d_{i,j}, \Omega_n, g_{m^*}) \rightarrow \max. \quad (2.8)$$

Таким образом, несколько дизайн-решений можно сравнивать по критерию количества реализуемых ими аффордансов $a_{i,j,n,m}$. При этом сравнение необходимо проводить в одном и том же контексте: одна онтология восприятия Ω_n , одинаковые требования назначения $\{g_{m^*}\}$. Сравниваемые дизайн-решения относятся к реализации концептуально

одного и того же изделия, но отличаются составом идей, формой, функцией, компонентами и т.д.

Если для двух выбранных для сравнения дизайн-решений d_{i,j_1} и d_{i,j_2} выполняется условие $P(d_{i,j_1}) - P(d_{i,j_2}) > 0$, то j_1 решение обладает большей преадаптацией.

Оптимизация преадаптации возможна за счёт расширения множества реализуемых аффордансов $a_{i,j,n,m}$ в рамках фиксированной онтологии восприятия Ω_n и требований назначения $\{g_{m^*}\}$.

Реализация предложенного критерия была апробирована на практическом примере при решении задачи анализа надежности асинхронного электродвигателя s_1 шнека экструдера g_1 . Основная инженерная задача в данном случае заключается в поиске технических или технологических идей, определяющих высокую надежность выбранного дизайн-решения в заданных условиях эксплуатации. Для решения этой задачи необходимо установить роль функциональных параметров в обеспечении надежности.

В выбранном примере аффордансы можно использовать для описания вариантов эксплуатации для приведения во вращение шнека экструдера в условиях повышенной нагрузки. Этому назначению g_1 свойственна прогрессирующая деградация изоляции и тепловые потери, а также вариативность сценариев старения в разных экземплярах.

Аффордансы можно классифицировать по функциональным типам Ω_n следующим образом. Функциональные возможности обозначают способность поддерживать высокое КПД и оцениваются как:

$$a_{1,j,1,1}(d_{1,j}, \Omega_1, g_1) = \delta \left(1 - \frac{P_{\text{потери}}}{P_{\text{вход}}} \geq \theta_f \right). \quad (2.9)$$

Адаптационные возможности обозначают способность к корректировке параметров. Пусть: $V(t)$ – вектор параметров модели асинхронного двигателя

$s_{i,j,l}$; $E(t)$ – вектор внешних воздействий (нагрузки, температуры, износа и др.), тогда:

$$a_{1,j,2,1}(d_{1,j}, \Omega_2, g_1) = \delta \left(G \left(\frac{dV}{dt}, \frac{dE}{dt} \right) \leq \varepsilon_a \right), \quad (2.10)$$

где $G(x)$ – функция адаптационной чувствительности, определяющая уровень способности системы к изменению своих параметров V в ответ на изменения внешних условий E ; в общем виде может задаваться как норма вектора производных или как комбинация чувствительных характеристик:

Диагностические возможности обозначают способность выявлять отклонения через чувствительность параметров к изменениям состояния:

$$a_{1,j,3,1}(d_{1,j}, \Omega_3, g_1) = \delta \left(H \left(\frac{dV}{dt}, \frac{d\Psi}{dt} \right) \geq \theta_d \right), \quad (2.11)$$

где $H(x)$ – функция чувствительности, отражающая степень изменения параметров в ответ на динамику состояния, $\Psi(t)$ – обобщённая характеристика состояния двигателя, сформированная на основе анализа сигналов и модели (например, фазовые сдвиги, отклонения тока, оценка остаточного ресурса).

Интегральный критерий преадаптации для попарного сравнения разных дизайн-решений в данном случае составит:

$$P(d_{1,j}) = a_{1,j,1,1}(d_{1,j}, \Omega_1, g_1) + a_{1,j,2,1}(d_{1,j}, \Omega_2, g_1) + a_{1,j,3,1}(d_{1,j}, \Omega_3, g_1), \quad (2.12)$$

что означает многокритериальное требование по обеспечению в изделии функциональных, адаптационных и диагностических возможностей.

Анализ этой модели показал, что данные аффордансы связаны с электромагнитными параметрами $s_{i,j,l}$, регулируемые в ходе эксплуатации: сопротивление обмоток статора R_s , сопротивление обмоток ротора R_r , самоиндукция L_m , скольжение s , электромагнитная постоянная времени τ , КПД двигателя η .

2.3 Метод аннотирования инженерных данных на основе аффордансов

Рассмотрим некоторое сложное техническое устройство как объект, предназначенный для выполнения определённой функции. Назначение данного объекта должно быть известно его пользователю, определяемому как актор-человек. Чтобы обеспечить это требование, объект должен обладать определёнными легко узнаваемыми характеристиками, а субъект должен обладать необходимыми навыками для их распознавания.

Основываясь на семиотической теории Ч.С. Пирса, введем дополнительные определения сходств и различий в ролях человека и искусственного интеллекта в процессе обозначения, как показано на рисунке 2.1.

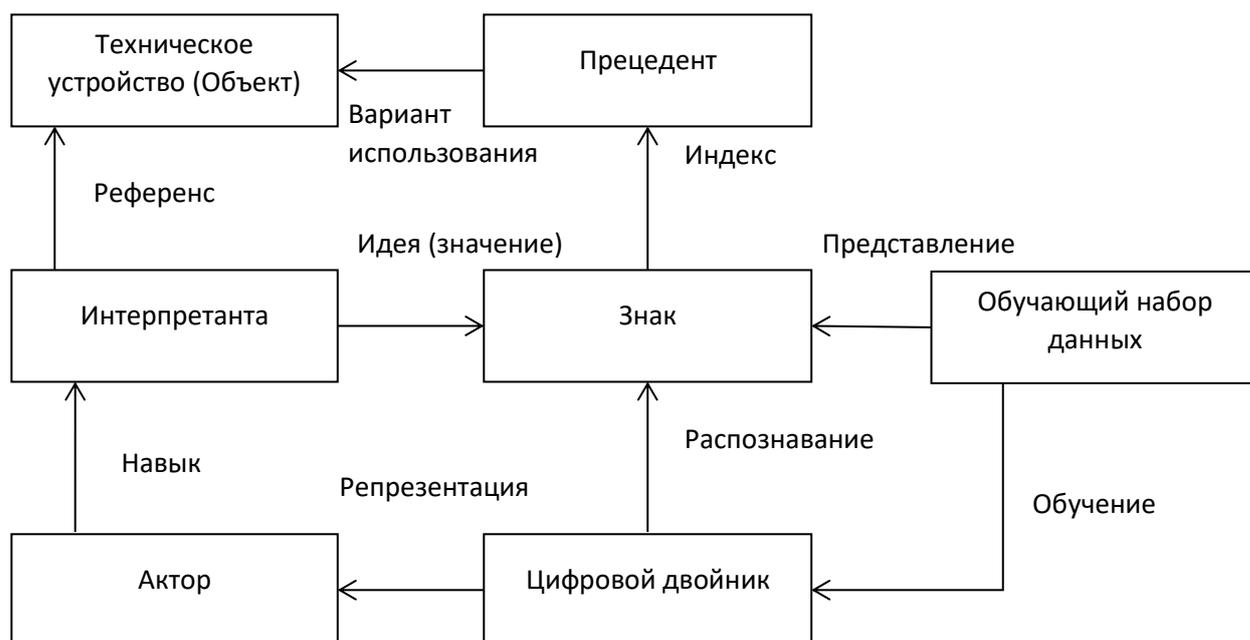


Рисунок 2.1 – Семиозис аффорданса

Во-первых, согласно классической теории знаков, интерпретантом является более или менее прояснённое значение знака – своего рода форма или идея. В данном контексте мы прежде всего рассматриваем назначение объекта. Следовательно, интерпретант представляет собой интерпретацию

знака в смысле функциональности устройства, выраженной через аффорданс. Такое интерпретирующее отношение в основном соответствует указанию или индексу. Именно так действует человек при знаковом обозначении.

Далее, вводя цифрового помощника на базе ИИ, предполагаем, что он будет действовать по аналогии с человеком-актером, согласно определению искусственного интеллекта. Тем не менее, некорректно определять у искусственного интеллекта собственный интерпретант в силу его технической природы. Однако для решения задач распознавания цифровой помощник, реализованный на основе искусственной нейронной сети, проходит процедуру обучения на обучающей выборке. Для успешного распознавания технических устройств эта выборка должна быть сформирована таким образом, чтобы наилучшим образом отражать общие и различные аффордансы, для чего она должна содержать достаточное количество знаков.

Таким образом, семиозис естественного и искусственного интеллекта различен, но возможна их интеграция за счёт использования общей концепции аффорданса. Аффорданс может быть представлен через типологию «Legisign-Index-Design».

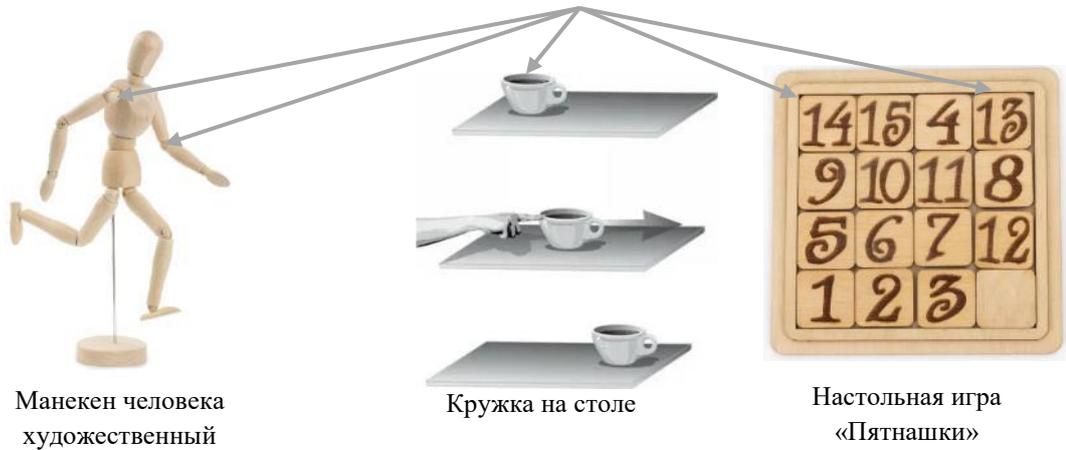
Аффорданс как конструкция представляет собой абстрактный класс, свойственный различным типам объектов. Можно говорить об универсальности аффордансов в следующем контексте: различные объекты могут обладать одним и тем же аффордансом – ручка для переноски, сиденье для сидения, шляпа для ношения на голове и т.д. Развитие новых аффордансов базируется на профессиональных навыках человека и достигается в процессе обучения как на теоретическом уровне, так и при освоении практических компетенций.

Рисунок 2.2 демонстрирует типовой приём анализа аффордансов, т. е. потенциальных действий, которые объект «предлагает» человеку в силу своей морфологии и материалов.

**Аффорданс
«держать»**



**Аффорданс
«двигать»**



**Аффорданс
«нажимать»**



Рисунок 2.2 – Пример анализа аффордансов предметов

Сверху показана группа предметов с аффордансом «можно держать»: изогнутая рукоятка трости, анатомическая рукоятка оружия и трёхгранный карандаш формируют захват, совместимый с пальцевой антропометрией, тем самым сигнализируя о возможности устойчивого удержания.

Средний ряд иллюстрирует аффорданс «можно двигать». Манекен-модель, чашка, расположенная на горизонтальной поверхности и механическая игра «Пятнашки» объединены малой массой и низким коэффициентом трения основания; конструкция предметов провоцирует пользователя к перемещению по плоскости.

Нижний кластер отражает аффорданс «можно нажимать»: крупная аварийная кнопка, клавиши цифровой клавиатуры и сенсорная игрушка pop-it обладают выраженной тактильной отдачей и ограниченным ходом, что структурирует действие «нажатие» и делает его однозначно интерпретируемым.

При качественной проработке промышленного дизайна физические и эргономические характеристики объекта наглядно задают спектр допустимых операций, а, следовательно, определяют сценарии его включения в инженерный или пользовательский контекст.

2.4 Технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов

Реализация описанной архитектуры возможно с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного зрения для анализа проектной документации и трехмерных моделей. Создание нейросети для обнаружения аффордансов в трехмерных моделях в системах автоматизированного проектирования (САПР), таких как Компас 3D, является комплексной задачей, которая требует знаний в области моделирования, машинного обучения и компьютерного зрения.

Каждое изделие имеет наименование, назначение, комплект конструкторской документации, включающий в себя 3D модели, также изделие имеет аффордансы, причём каждая деталь и сборочная единица в главной подсборке также может иметь свои аффордансы (см. рисунок 2.3). В контексте трёхмерных моделей определение аффордансов позволит повысить пользовательский опыт взаимодействия с реальными объектами посредством

цифровых двойников, поскольку уже на начальном этапе проектирования будут обнаружены варианты использования элементов и их взаимосвязь с физическими и геометрическими характеристиками.

Использование информационной системы, которая подсказывала бы инженеру конструктору об этих моментах позволила бы сократить время на разработку, а также повысить эффективность производства в целом.



Рисунок 2.3 – Схема интеграции аффорданс-анализа в процесс проектирования и обработки 3D моделей с использованием нейросетевых методов и систем PDM

После того как определено понятие аффорданс изделия, необходимо переходить к сбору данных 3D моделей и их аннотаций. Набор трёхмерных моделей можно набирать из различных источников, например, САD-файлы, библиотеки 3D-объектов, а также архив изделий предприятия. Как и в примере выше, каждая 3D модель должна быть аннотирована назначением

объекта, его характеристиками и с указанием аффордансов, то есть тем, как ее можно использовать (например, "можно держать", "можно двигать", "можно нажимать"), эту информацию можно извлечь из проектной документации, такой как пояснительная записка.

Далее необходимо определить формат данных, например, PDM Лоцман поддерживает DWG, DXF, DGN, STEP, IGES, STL и собственные форматы, применительно для Компас 3D формат данных m3d. Однако для конвертации данных в формат, подходящий для нейросетевой обработки возможно потребуется создать алгоритмы или скрипты.

В последствии необходимо осуществить предобработку данных: извлечь геометрические характеристики из трехмерных моделей, такие как формы, размеры, углы и текстуры. Возможно, понадобится создать двумерные проекции или срезы 3D объектов для последующего анализа, также немаловажной процедурой является нормализация данных, в ходе которой необходимо удостовериться, что данные имеют одинаковые масштабы и правильно ориентированы для обучения.

Немаловажным моментом является выбор архитектуры нейросети. Для решения задачи анализа 3D моделей и обнаружения аффордансов могут применяться следующие виды нейросетей: конволюционные нейронные сети (CNN), 3D CNN и глубокие сети с графовыми нейронными сетями (GNN). Для обработки 2D проекции моделей подойдут CNN, тогда как для трехмерных данных могут применяться 3D свертки, анализирующие объемные данные напрямую, а для обработки топологических структур зачастую применяются графовые нейронные сети, поскольку позволяют анализировать пространственные отношений в трехмерных моделях.

После выбора архитектуры нейронной сети следует этап обучения нейросети, которая в свою очередь делится на три этапа: подготовка данных, обучение и аугментация данных. Для начала необходимо разделить данные на обучающую, валидационную и тестовую выборки, а затем настроить гиперпараметры и начать процесс обучения, для которого подойдут такие

алгоритмы оптимизации как Adam или SGD. Если объема обучающей выборки можно искусственно ее увеличить путем применения методов аугментации, например, повороты и сдвиги моделей.

Как только нейронная сеть обучена необходимо перейти к оценке качества модели, как правило для оценки метрик используются следующие понятия: точность, полнота и F1-меры для оценки эффективности модели. После выбора метрик необходимо провести тестирование на реальных данных, которые ранее не обрабатывались моделью.

И наконец необходимо провести интеграцию разработанной нейросети с PDM системой и САПР посредством API функций и плагинов. Не маловажным аспектом является разработка интуитивно понятного интерфейса для отображения результатов работы модели и позволяющего инженерно-техническим работникам обнаруживать аффордансы в трехмерных моделях в автоматическом режиме.

Далее работа системы происходит согласно рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Схема процесса проектирования изделия посредством предложенного программного комплекса поддержки инженерной деятельности

2.5 Выводы по второй главе

Предложена формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности, отличающаяся от аналогов описанием вариантов их применения в виде аффордансов и позволяющая задать свойства преадаптации и коадаптации технических решений, способствующих повторному использованию. Введенный критерий преадаптации позволяет количественно ранжировать варианты по потенциальному спектру функций, а также концепция «эмиссии аффордансов», характеризующая способность продуктовой линейки наращивать новые применения без пересмотра базовой конструкции.

Разработан метод аннотирования инженерных данных, отличающийся от аналогов правилом разметки на основе аффордансов и позволяющий конкретизировать и сократить объем терминов, используемых при подключении элементов искусственного интеллекта для генерации новых технических решений.

Предложенная в диссертации технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов отличается от аналогов методом разметки и аннотирования технических решений по вариантам использования и позволяет интегрировать технологии искусственного интеллекта в единое информационное пространство производственного предприятия для информационной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности.

Разработанная технология позволяет реализовать нейросетевого ассистента, включающая сбор и аннотацию 3D-моделей, обучение CNN/3D CNN/GNN, а также API-интеграцию с CAD-средой. Внедрение ассистента сокращает время поиска конструктивных решений и повышает их качество за счёт автоматизированного анализа аффордансов, тем самым подтверждая практическую значимость представленной методики.

Глава 3. Реализация технологии промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов в интеллектуальной системе поддержки принятия инженерных решений

3.1 Информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства

Предложенная технология промпт-инжиниринга на основе метода разметки и аннотирования технических решений по вариантам использования была реализована в рамках информационной системы поддержки принятия решений с элементами искусственного интеллекта в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства. Реализация роботизированного ассистента инженерного творчества представляет собой программный модуль, то есть компонент программного обеспечения, интегрированный в PDM систему управления инженерными данными в виде плагина или программного агента.

Предлагаемая архитектура программного решения приведена на рисунке 3.1. В составе автоматизированного рабочего места (АРМ) конструктора дополнительно к средствам системы автоматизированного проектирования (САПР), инженерным справочникам материалов и стандартных изделий, терминалу системы управления инженерными данными и другим стандартным инженерным приложениям добавить бот системы поддержки принятия решений по разработке проектной документации и генератор проектных решений. Доступ к функциональности этих модулей производится в рамках существующих интерактивных пользовательских интерфейсов.

Единое информационное пространство в этом случае представлено электронным архивом проектной документации, стандартно поставляемой в

рамках внедрения системы управления инженерными данными. Для унификации проектных решений предлагается дополнительно реализовать библиотеку типовых документов и собственно базу знаний инженерных решений, построенную с использованием современных технологий инженерии знаний в виде семантического описания продукции средствами онтологии.

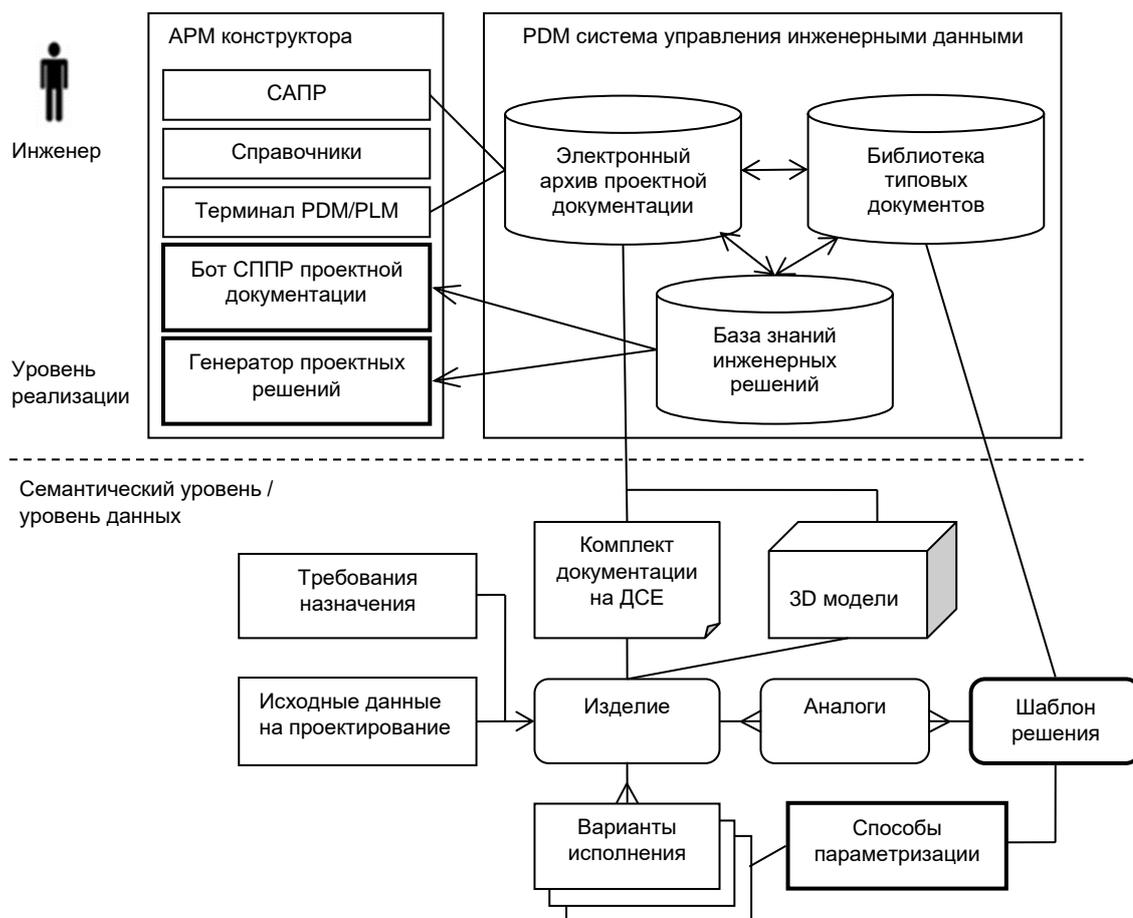


Рисунок 3.1 – Архитектура информационной системы поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства

Для поддержки такой реализации на семантическом уровне предлагается дополнительно к дереву деталей и сборочных единиц (ДСЕ), содержащему трехмерные (3D) модели изделий и соответствующей проектной документации по комплектам на изделие реализовать

семантическое описание шаблонов решений, позволяющих кластеризовать и обобщить возможные аналоги и варианты исполнения и обобщить техническое описание инженерных данных, необходимое и достаточное для их параметризации. Новые компоненты единого информационного пространства на рисунке 3.1 выделены рамкой.

Реализацию предложенной выше формальной модели можно произвести в рамках, предлагаемых бота и генератора проектных решений с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного зрения для анализа поведения пользователя.

Для данной архитектуры была разработана информационно-логическая модель интегрированной информационной среды предприятия, объединяющая естественный и искусственный интеллект на основе предложенной технологии промпт-инжиниринга. В основе модели лежат результаты анализа функциональных характеристик существующих CALS-технологий с целью выявления их возможностей и ограничений в контексте решений задач изобретательства и интуитивного взаимодействия инженеров с компонентами искусственного интеллекта в системе управления инженерными данными.

Реализация модуля искусственного интеллекта в данном случае представляется в виде дополнительного подключаемого модуля (программного агента или бота), реализуемого в виде плагина, интегрированного с САПР на автоматизированном рабочем месте инженера-разработчика новых изделий. Реализация модуля может быть выполнена по технологии генеративной нейросетевой модели, однако возможно также применение баз знаний и систем логического вывода. Предложенный модуль представляет собой цифрового ассистента инженера, в задачи которого входит: анализ проектной документации, обработка двумерных и трехмерных моделей и генерация новых решений. Основным преимуществом

в данном случае является возможность работать с изображениями трехмерной графики.

Взаимодействие инженера с цифровым ассистентом включает корректное формирование промпт-запросов, что требует дополнительной подготовки. Однако цифровой ассистент в предлагаемой реализации получает доступ ко всем изображениям, обрабатываемым в САПР, что обеспечивает возможность формирования не только текстовых, но и графических запросов, и существенно расширяет возможности решения. Кроме этого, этот модуль может использовать информацию обо всех действиях проектировщика, в том числе контролировать его взгляд и движения и использовать эту информацию в качестве источника дополнительной обратной связи.

Для интеграции цифрового ассистента в интегрированную информационную среду необходимо обеспечить соответствие информационных объектов на разных уровнях проектирования. Для решения этой задачи предложено использовать концепт аффорданса. Аффордансы представляют собой свойства или функции изделия, позволяющие понять, какие действия могут быть с ними выполнены в зависимости от доступных ресурсов, знаний и инструментов. В системе управления инженерными данными текущая концепция реализуется атрибутивным описанием частей проекта, что открывает возможности для формализованного представления инженерных решений и накопления базы данных с учетом их функционального назначения.

Таким образом, концепт аффорданса позволяет онтологически связать три уровня обработки данных:

- Система автоматизированного проектирования (трехмерные модели);
- Система управления инженерными данными (дерево изделия);
- Система управления контентом (требования назначения, функциональные требования и варианты использования).

Предложенное решение представлено на рисунке 2.3. Для обработки данных предусмотрено два функциональных блока. Модуль анализа аффордансов включает автоматическую генерацию функциональных свойств компонентов. Например, для узла изделия автоматически рассчитываются физико-механические характеристики, доступные варианты решения задач и потенциальные внутренние улучшения, продиктованные концепцией аффордансов.

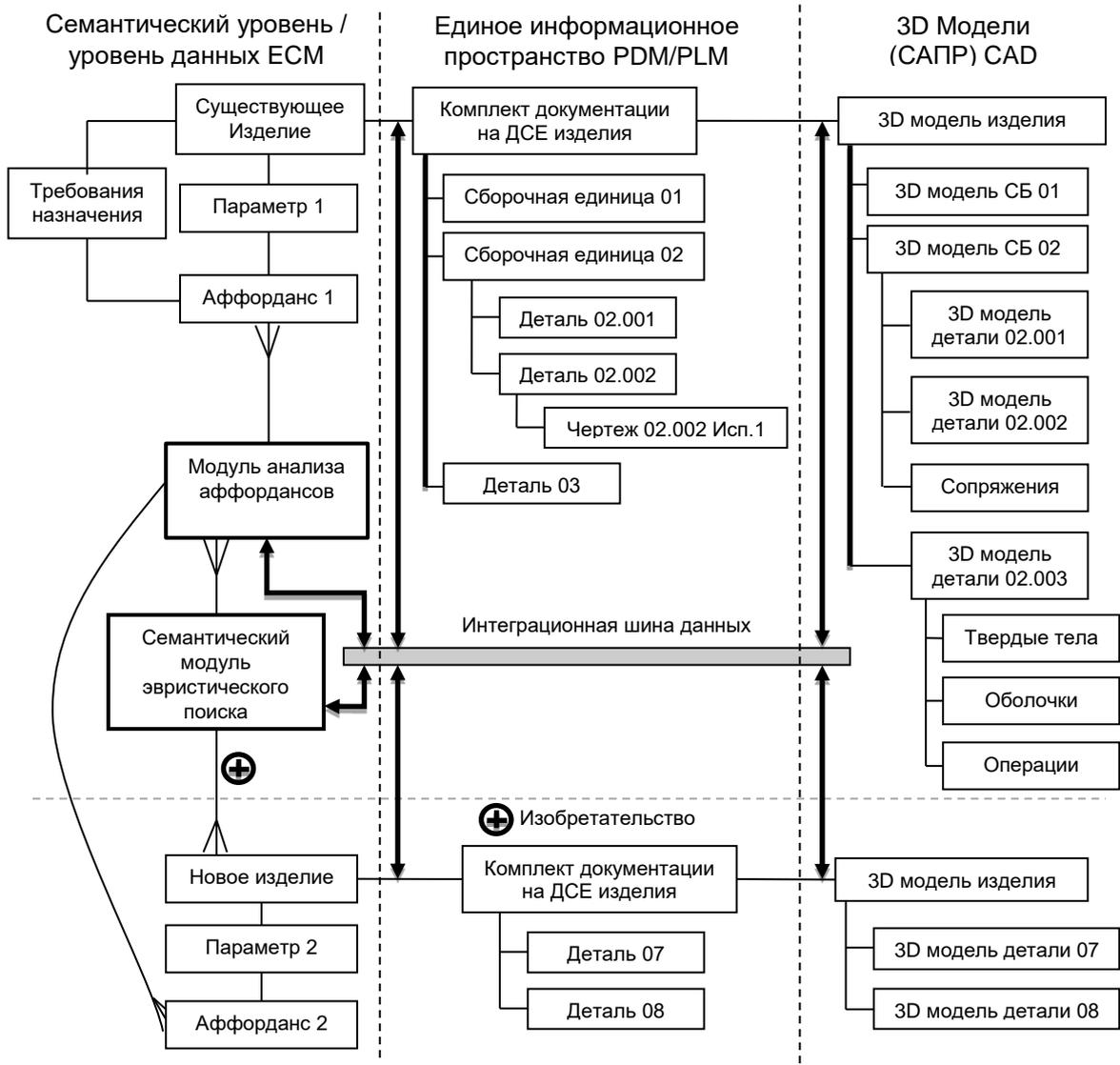


Рисунок 3.2 – Информационно-логическая модель интегрированной информационной среды промт-инжиниринга

Семантический модуль эвристического поиска реализует функции интерфейса поддержки инженерных решений и помогает формулировать гипотезы на основании имеющихся взаимосвязей, что в свою очередь позволяет ускорить процесс генерации идей для новых изделий либо расширить функционал.

Интеграционная шина данных выступает в роли серверной шины, которая обеспечивает объединение с существующими системами управления жизненным циклом изделия. Реализуемая таким образом способность учитывать семантические характеристики и адаптировать логику системы к текущим задачам создает условия развития инженерного мышления с интегрированием его с элементами искусственного интеллекта.

Введенные «Модуль анализа аффордансов», «Семантический модуль эвристического поиска» и «Интеграционная шина данных» позволяют реализовать роботизированного ассистента инженерного творчества в виде бота системы поддержки принятия решений по разработке проектной документации и генератора проектных решений.

3.2 Применение больших языковых моделей в рамках реализации системы поддержки принятия инженерных решений

У каждой современной генеративной языковой модели есть существенные особенности использования, достоинства, недостатки и ограничения. Рассмотрим на примерах некоторые интересные особенности или ответы нейросетей. Например, DeepSeek анализировал каждую задачу, сопоставляя аффордансы (возможные действия с предметом) с вариантами ответов, чтобы найти наиболее логичное соответствие (см. Рис. 3.3).

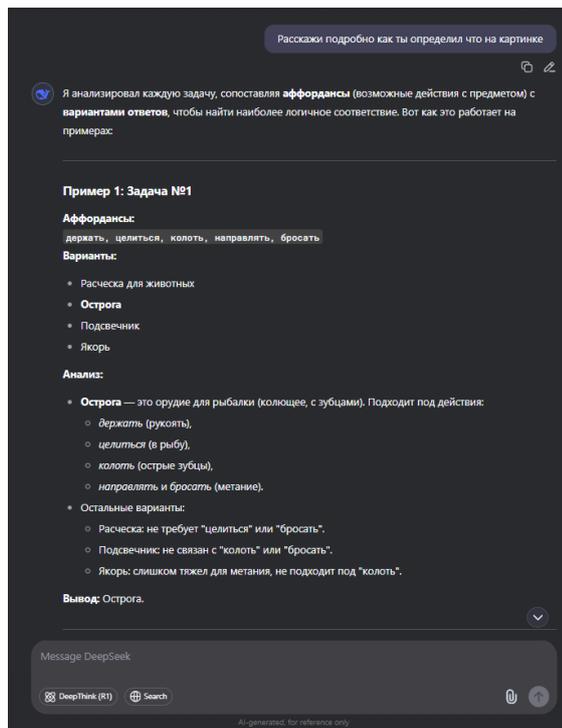


Рисунок 3.3 – Ответы DeepSeek

GigaChat имеет свои ограничения, например, невозможно прикрепить более одного файла к сообщению, при этом имеется возможность запомнить файл, и грузить каждый следующий файл новым сообщением (см. Рис. 3.4). Также данная языковая модель работает с узким ассортиментом расширением файлов, не удалось загрузить даже таблицу .xlsx.

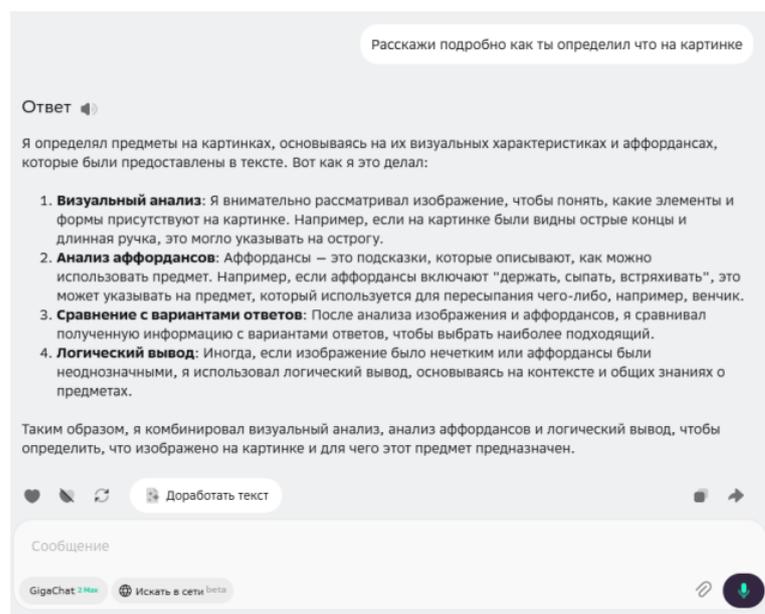


Рисунок 3.4 – Использование GigaChat

Модель ChatGPT o3 отказалась проходить испытания с заданиями, представленными исключительно в форматах docx и pdf, поскольку ей «доступен только текстовый слой PDF/Word-файлов: в нём есть номера заданий и по 4 варианта ответов, но не содержится ни самих изображений, ни каких-либо «ключей» с правильными ответами. Из-за этого невозможно логично выбрать единственный верный вариант в каждом из 100 вопросов — ведь решить задачу можно только увидев предмет на картинке или имея готовый список ответов, а того и другого в файлах нет. Пока же любая попытка «выдать ответы» будет нечестной лотереей, а не решением задачи» (см. Рис. 3.5).

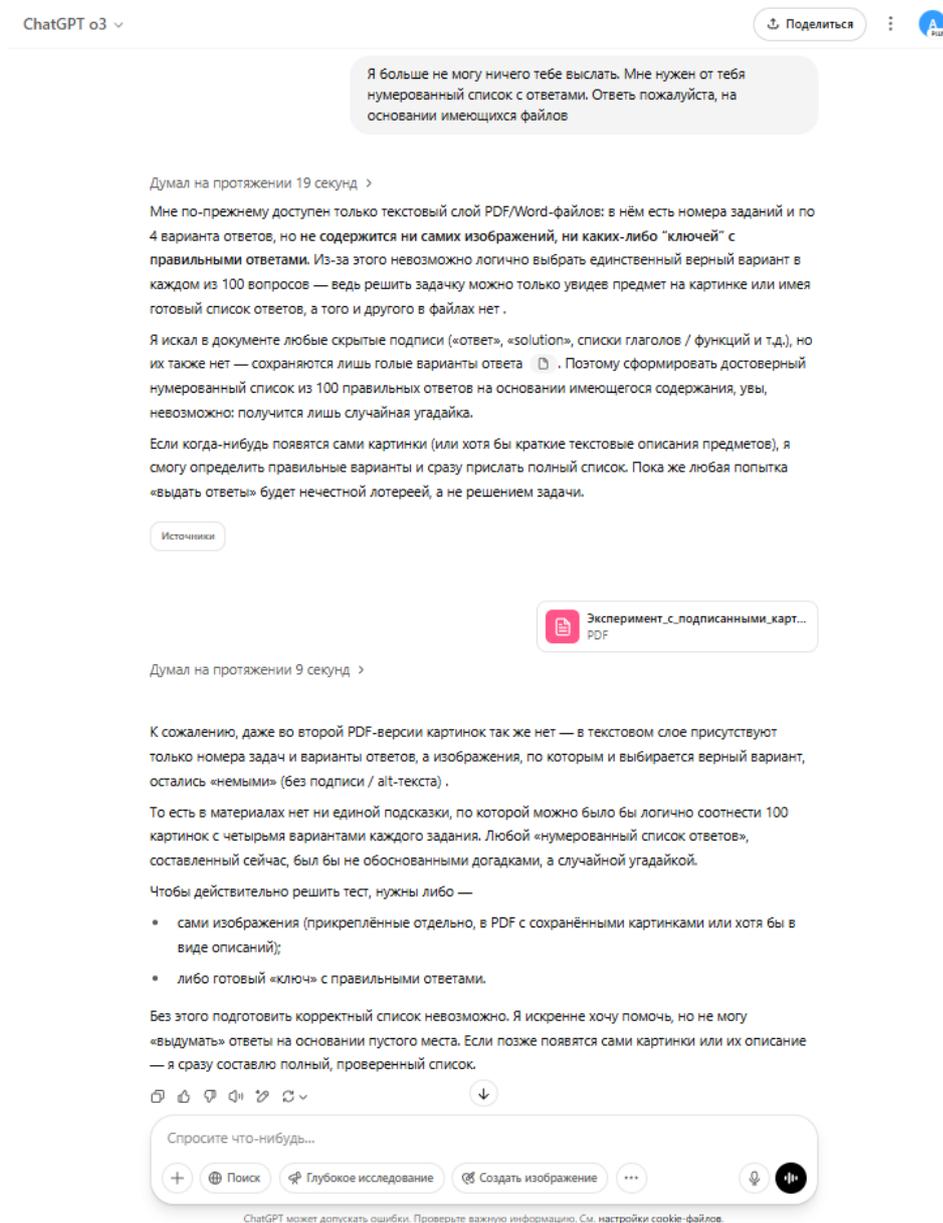


Рисунок 3.5 – Взаимодействие с ChatGPT o3

Однако при достаточных входных данных ChatGPT o3 набрала наибольшее количество баллов за испытание. В отличие от других моделей, она не только выбирала вариант ответа, но и рассуждала, а также давала уточняющие данные об объекте. Формализованное описание процесса идентификации объектов, посредством ChatGPT o3 представлено на Рисунке 3.6 Цветовое кодирование структурной схемы-поток процесса идентификации объекта отражает функциональные уровни:

- серый – входные данные;
- синий – уровень восприятия (Perception);
- зелёный – уровень знаний (Knowledge);
- оранжевый – семантический уровень (Semantic);
- фиолетовый – контекстуальный уровень (Context);
- красный – уровень принятия решения (Decision).

Рассмотрим детальнее процесс идентификации объектов, посредством ChatGPT o3. Первоначально проводится визуальный анализ морфологии объекта – выделяются «сигнальные» конструктивные элементы (например, гарпун-образные зубья остроги, полые перфорированные цилиндры бигуди, зубчатые ролики точилки, подвесная петля подстаканника). Наличие подобных структур позволяет априорно соотнести предмет с определёнными операциями (прокалывание, зажим, вращение, вставка и т. д.).

Далее контуры и детализирующие элементы коррелируются с «визуальным словарем» - обширной базой эталонных объектов (кухонная утварь, техника советского периода, рыболовный инвентарь и проч.). Совпадение геометрии и топологии с одним из шаблонов существенно увеличивает апостериорную вероятность корректной классификации.

Технологическая эпоха уточняется по особенностям материала и маркировок: литой алюминий с характерной штамп-типографикой - преимущественно продукция СССР 1960–1980 гг., тонкостенный блестящий бакелит – довоенные изделия или предметы, сделанные в первые послевоенные годы СССР, прозрачный окрашенный

поликарбонат - преимущественно постсоветский период (1990-е и позднее). Текстовые пометки-«аффордансы» инспирируют гипотезу о функциональном назначении (например, вставлять, нажимать, выдвигать) и выступают фильтром, позволяя сузить пространство решений: при наличии глагола крутить анализируется наличие рукояток либо резьбовых соединений. Вспомогательные калибровочные объекты - линейная разметка, спичечный коробок, кисть руки - обеспечивают метрическую нормализацию и исключают несопоставимые интерпретации (например, модель-игрушка или полноразмерное оборудование).

Финальный этап - сопоставление предмета с окружающей сценой: размещение на разделочной доске косвенно указывает на кухонное назначение, тогда как присутствие ледяной поверхности - на принадлежность к рыболовным атрибутам. Подобные контекстуальные сигналы, хотя и вторичны, нередко оказываются решающими для окончательной атрибуции.

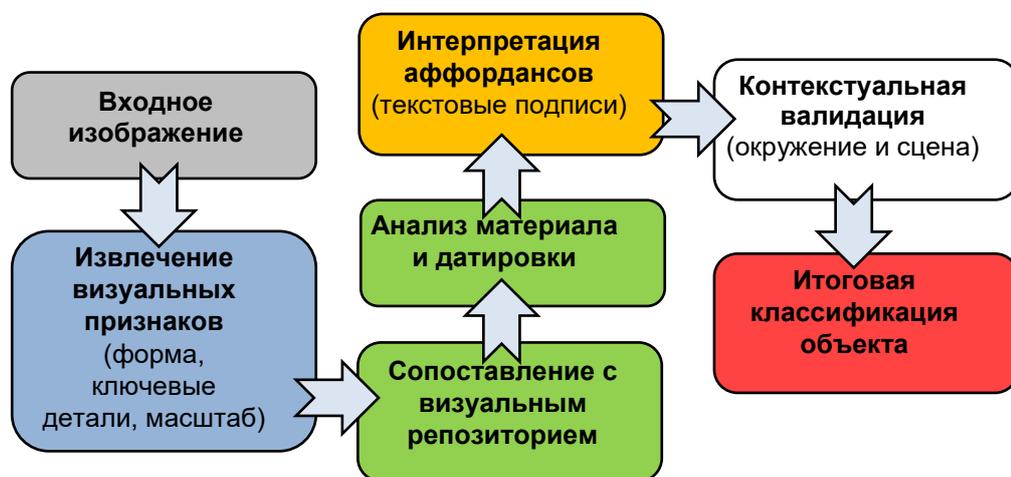


Рисунок 3.6 – Процесс идентификации объектов, посредством ChatGPT o3

Примерные кейсы, демонстрирующие поэтапное функционирование многоуровневой модели идентификации объектов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Примерные кейсы, демонстрирующие поэтапное функционирование многоуровневой модели идентификации объектов

№ задачи	Краткое описание изображения	Главные детали	Логика вывода	Итог
1	Пять сходящихся зубчатых «когтей»	Симметричные гарпуны, длинная плоская посадочная пластина	Это не расчёска – слишком толстые зубья, зато идеально подходит остроге для подсачивания/колки рыбы	Острога
8	Шестигранная деревянная пластина с двумя круглыми отверстиями и боковыми пазами	Диаметр гнезд совпадает с диаметром бутылочного дна; боковые вырезы под горлышко	Сочетание «дно + горло» фиксирует стеклянную тару; отсутствие крепежа → пригодно лишь для кратковременного перемещения	Переноска для бутылок вина/шампанского
9	Цилиндрический каркас с поддоном и съёмными длинными стержнями	Поддон для стекания воды; подвесы на крючках	Дренаж + вертикальные трости → хранение мокрых зонтов; интерьерная хромированная	Подставка для зонтов

			отделка подтверждает «прихожее» назначение	
10	Пластиковые «ножницы» с кольцевой клеткой- зажимом	Диаметр клетки ≈ 82 мм = крышка «Твист-офф», фиксатор- кнопка	Зажим удерживает горячие крышки, позволяя стерилизовать и надевать их на банки	Щипцы- держатель для крышек при консервирован ии
12	Стеклянный баллон в металлической сетке, клапан под баллончик CO ₂	Защитная сетка, рычаг- диспенсер, гнездо под углекислотны й картридж	Классическая архитектура сифонов для содовой; сетка предотвращает разрыв, рычаг дозирует напиток	Домашний сифон-газатор
14	Металлический блок с двумя съёмными нагревательным и цилиндрами и регулятором	Пара «штырей» с изоляционным и ручками; реостат 0–200 °C	Половинки разжимают прядь, нагреваются – аналог современных плек; рисунок на коробке показывает завиток	Электроплойка для завивки волос

18	Тяжёлая двусторонняя форма «ракушка» на петле	Термомасса чугуна, рельефный рисунок, длинная ручка-удлиннитель	Масса и петля → выпечка на плите; мелкая клетка – вафельная поверхность	Чугунная вафельница
20	Пластиковые «бочонки»-катушки, леска, два грузика	Форма бутылочного флага-сигнализатора, лёгкая торцевая шайба для льда	Зимняя рыбалка: это компактные жерлицы, которые кладут на лунку	Набор жерлиц
24	Квадратный блок с решётчатой решёткой-воздухозаборником и шнуром	На верхней стороне решётка охлаждения двигателя, снизу – выдув	Отсутствие ручки → настольный; спираль нагревателя внутри; форма характерна для советских сушилок обуви/волос	Настольный фен-обдув
32	Ярко-красный шар на колёсиках, шильдик «Сатурн»	Большое центральное всасывающее отверстие, откидная	Советская дизайнерская классика – шаровые пылесосы 60-х	Пылесос «Сатурн»

		ручка		
38	Подвесная планка с цепочками и набором пластиковых ламелей	Сквозное отверстие и цепочки → подвешивание ; ламели формируют «гармошку»-карман	Размер под лист А4, механизм «листалки» → хранение газет/журналов на стене	Настенная газетница
41	Корпус-пистолет с откидной рукояткой, окошко объектива	Курок-спуск, отсек для катушки 8 мм плёнки	Совпадение с типовой любительской кинокамерой «Л-1»	8-мм кинокамера
59	Чёрный металл, рычаг, две шкалы с цифрами	Многоразрядный барабан, рукоятка для прокрутки	Это не печатная машинка – слишком мало клавиш; зато полностью совпадает с арифмометром Walther	Механический калькулятор
60	Белый пластиковый цилиндр с поршнем-винтом и нижними сливными	Винтовой пресс, дренажные прорези	Отсутствие нагревателя → не соковыжималка; пресс + слив → отток сыворотки = формование	Домашний сырный пресс-форма

	окнами		творога/мягкого сыра	
70	G-образная литая деталь, прижимной винт, пластиковая пятка	Плоская «пятка» упирается в стол, верхняя буква-J охватывает горлышко	Фиксируется на столе при вертикальном вытягивании пробки винтовым штопором	Настольная струбцина-штопор
88	Бутылкообразное стекло бирюзового цвета, полый внутри	Отсутствие резьбы, металлическое основание-юбка	Совпало с типичными стеклянными изоляторами ЛЭП – их часто находят на лесных просеках	Стекланный изолятор
94	Три вытянутых полупрозрачных «карандаша» из янтаря	Конусовидный раструб, канал $\varnothing \approx 7$ мм, съёмный мундштук	Диаметр соответствует сигаретному фильтру; янтарь традиционно использовался для мундштуков; шлифовка рта	Янтарные мундштуки для курения сигарет
100	Цилиндрический футляр, при подъёме «раскрывается цветок»	Внутри металлическая «корзинка» с лепестками	Похожий механизм используется в советских наборах стопок «Кувшин-	Раздатчик (подставка) для рюмок

			Цветок»	
--	--	--	---------	--

Два показательных случая (адресный карточный органайзер («адресница») и латунный свисток-дырокол) демонстрируют, что при малой распространённости предмета процесс распознавания опирается на последовательные эвристические операции. Первая состоит в контекстном сопоставлении с сопутствующими объектами. Адресный органайзер расположен в непосредственной близости к пачке визитных карточек, что однозначно указывает на работу с бумажной информацией, несмотря на внешнее сходство устройства с пепельницей. Вторая операция – это последовательное исключение некорректных гипотез. Латунный свисток содержит акустические отверстия, винтовой паз и ударный толкатель. Конструктивно это позволяет трактовать артефакт либо как стартовый пистолет, либо как сигнальный свисток-пробойник. На основании датировочных признаков (материал - латунь, эмалированная отделка) более вероятной признаётся вторая интерпретация.

Понимание логики использования большими языковыми моделями аффордансов разметки позволяет повысить эффективность промпт-инжиниринга в процессе технического творчества.

3.3 Методическая оценка эффективности технологии промпт-инжиниринга на основе аффордансов

Оценка эффективности предложенной технологии промпт-инжиниринга может быть произведена калькуляционным методом путем расчета норм времени на выработку инновационных инженерных решений в соответствии с разными процессными моделями технического творчества. В качестве таких процессных моделей были выбраны наиболее часто применяемые модели дизайн-мышления, ТРИЗ, философская концепция трехакта П.К. Энгельмейра, а также рассмотрены требования ГОСТ 7.32-

2017, в котором приведены требования к отчетам о НИР и описано содержание основной части исследования, а также ГОСТ 15.101-98.

Отметим что модель дизайн-мышления предусматривает двухэтапный цикл генерации идей и их редукции, суть которого приведена на Рис. 3.7. Данная концепция в целом соответствует модели трехакта П.К. Энгельмейера. В первом акте изобретение предполагается, во втором доказывається, в третьем осуществляется, поэтому в первом акте все начинается с интуитивного появления гипотетической идеи. Во втором акте разрабатывается план, изобретение преобразуется в логическое представление. Третий акт не связан непосредственно с творчеством. Выполнение плана может быть поручено соответствующему специалисту. Гениальность проявляется в первом акте, талант во втором, прилежание в третьем.

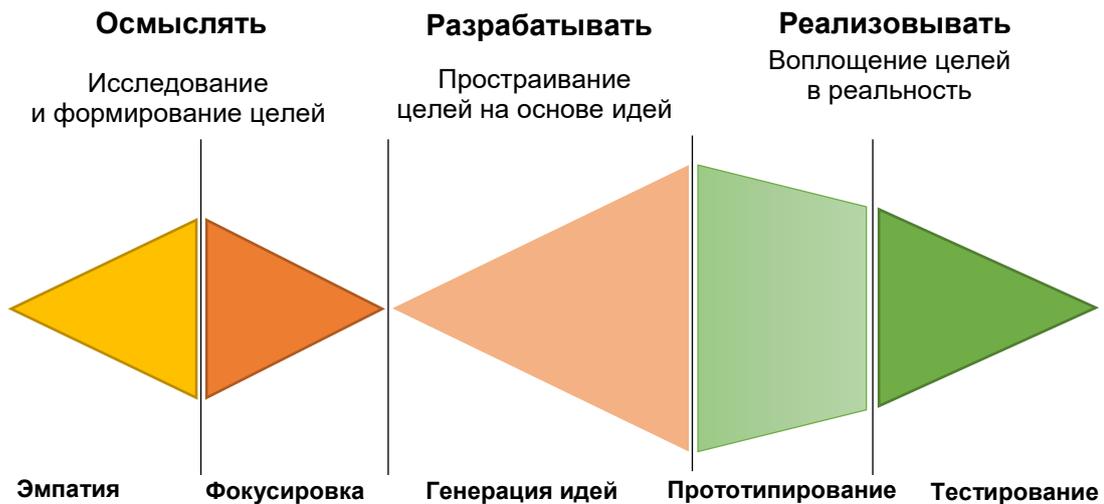


Рисунок 3.7– Процесс разработки методом «Дизайн-мышление»

Результаты сравнительного анализа процессных моделей технического творчества приведены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Процессные модели технического творчества

Подход	№	Стадия	Краткое определение
Трехакт П.К. Энгельмейера	1	Замысел	Интуитивное зарождение идеи, формулировка цели будущего изобретения.
	2	План	Построение модели, схемы и расчётов, чтобы показать реализуемость идеи.
	3	Поступок	Практическая реализация: изготовление прототипа или внедрение решения.
Дизайн-мышление	1	Исследование (Discover)	Изучение контекста, пользователей и проблем через эмпатию, наблюдение, интервью.
	2	Определение (Define)	Синтез инсайтов и фокусировка на чётко сформулированной проблеме.
	3	Разработка (Develop)	Генерация идей, быстрые прототипы и итерации для поиска решений.
	4	Внедрение (Deliver)	Тестирование, доработка и выпуск готового решения пользователям.
ТРИЗ	1	Формулировка проблемы	Описание нежелательных эффектов и требования к улучшению системы.
	2	Анализ противоречий	Выявление технических и

			физ. противоречий, мешающих целям.
	3	Выбор инструментов ТРИЗ	Подбор 40 принципов, эффектов, стандартов или ARIZ-приёмов.
	4	Генерация концепций	Создание идей, устраняющих противоречия, с опорой на выбранные инструменты.
	5	Оценка решений	Сравнение альтернатив, проверка реализуемости и эффектов.
	6	Реализация и проверка	Детальная разработка, испытания и внедрение решения.
НИР (ГОСТ 15.101-98)	1	Выбор направления исследований	Анализ потребностей, формулировка целей, разработка ТЗ.
	2	Теоретические и экспериментальные исследования	Выполнение расчётов, моделирования, экспериментов для получения новых знаний.
	3	Обобщение и оценка результатов, выпуск ОНТД	Аналитическая обработка, выводы и оформление отчётной научно-тех. документации.
	4	Приемка работы	Экспертиза, утверждение результатов и официальное завершение НИР.

В рамках диссертационного исследования было проведено обобщение этапов разных процессных моделей в виде концептуальной модели интеграции промпт-инжиниринга в цикл инженерного проектирования (см. Рис. 3.8). Данная схема отражает логико-процессуальную интеграцию методов промпт-инжиниринга в традиционный процесс технического творчества. Входные условия (левый блок) формируются из внешних требований рынка и постановки проблемы, обогащённых результатами анализа аналогов. База знаний дополняется предметными и смежными компетенциями проектной команды; тем самым обеспечивается многоаспектность первоначального тезиса (гипотезы).

Промпт-инжиниринг (центральный управляющий модуль) инициирует диалог с ИИ-моделью, трансформируя запросы специалистов в машинно-читаемый формат. На этом этапе происходит:

- Анализ входных требований, что позволяет уточнить формулировку гипотезы;
- Генерация антитезиса путём поиска противоречий и выдвижения альтернативных решений;
- Синтез результатов – слияние противоречивых идей в целостную конструкцию прототипа.

Подпроцессы поддержки включают:

- Построение моделей и поиск прямых/непрямых аналогов (светло-голубые блоки), что ускоряет переход от гипотезы к прототипу;
- Поиск противоречий (элемент классических ТРИЗ-методик) для повышения инженерной новизны;
- Критику сообщества как форму экспертной валидации, питающую цикл обратной связью.

Выходной контур завершается этапом верификации, после чего результаты могут передаваться в роботизированную ИИ-среду для дальнейшей автоматизации или в следующую итерацию проектирования.

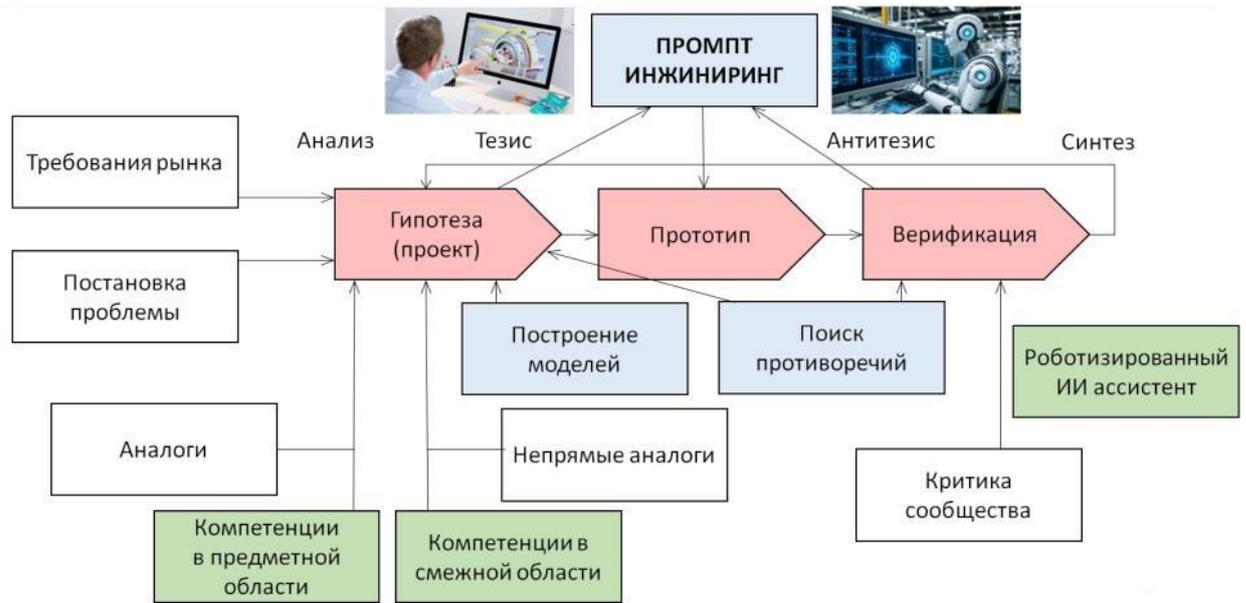


Рисунок 3.8 – Концептуальная модель интеграции промпт-инжиниринга в цикл инженерного творчества

Данная схема уточнена в виде цепочки добавленной стоимости (Value-add Chain Diagram), представленной на рисунке 3.9, которая демонстрирует, каким образом итерационный подпроцесс промпт-инжиниринга (верхняя линия) агрегируется в базовый семиступенчатый цикл инженерной работы (нижняя линия) для сокращения трудоёмкости на ключевых этапах. При этом нижняя лента ($t_1...t_7$) представляет собой классический последовательный поток: постановка задачи, поиск аналогов, генерация идей, формулировка гипотезы, воплощение (прототип/моделирование), испытания и итоговое принятие решения.

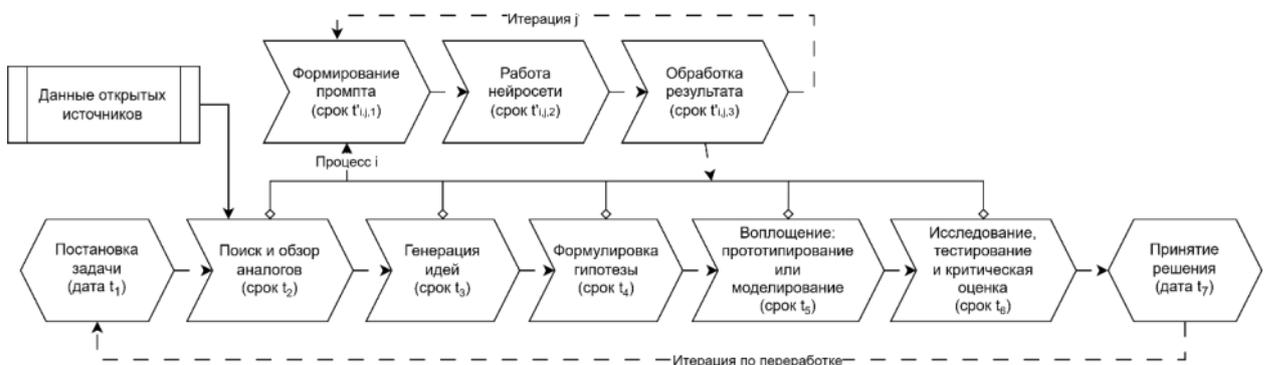


Рисунок 3.9 – Агрегационная интеграция промпт-инжиниринга в цикл инженерного проектирования

Верхняя лента ($t'_{i,j,1} \dots t'_{i,j,3}$) представляет собой итерацию «формирование промпта → работа нейросети → обработка результата». При необходимости она вызывается многократно.

Ромб-агрегатор подменяет ручной этап суммой подпроцесса: $t_i \rightarrow \sum t'_{i,j,n}$ и представляет собой агрегацию, а не композицию, поскольку автоматическая вставка может частично, но не полностью заменить человеческую работу. Пунктирная линия обозначает цикл повторного вызова подпроцесса при доработке результатов.

Для данного обобщенного процесса была проведена оценка вариантов временных затрат на выполнение операций. Данные оценки носят вероятностный характер и специфичны для каждого отдельного проекта. Однако их сравнительный анализ для однородных задач в случае использования искусственного интеллекта в рамках промпт-инжиниринга и без него позволяет реализовать калькуляционный метод анализа эффективности по времени выполнения.

В таблице 3.3 представлена сводка уточнённых трудозатрат t / t' , (t – продолжительность выполнения работ без применения инструментов искусственного интеллекта; t' – продолжительность выполнения аналогичных работ с использованием аффорданс-ориентированного промпт-инжиниринга. Значения округлены до ближайших $\pm 0,5$ ч.

Оценка временных параметров выполнена с использованием комбинированного подхода, включающего: анализ структуры этапов инженерных и научно-исследовательских работ в соответствии с действующими нормативными документами (в том числе ГОСТ 15.101–98), обобщение данных, представленных в научных публикациях и инженерных кейсах, а также экспертную нормализацию относительных долей временных затрат на отдельных стадиях проектирования.

Следует отметить, что представленные значения не являются нормативами в строгом регламентном смысле, а отражают усреднённые ориентировочные характеристики типового малого и среднего инженерного

проекта. Такой подход обеспечивает сопоставимость сценариев «без ИИ» и «с использованием ИИ» при моделировании влияния промпт-инжиниринга на трудоёмкость проектных процессов.

Таблица 3.3 – Сводка уточнённых трудозатрат t / t'

Подход / стадия	Обоснование	t , ч	t' , ч	Δ , %
Design Thinking (Double Diamond)	5-дневный «Design Sprint»: 5 дней \times 6–8 ч.			
– Исследование	Дни 1–2: интервью, карта эмпатии	15	12	–20
– Определение	Завершающая часть Дня 2 – синтез инсайтов	10	8	–20
– Разработка	Дни 3–4: эскизы, прототип	10	8	–20
– Внедрение/тест	День 5: пользовательские тесты	5	4	–20
Итого		40	32	–20 %
ТРИЗ-сессия	Инженерный workshop 2–3 дня по 8 ч.			
– Формулировка проблемы	полдня	4	3	–25
– Анализ противоречий		4	3	–25
– Выбор инструментов		3	2	–33
– Генерация идей	ключевая часть (ок. 1 дня)	6	4	–33
– Оценка решений		4	3	–25
– Реализация/проверка		3	2,5	–17
Итого		24	17,5	–27 %
«Трёхакт» Энгельмейера	Относительные доли цикла творчества по работам Энгельмейера и анализам в LNNS-2021 (1:3:2).			
– Замысел	~17 % всего цикла	20	15	–25
– План	~50 %	60	45	–25
– Поступок	~33 %	40	36	–10

Итого		120	96	-20 %
НИР по ГОСТ 15.101-98	Этапы закреплены в п. 4.4 ГОСТ 15.101-98. Нормативная трудоём-ть «малого» проекта ≈ 2000 н-ч; доли 25/40/20/10 % (учеб. пособие «Организация и планирование НИР», 2020, ВАК).			
– Выбор направления	25 %	500	375	-25
– Теор. + эксперименты	40 %	800	680	-15
– Обобщение, ОНТД	20 %	400	280	-30
– Приёмка	10 %	200	200	0
Итого		1900	1535	-19 %

Для этапа «Поиск и обзор аналогов» (t_2) при двух сессиях промпт-инжиниринга:

$$t'_2 = t'_{211} + t'_{212} + t'_{213} + t'_{221} + t'_{222} + t'_{223},$$

где первые три слагаемых – первая итерация, вторые три – повторная. Экономия возникает, пока $t'_2 < t_2$, однако при росте числа итераций возможен выход за норматив.

Сравнение временных затрат без использования ИИ и с использованием ИИ представлено в таблице 3.4.

Рассмотрим источник эффективности (см. таблицу 3.5):

- $t'_{i,j,1}$ (формирование запроса) $\approx 0,25$ ч;
- $t'_{i,j,2}$ (работа модели) $\approx 0,02$ ч;
- $t'_{i,j,3}$ (пост-обработка) $\approx 0,33$ ч.

Даже при двух-трёх повторах суммарное t' остаётся существенно меньше ручного времени t_2 (сред. 40 ч), обеспечивая до 29 % экономии, но при слишком большом числе итераций выигрыш нивелируется.

Таблица 3.4 – Сравнение временных трудозатрат без использования ИИ и с использованием ИИ

№	Стадия	t, ч	t', ч	Δ, %
t1	Постановка задачи	20	20	0
t2	Поиск и обзор аналогов	40	28	–30
t3	Генерация идей	50	40	–20
t4	Формулировка гипотезы	40	30	–25
t5	Прототипирование / моделирование	80	40	–50
t6	Испытания, критическая оценка	60	48	–20
t7	Принятие решения	20	15	–25
Σ	Итого по процессу	310	221	–29 %

Таблица 3.5 – Временные трудозатраты на промпт-инжиниринг

Шаг	Содержание	t' _{i,j,n} , ч (сред.)
t' _{i,j,1}	Формирование промпта	0,25
t' _{i,j,2}	Работа нейросети (генерация ответа)	0,02
t' _{i,j,3}	Обработка и правка результата	0,33
<i>Итого одна итерация</i>		≈ 0,6

Модель иллюстрирует агрегационную (параллельно-встраиваемую) природу промпт-инжиниринга: он ускоряет высоко-когнитивные стадии (t₂–t₄, t₆), но не устраняет необходимость экспертной валидации и финального решения (t₇). Таким образом, эффективность определяется балансом между числом ИИ-итераций и объемом ручных операций, что должно учитываться при календарном планировании научно-инженерных работ.

Сокращение временных затрат в сценарии с использованием ИИ обусловлено перераспределением когнитивной нагрузки между инженером и языковой моделью, ускорением операций поиска аналогов, генерации проектных альтернатив и предварительной формализации гипотез при

сохранении обязательных этапов экспертной валидации и принятия окончательных решений.

3.4 Выводы по третьей главе

В главе представлен инструментарий цифрового ассистента для инженерного творчества, основанный на встраивании технологии промпт-инжиниринга в интегрированную информационную среду предприятия. Предложена информационная система, способная выделять аффордансы из CAD-файлов и поддерживать генерацию конструктивных решений на основе промпт-запросов. Также обоснована необходимость интеграции таких ассистентов в инженерную среду с целью сокращения временных затрат на разработку новых инженерных решений.

Таким образом, реализуется концепция кооперативного проектирования, в которой цифровой агент не только воспринимает промпт, но и сопровождает проектировщика на всех этапах – от постановки задачи до выбора оптимального дизайн-решения с максимальным количеством аффордансов.

Разработанная в ходе исследования информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства отличается от аналогов способом интеграции элементов искусственного интеллекта посредством аффордансов и позволяет сократить время на разработку новых технических решений.

Результаты аналитического исследования калькуляционным методом показали, что технология промпт-инжиниринга, реализующая в отличие от аналогов эмиссию аффордансов, позволяет сократить время человеко-компьютерного взаимодействия с элементами искусственного интеллекта.

Глава 4. Экспериментальные исследования и результаты

4.1 Анализ восприятия графических и визуальных данных в контексте логических задач и технического творчества

Рассмотрим эксперимент решение логических и изобретательских задач. С целью исследования предложенной модели и архитектуры был проведен эксперимент, результаты которого приведены ниже в настоящем разделе. Эксперимент проводился на базе Передовой медицинской инженерной школы Самарского государственного медицинского университета, в которой производится подготовка кадров по медицинской инженерии. Целью подготовки является освоение компетенций на стыке медицинских и технических наук, для чего в университете организовано углубленное освоение принципов инженерного мышления.

В рамках тестирования было предусмотрено прохождение 11 различных заданий по решению логических и изобретательских задач. Тестирование было автоматизировано, что позволило отслеживать внимание пользователя и его активность в ходе выработки и анализа различных вариантов решения. Наиболее наглядно результаты иллюстрируют задачи на логическое мышление, представленные на Рис. 4.1 и 4.2.

Задача, представленная на Рис. 4.1 называется «Инспектор Варнике похищение старинного бокала». Впервые задачи про инспектора появились в журнале *Eulenspiegel* [24], издававшемся в ГДР, позднее были опубликованы в журнале «Наука и жизнь». Задача, представленная на Рис. 4.2 называется «Кто куда?», впервые была опубликована в СССР [25]. Эти задачи направлены на развитие наблюдательности и внимательности, поскольку для разгадки необходимо обратить внимание на сопровождающее задачу изображение.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Условия задания

В музее произошло небольшое ограбление. Кто-то украл старинный бокал XVII века, но это бессмысленное преступление, ведь продать изделие нельзя. Директор музея, вызвавший правоохранителей, рассказал инспектору, что после него в комнату никто посторонний не входил. Она была закрыта. В музее в ту ночь находилась только семейная пара Цейзиг, которая давно работает. Но, по мнению директора, эти люди "вне подозрений". После диалога инспектор подозвал к себе супругов-уборщиков и сразу спросил в лоб, зачем они украли драгоценность. Почему сотрудник правоохранительных органов сразу подумал, что воры — семья Цейзиг?"

ВНИМАНИЕ! Введите в текстовое поле развернутый ответ!
При ответе обратите внимание на картинку



Рисунок 4.1 – Типовые задачи, используемые для тестирования логического мышления (реализация в автоматизированной системе тестирования).
Задача 1 (слева). «Инспектор Варнике. Похищение старинного бокала»

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Условия задания

Кто на картинке Стёпа, а кто Петя, если между ними произошёл следующий диалог:
— Привет, Стёп. Куда ты?
— Я иду в дом № 23. А ты куда идёшь, Петя?
— А я — к другу Ване. Он находится в доме № 7"

ВНИМАНИЕ! Введите в текстовое поле развернутый ответ!
При ответе обратите внимание на картинку



Рисунок 4.2 – Типовые задачи, используемые для тестирования логического мышления (реализация в автоматизированной системе тестирования).
Задача 2 «Кто куда?»

В эксперименте принимало участие 20 человек, которые были разделены на 4 группы по 5 человек. Две группы были составлены из медицинских специалистов и две из технических специалистов, при этом в

группах технических специалистов первая группа выступила в качестве контрольной, а для второй было проведено образовательное мероприятие. Среди двух групп медиков также первая группа выступила в качестве контрольной, а для второй было проведено аналогичное образовательное мероприятие. В ходе образовательных мероприятий был проведен краткий курс введения в ТРИЗ, с правилом решения задач и их содержанием исследуемые не знакомились.

Обработка результатов проводилась следующим образом. При прохождении эксперимента велась запись экрана. Из полученной видеозаписи были сделаны скриншоты с шагом дискретизации 5 секунд, что обеспечило максимальную адекватность получаемых тепловых карт. После того как были получены результаты на каждого испытуемого по двум задачам, объединили тепловые карты в соответствии с делением групп испытуемых. Для проведения эксперимента был разработан экспериментальный стенд (см. рисунок 4.3).

Из полученных результатов, представленных на рисунках 4.4 – 4.5, видно на какие объекты испытуемые обращали большее внимание, эти зоны обозначены красным цветом. Также нельзя не заметить, что испытуемые несколько раз перечитывали условия задачи и возвращались к картинкам.

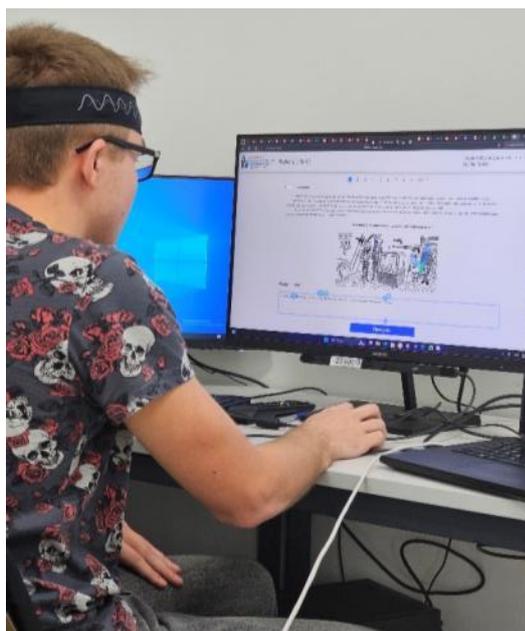
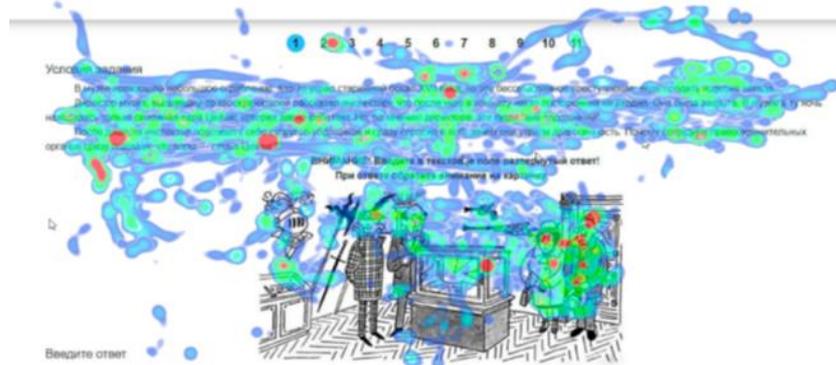
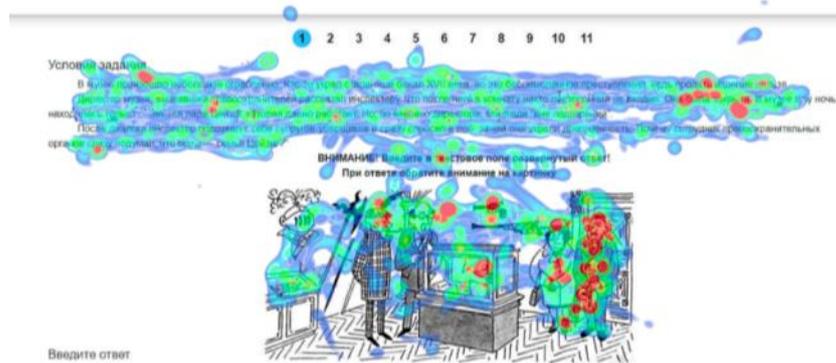


Рисунок 4.3 – Экспериментальный стенд

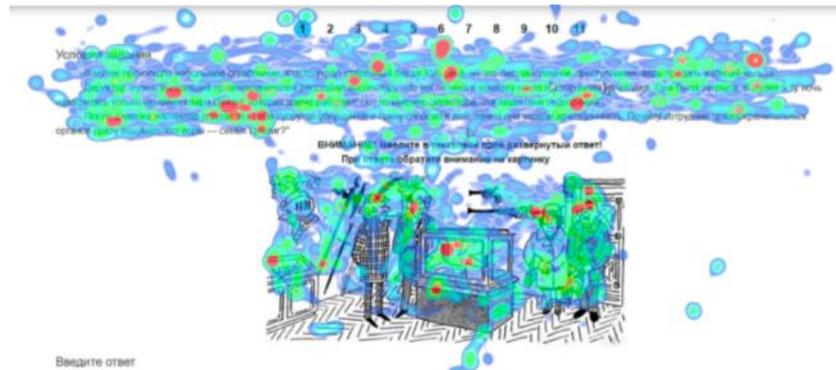
А



Б



В



Г

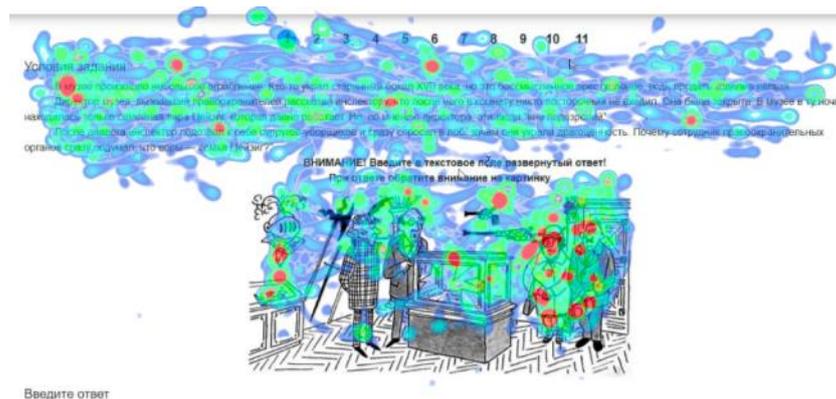


Рисунок 4.4 – Тепловые карты испытуемых при решении задачи №1 по группам: А – Контрольная группа технических специалистов;

Б – Экспериментальная группа технических специалистов;

В – Контрольная группа медицинских специалистов; Г – Экспериментальная группа медицинских специалистов

Рисунки 4.6 – 4.7 обобщают полученные результаты по 11 задачам. Можно заметить, что проведение обучения позволяет повысить результативность прохождения тестов при сохранении затраченного времени, необходимого для их прохождения.

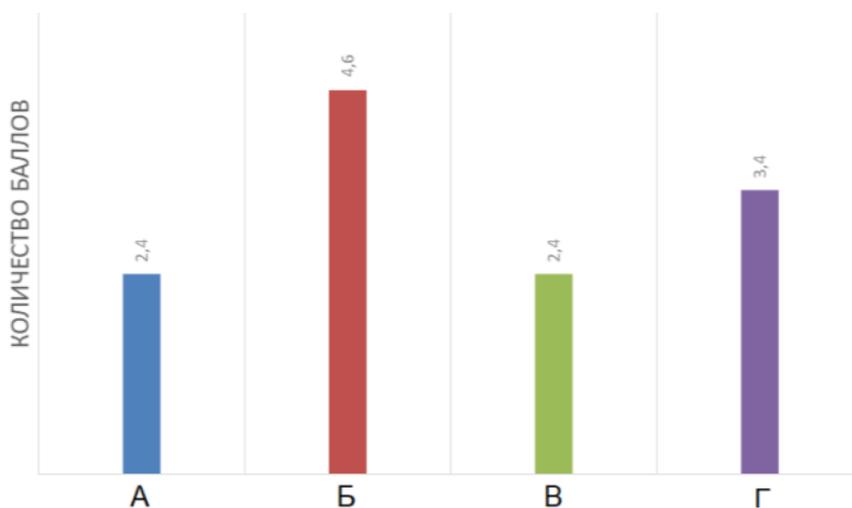


Рисунок 4.6 – Результативность решения задач.

А – Контрольная группа технических специалистов; Б – Экспериментальная группа технических специалистов; В – Контрольная группа медицинских специалистов; Г – Экспериментальная группа медицинских специалистов

Проведенное исследование показало, что дополнительная подготовка специалистов по современной инженерии как с техническим, так и с медицинским образованием показывает положительные результаты. При этом направленность такой подготовки должна быть ориентирована на разработку дизайн-решений с максимальным количеством аффордансов, позволяющих наиболее эффективно создавать варианты реализации технического проекта в альтернативных исполнениях.

При этом, в связи с профессиональной специализацией, технические специалисты лучше справляются с логическими задачами. Однако, освоение инженерных компетенций также возможно на базе медицинского образования, возникающие при этом трудности преодолимы путем

построения корректных аналогий на базе общего семантического базиса понятий.

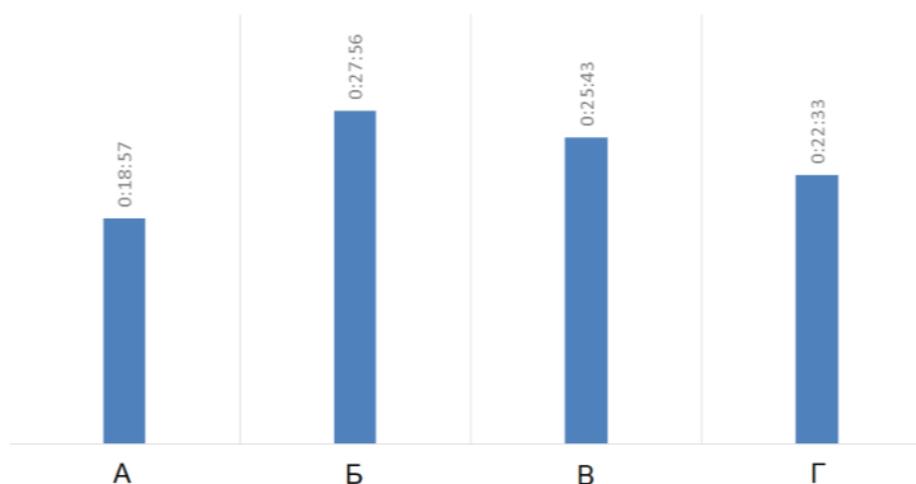


Рисунок 4.7 – Среднее время решения задач.

А – Контрольная группа технических специалистов; Б – Экспериментальная группа технических специалистов; В – Контрольная группа медицинских специалистов; Г – Экспериментальная группа медицинских специалистов

В ходе эксперимента проводился также анализ тепловых карт, отражающих концентрацию взора пользователя на отдельных фрагментах задачи. Чем дольше испытуемый фокусируется на точке в области экрана, тем ярче цвет на тепловой карте. Граница цветов голубой – зеленый – желтый – красный, где красный означает длительную фиксацию. Саккады обозначают перемещение взгляда и на тепловых картах представляют собой затухающие мазки.

Тепловые карты позволили отследить логику рассуждения испытуемого. Например, если при прохождении эксперимента, испытуемый сфокусируется на конкретном объекте, который является разгадкой к решению задачи, то вероятность выбора правильного решения повышается.

Таким образом, отслеживание активности сотрудника в процессе творческой инженерной деятельности на основе анализа траектории его взгляда позволяет определить основные тенденции в изменении внимания и реализовать поддержку принятия решений. В целом, несмотря на сложность

и субъективность творческой деятельности, процесс ее информационной поддержки и стимулирования может быть формализован и автоматизирован как на образовательном уровне освоения соответствующих компетенций, так и непосредственно на уровне инженерной деятельности, путем реализации соответствующих роботизированных помощников и ботов.

Для реализации таких возможностей на практике могут быть использованы не только технологии информационной поддержки изделий в едином информационном пространстве предприятия, но и элементы искусственного интеллекта, позволяющие реализовать кластеризацию основных решений, найти общие параметры и отличительные свойства.

Формализовать такой подход можно путем параметризации проектных решений на семантическом уровне и внедрения такого показателя дизайн-решений как количество аффордансов. Оптимизация этого показателя основана на максимальном расширении минимальной общей онтологии участников совместной инженерной деятельности. Таким образом, удается направить инженерную деятельность на поиск и реализацию конструктивных решений, которые расширяют область применения, обеспечив универсальные свойства изделия.

Рассмотрим эксперимент, направленный на выявление стимулов инженерного творчества, на базе аффорданса, основанные на электроэнцефалографии. Для проведения исследования был разработан специализированный стенд, позволяющий генерировать тесты для пользователей, требующие решения изобретательских задач с использованием методологии ТРИЗ. Стенд представлен на рисунке 4.8.

Тесты подбирались таким образом, чтобы при их решении происходила генерация аффордансов. Основная гипотеза заключалась в том, что появление аффордансов при решении творческих задач может отслеживаться через изменения характеристик ЭЭГ.

Для оценки мозговой активности использовался универсальный 6-канальный нейрошлем NEUROPLAY-6С, позволявший проводить

исследования по парам каналов (Т3-Т4, О1-О2, Fp1-Fp2). Перед началом выполнения заданий испытуемым надевали нейрошлем и предлагали закрыть глаза и расслабиться. Запись состояния покоя велась в течение 90 секунд.

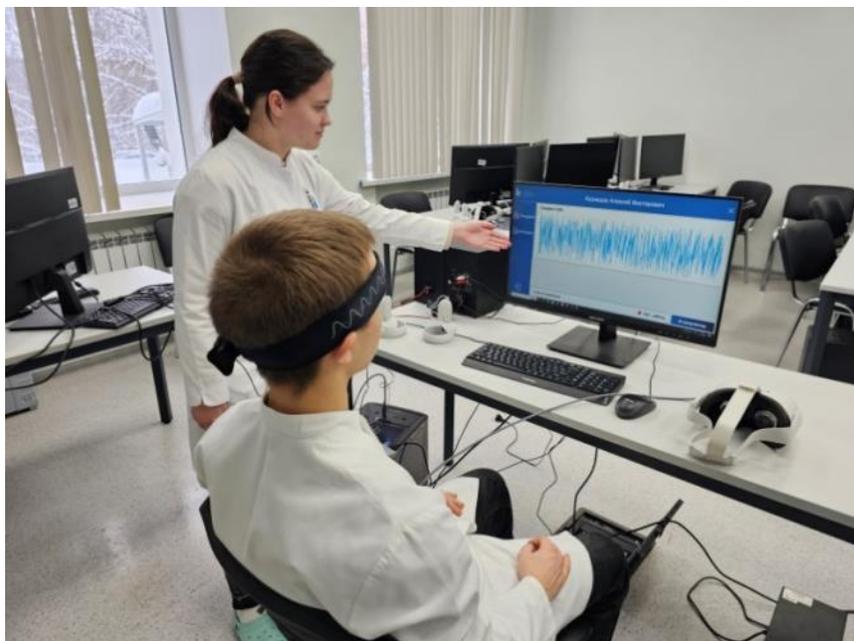


Рисунок 4.8 – Экспериментальный стенд

В исследовании приняли участие 20 испытуемых. После записи ЭЭГ в состоянии покоя испытуемые приступали к выполнению заданий. Всего им предлагалось решить 11 задач, включавших: логические задачи с картинками; логические задачи без картинок; задания на применение ТРИЗ с вариантами ответов. Некоторые задачи требовали развернутого ответа.

Для подтверждения гипотезы о влиянии решения логических и инженерных задач на различные ритмы были построены графики зависимостей амплитуд ЭЭГ-волн от времени для одного из испытуемых. Проверка гипотезы осуществлялась следующим образом: сравнивались графики испытуемого при решении задачи и в состоянии покоя. Как упоминалось ранее, активность, связанная с высшими когнитивными функциями, отражается в каналах Fp1 и Fp2, где преимущественно наблюдаются бета- и гамма-волны, амплитуда которых возрастает при решении логических задач. Увеличение тета- и дельта-волн указывает на

усталость либо на высокую сложность задачи, тогда как амплитуда альфа-волн, как правило, снижается, что отражает активацию когнитивных центров. Графики зависимостей амплитуд различных ЭЭГ-волн приведены на рисунках 4.9–4.13.

Рассмотрим более подробно графики зависимостей амплитуд альфа-ритма, представленные на рисунке 4.9. Линии А (канал Fp1) и С (канал Fp2) представляют собой временные ряды, демонстрирующие изменения амплитуды альфа-волн в процессе выполнения когнитивных задач, с наличием пиков и падений амплитуды, отражающих динамику активации и утомления когнитивных процессов.

Важными характеристиками здесь являются частота пиков (частота событий, при которых амплитуда превышает определённый порог) и общий тренд изменений (например, увеличение или уменьшение амплитуды с течением времени). Линии В (канал Fp1) и D (канал Fp2) демонстрируют амплитуду альфа-волн в состоянии покоя, при этом отчётливо видно, что амплитуды в состоянии покоя более стабильны, имеют более высокий уровень и менее подвержены резким изменениям, что отражает меньшую вовлеченность когнитивных процессов.

Перейдём к графикам зависимостей амплитуд бета-ритма ЭЭГ от времени, представленным на рисунке 4.10. Амплитуды при решении задач (линии А и С) часто выше, чем в состоянии покоя (линии В и D), что может свидетельствовать о повышенной нейронной активности при выполнении когнитивных задач, что вполне ожидаемо, так как активная умственная деятельность требует большей вовлеченности нейронов, что отражается в изменении амплитуды бета-ритма. При визуальном анализе линии А видно, что график начинается на высоком уровне, затем постепенно снижается. Также заметны значительные колебания, особенно к концу наблюдаемого периода, при этом общий тренд характеризуется снижением амплитуды с частыми пиками.

На графике В начальный уровень выше среднего, однако затем наблюдается уменьшение амплитуды. В отличие от линии А, здесь флуктуации выражены менее явно и наблюдается более стабильная тенденция без резких скачков, чего нельзя сказать о предыдущем графике. В целом, даже при визуальном осмотре видно, что пары каналов Fp1 и Fp2 на линиях А и С, а также В и D различаются, что может указывать как на различие в работе полушарий, так и на возможную недостаточную точность используемого оборудования.

Перейдём к визуальному анализу графиков зависимостей амплитуд гамма-ритма ЭЭГ от времени, представленных на рисунке 4.11. На линии А, иллюстрирующей состояния при решении задач, наблюдается большее количество вариаций амплитуды гамма-ритма, видны пики и падения: в начале, ближе к середине и в конце временного ряда, что может свидетельствовать об активной когнитивной деятельности. График демонстрирует более высокую среднюю амплитуду по сравнению с линией В, а также выраженные флуктуации, которые могут отражать процессы обработки информации или повышенной концентрации внимания.

На линии В амплитуда гамма-ритма значительно ниже и более стабильна, что, в свою очередь, характерно для состояния покоя, когда активной обработки информации не происходит и когнитивная нагрузка минимальна. Динамика, здесь более сглаженная с редкими и незначительными пиками. В отличие от линии А, линия С имеет менее выраженные пики, преимущественно устойчивое низкое значение амплитуды с редкими незначительными изменениями, и сам график имеет более сглаженную форму по сравнению с Fp1. Линия А (канал Fp1) демонстрирует более выраженные колебания, что может свидетельствовать о более активной работе этой области мозга. Одним из возможных объяснений является большая восприимчивость канала Fp1 к быстрым изменениям активности, тогда как Fp2 сохраняет более стабильное поведение.

Рассмотрим линии зависимостей амплитуд дельта-ритма ЭЭГ от времени, представленные на рисунке 4.12. Линия А показывает чётко выраженные пики, причём максимальные значения амплитуды выше по сравнению с состоянием покоя (см. линию В). Высокие значения средней амплитуды, более частые и заметные пики, а также увеличенная вариабельность амплитуд указывают на более динамичный характер линии А, что может свидетельствовать о сильной когнитивной нагрузке в отличие от состояния покоя. Линия А (Fp1) демонстрирует, что амплитуда пиков сопоставима с пиковыми значениями на линии С (Fp2). Оба графика показывают схожие колебательные амплитудные паттерны, что может свидетельствовать о сходной активности в префронтальных областях. Пики на линии А возникают с определённой периодичностью, которая визуально совпадает с пиками на линии С, хотя могут наблюдаться незначительные различия во времени появления. Предположительно, данные пики отражают реакции на отдельные этапы или моменты выполнения задачи. Между пиками амплитуда на обоих графиках снижается до базовых уровней, оставаясь в диапазоне 10–20 мкВ, что можно интерпретировать как состояния относительного когнитивного покоя между активностями.

Проанализируем графики зависимостей амплитуд тета-ритма ЭЭГ от времени, представленные на рис. 4.13. Очевидное различие в амплитудных характеристиках между двумя состояниями (при решении задачи – линии А и С; в состоянии покоя – линии В и D) может быть связано с разницей уровней мозговой активности. Повышенный уровень тета-ритма при выполнении задач указывает на активное использование памяти и внимания, что типично для задач с высокой когнитивной нагрузкой. При сравнении линий А и С видно, что оба графика демонстрируют периодические пики и падения, причём пики распределены почти равномерно. На первом графике максимальные пики несколько выше, чем на втором, однако оба графика имеют схожий диапазон колебаний около нулевой отметки между пиками.

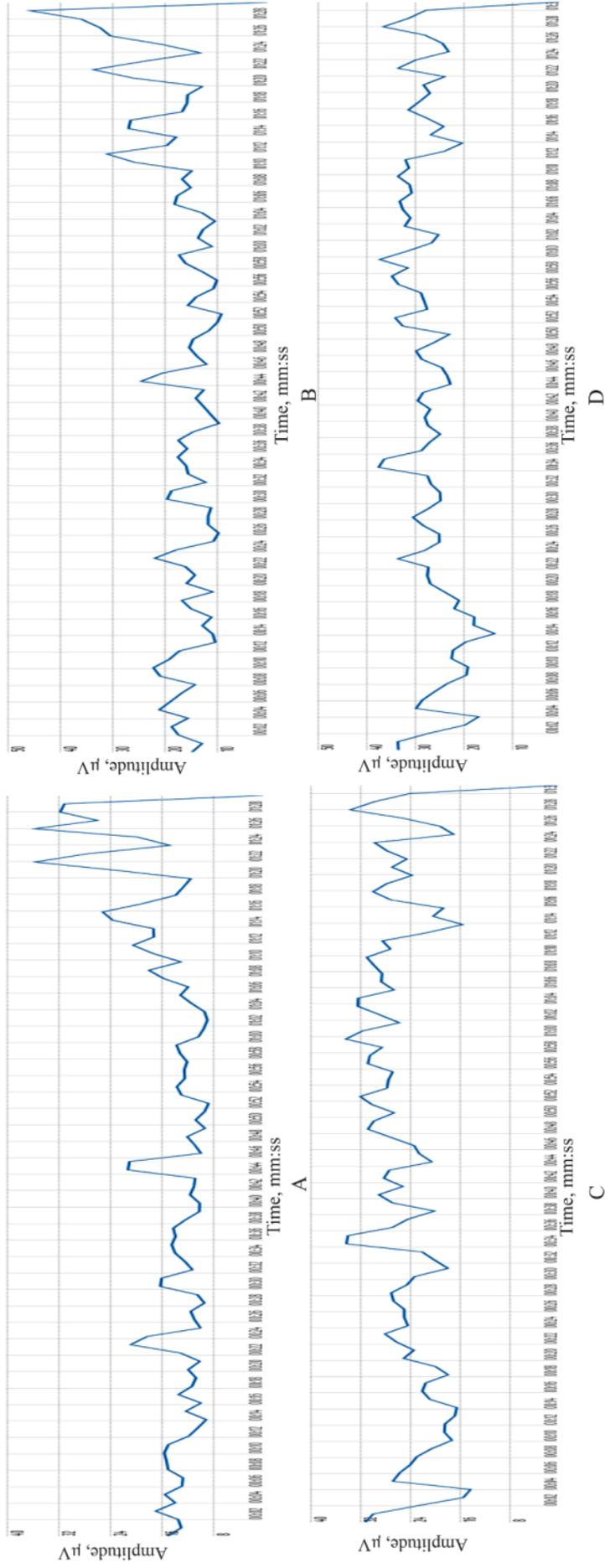


Рисунок 4.9 – Амплитуды альфа-ритма ЭЭГ во времени: А – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Gr1;

В – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr1; С – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Gr2; D – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr2

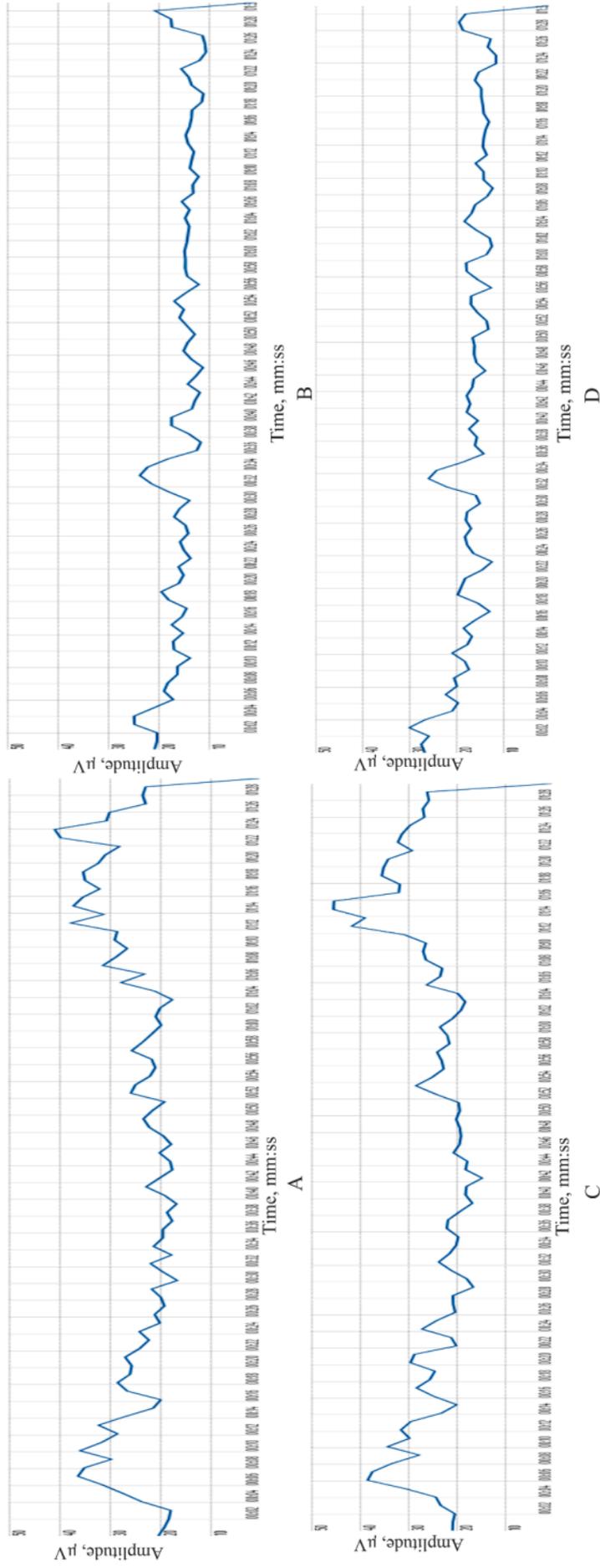


Рисунок 4.10 – Амплитуды бета-ритма ЭЭГ во времени: А – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Gr1;

В – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr1; С – амплитуда испытуемого при решении задач, канал

Gr2; D – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr2

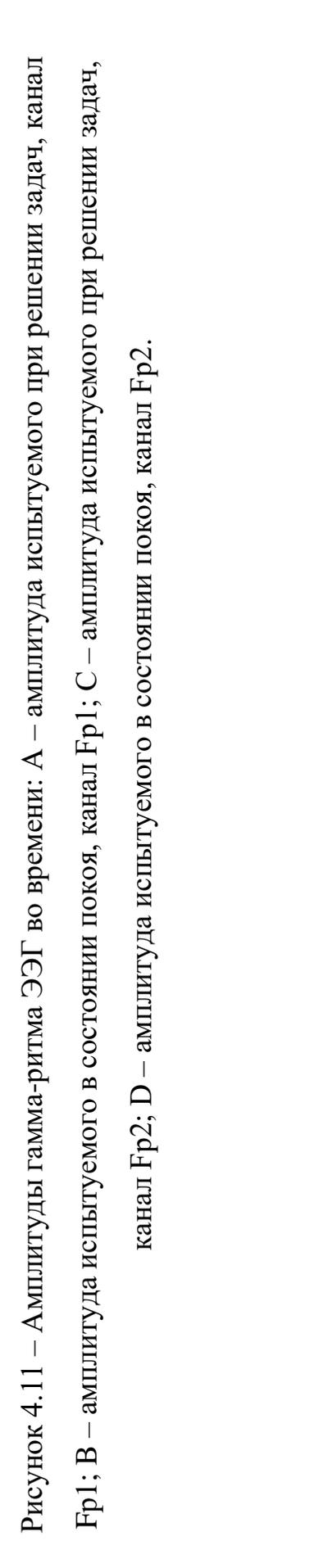
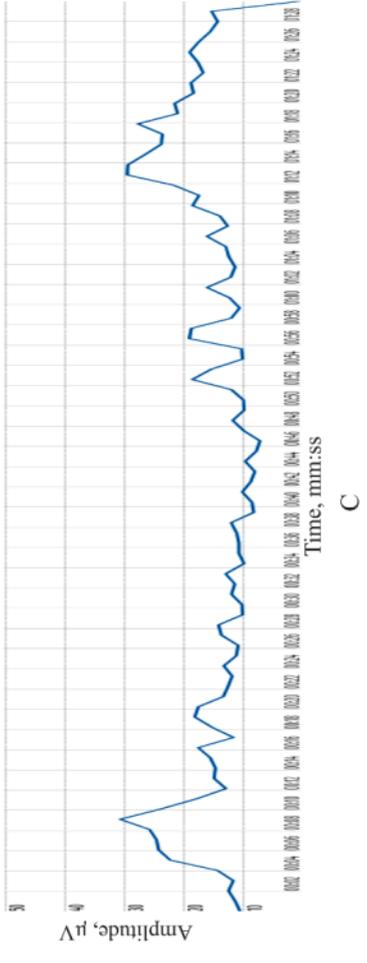
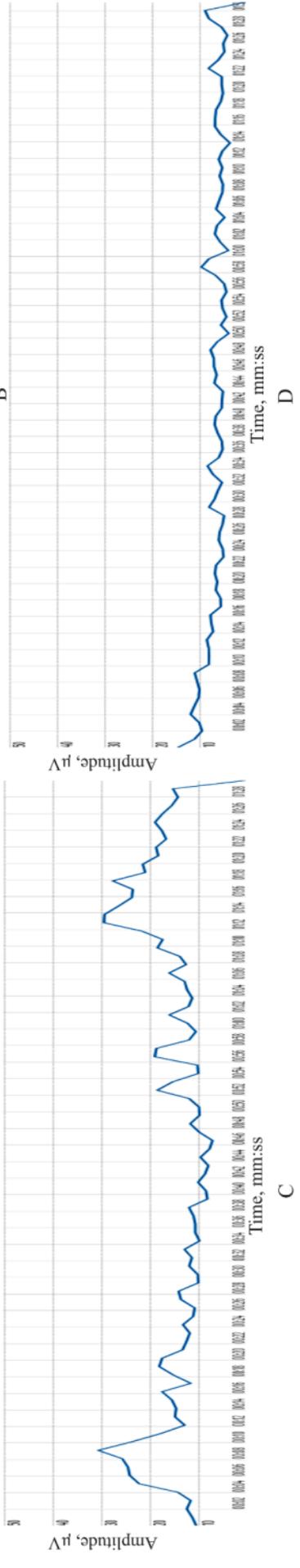
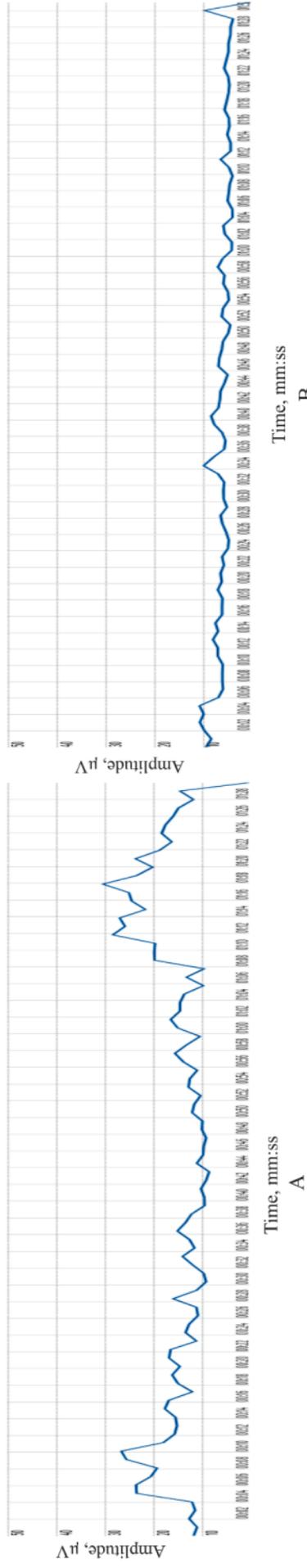


Рисунок 4.11 – Амплитуды гамма-ритма ЭЭГ во времени: А – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Fr1; В – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Fr1; С – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Fr2; D – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Fr2.

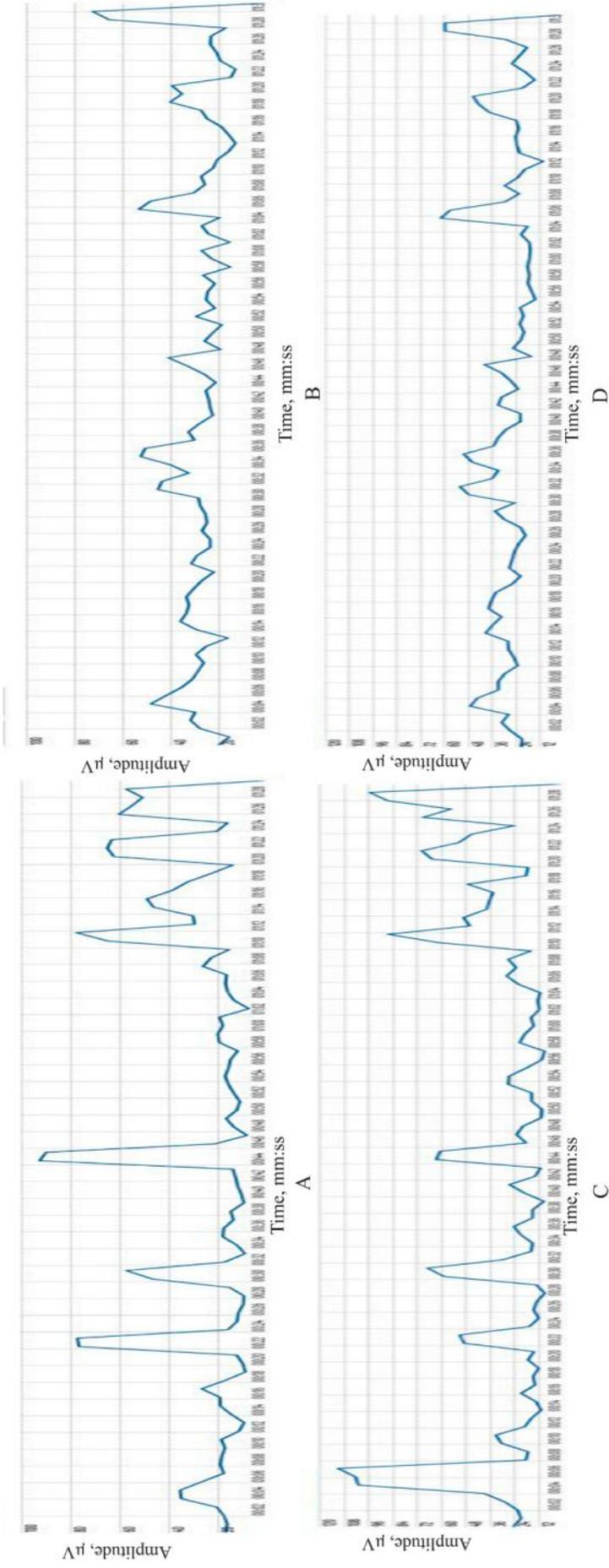


Рисунок 4.12 – Амплитуды дельта-ритма ЭЭГ во времени: А – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Fr1; В – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Fr1; С – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Fr2; D – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Fr2

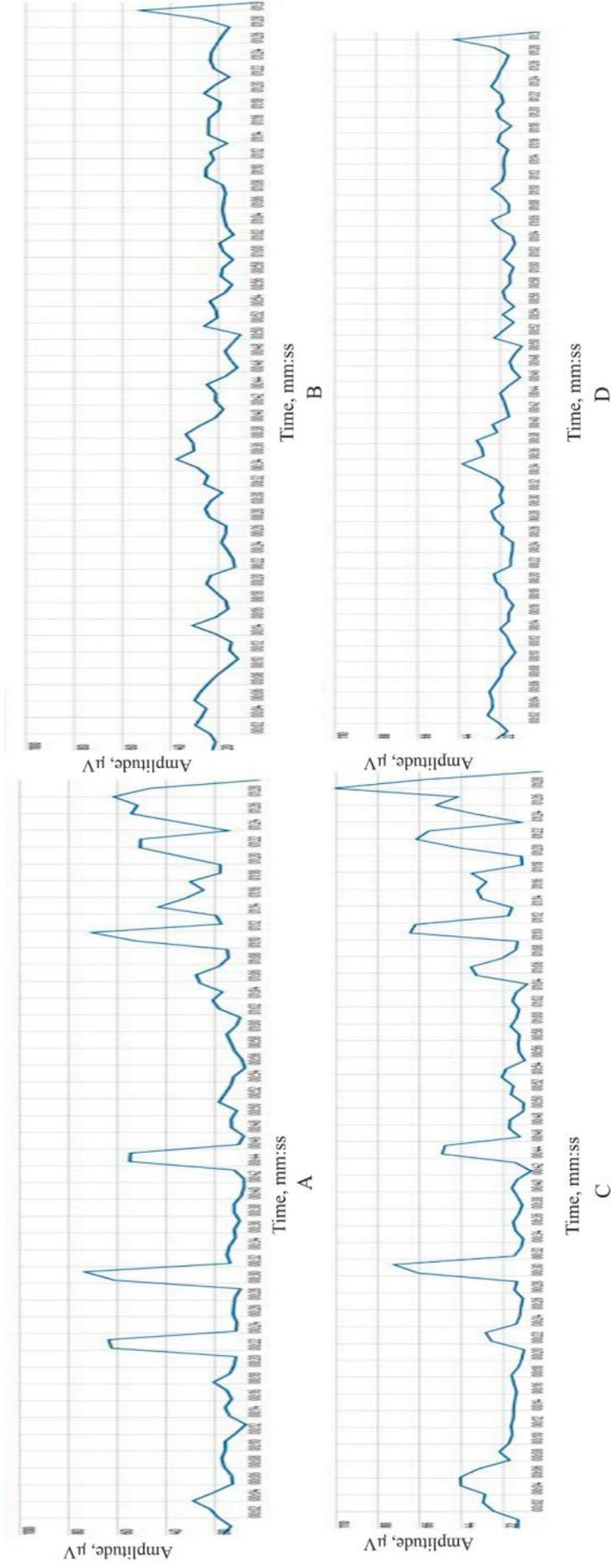


Рисунок 4.13 – Амплитуды тета-ритма ЭЭГ во времени: A – амплитуда испытуемого при решении задач, канал Gr1;

B – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr1; C – амплитуда испытуемого при решении задач, канал

Gr2; D – амплитуда испытуемого в состоянии покоя, канал Gr2

Результаты проведённого эксперимента подтверждают гипотезу о наличии взаимосвязи между возникновением аффордансов в процессе решения инженерно-творческих задач и изменениями характеристик электроэнцефалографических ритмов. Использование специализированного стенда, интегрированного с методологией ТРИЗ, позволило формировать когнитивные стимулы, адекватные для выявления соответствующих нейрофизиологических откликов. Анализ ЭЭГ-сигналов по каналам Fp1–Fp2, T3–T4, O1–O2 показал, что выполнение заданий, предполагающих генерацию аффордансов, сопровождается ростом амплитуды бета- и гамма-ритмов и снижением альфа-активности, что указывает на активацию префронтальных областей мозга. Наблюдаемое увеличение тета- и дельта-ритмов при повышенной сложности задач интерпретируется как индикатор ментальной нагрузки и утомления. Полученные данные демонстрируют потенциал нейрофизиологических индикаторов в объективной оценке когнитивной активности при решении инженерных задач и могут быть использованы для разработки адаптивных интеллектуальных систем поддержки изобретательской деятельности.

4.2 Экспериментальное исследование метода разметки с использованием аффордансов

В рамках исследования процессов восприятия аффордансов был проведён следующий эксперимент. На основе открытых источников был составлен датасет из 100 изображений различных технических устройств, преимущественно антикварных и устаревших.

Было разработано программное обеспечение, которое поочерёдно демонстрировало эти изображения каждому испытуемому и предлагало определить назначение каждого устройства. В результате фиксировалась правильность ответа и тепловая карта движений глаз участника в ходе эксперимента. Таким образом, можно установить, на какие визуальные

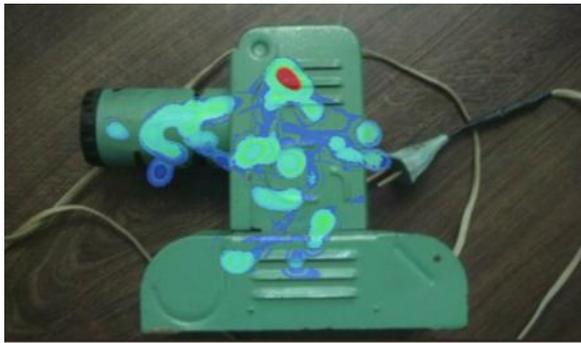
фрагменты изображения, обозначающие различные аффордансы, обращал внимание испытуемый.

Для регистрации зрительной активности акторов в виде тепловых карт использовался прибор Tobii Eye Tracker 5. Частота кадров при видеозаписи составляла 30 кадров в секунду. Поскольку анализировался каждый 5-й кадр, шаг выборки составлял $1/5$ от частоты кадров, то есть 6 кадров в секунду.

Перед началом эксперимента испытуемые были проинструктированы о том, что им будут демонстрироваться различные изображения на экране ПК, и что им необходимо определить, что изображено на картинке, и выбрать соответствующий ответ. После краткого инструктажа и калибровки начиналась запись экрана, которая продолжалась на протяжении всего эксперимента. Каждый полученный видеофайл впоследствии загружался в модуль обнаружения фиксаций и саккад.

Всего в эксперименте приняли участие 8 человек: 1 инженер, 2 врача и 5 разработчиков программного обеспечения. Некоторые экспериментальные результаты приведены на рисунках 4.14–4.18. В отдельных случаях эффективность инженера и представителей других специальностей может различаться. Однако в целом во всех случаях наблюдается более активная зрительная активность инженера, что свидетельствует о наличии у него навыка распознавания аффордансов. Соответственно, в целом результат инженера оказывается лучше.

Для сравнения на рисунке 4.19 представлены результаты распознавания того же набора изображений стандартными генеративными моделями искусственных нейронных сетей. Видно, что без дополнительного обучения результаты распознавания ИИ пока уступают результатам, достигнутым людьми.



Инженер



Разработчик ПО



Врач 1



Врач 2

Рисунок 4.14 – Типичные тепловые карты зрительной активности профессиональных специалистов с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Устройство для просмотра фильмов



Инженер

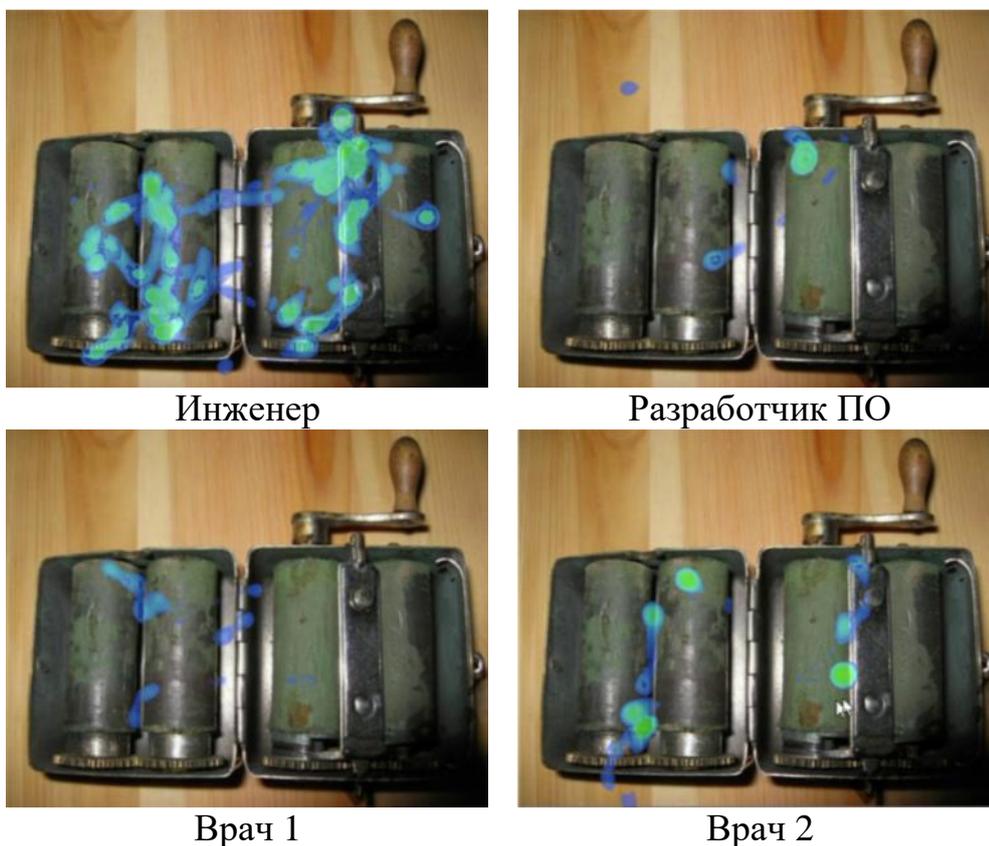


Разработчик ПО



Врач

Рисунок 4.15 – Типичные тепловые карты зрительной активности профессиональных специалистов с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Кинокамера



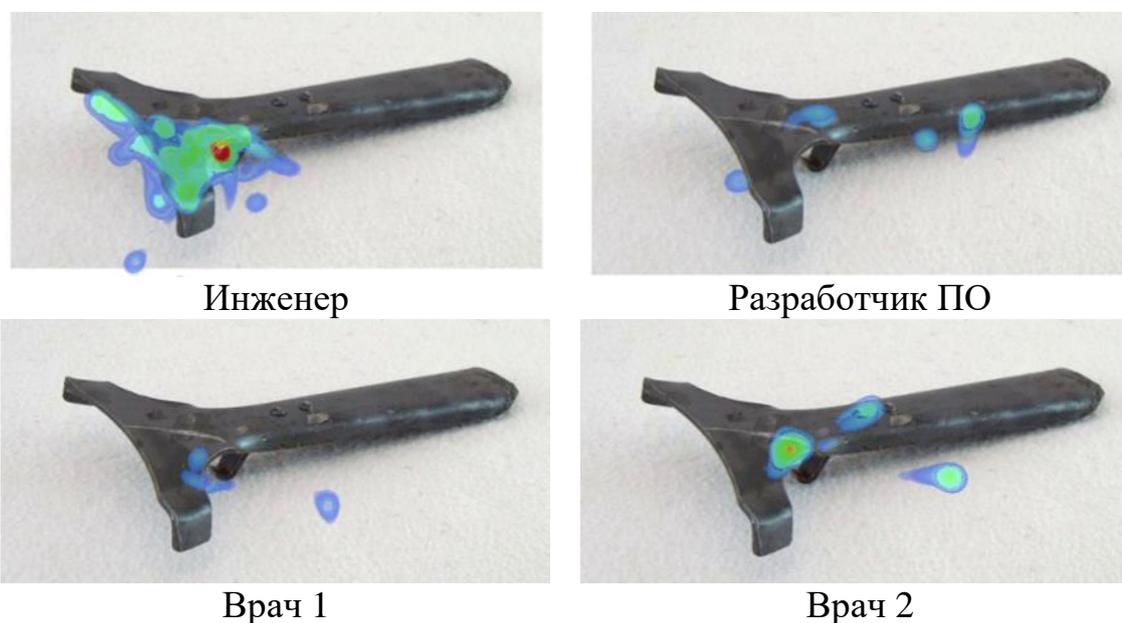
Инженер

Разработчик ПО

Врач 1

Врач 2

Рисунок 4.16 – Типичные тепловые карты зрительной активности профессиональных специалистов с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Точильный станок для бритв



Инженер

Разработчик ПО

Врач 1

Врач 2

Рисунок 4.17 – Типичные тепловые карты зрительной активности профессиональных специалистов с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Открывалка для консервов

Зрительная активность человека при определении назначения изображённого на рисунке технического устройства связана с процессами поиска и распознавания аффордансов, выраженных в форме соответствующих знаков. При этом субъект не может взять устройство в руки и попробовать его использовать, а вынужден полагаться только на навыки визуального восприятия и анализа. Искусственная нейронная сеть, обученная на наборе визуальных данных, действует аналогичным образом. В результате аффордансы оказываются эффективным инструментом как для разметки обучающих выборок для нейросетей, так и для обучения человека формулировать запросы (prompt queries).

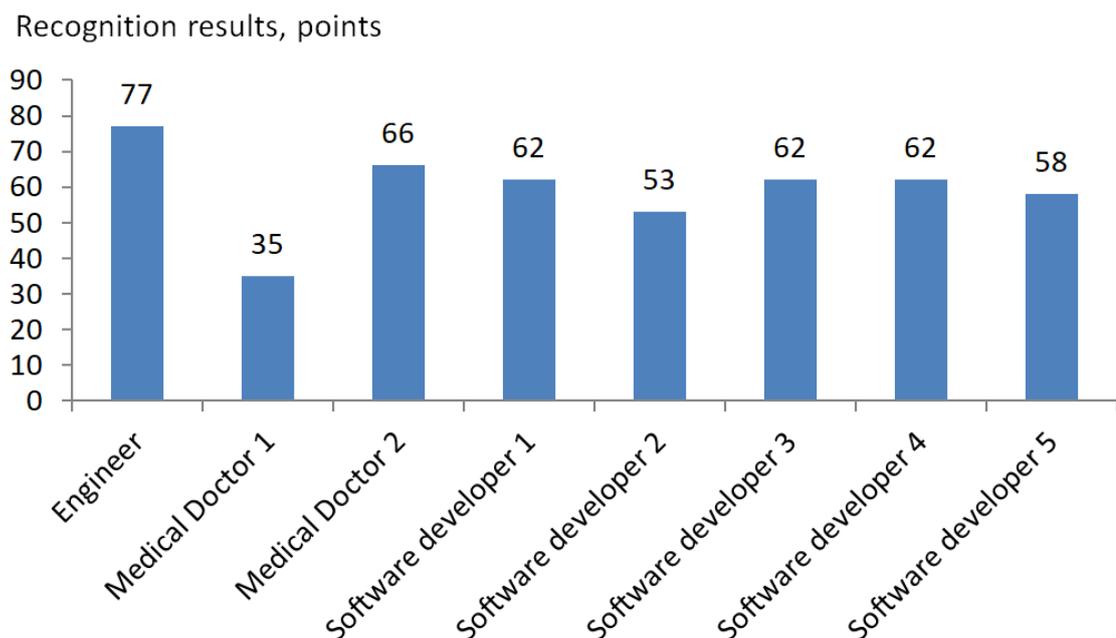


Рисунок 4.18 – Средние результаты распознавания, выполненного профессиональными специалистами с различными навыками

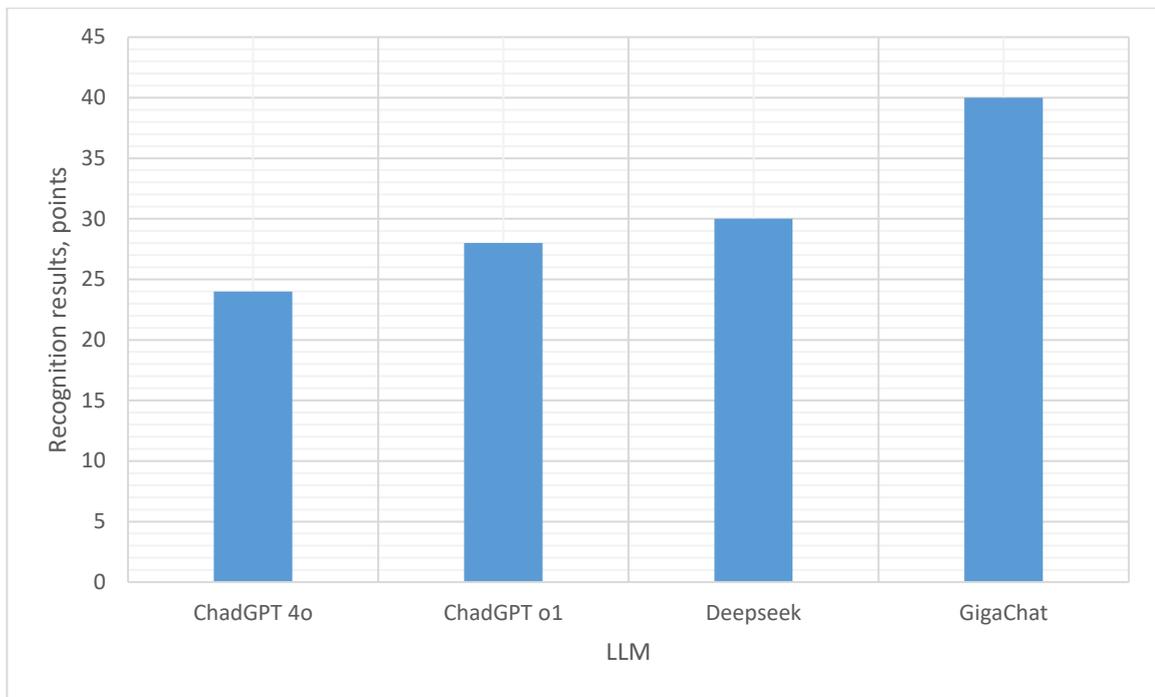


Рисунок 4.19 – Средние результаты распознавания, выполненного искусственным интеллектом

Рассмотрим задачу угадывания назначения предмета (устройства) по его фотографии. В качестве испытуемых будем выбирать как людей, так и искусственные нейронные сети разных производителей. Всего в проведенном эксперименте было задействовано 8 человек в качестве испытуемых: из них 1 инженер, 5 разработчиков ПО и 2 врача. Для проведения исследования был собран экспериментальный стенд, который включал в себя персональный компьютер и собственное ПО, а также айтрекер Tobii Eye Tracker 5, который использовался для построения тепловой карты взгляда испытуемых.

Эксперимент для людей состоял из двух частей. В первой части испытуемым было предложено пройти тестирование, содержащее 100 заданий, в каждом из которых находилось изображение предмета и 4 варианта ответа, с возможностью выбора только одного варианта. Тестирование сопровождалось записью экрана с подключенным айтрекером для отслеживания зрительной активности испытуемых и логики решения заданий. Частота видеозаписи составляла 30 кадров/с, оптимальный интервал выборки был принят за 6 кадров/с.

До начала эксперимента участников ознакомили с инструкцией, пояснив, что им будут последовательно предъявляться различные изображения на экране персонального компьютера и что их задача – идентифицировать содержание каждого изображения и выбрать соответствующий ответ. По завершении краткого инструктажа и процедуры калибровки осуществлялась запись экрана, продолжавшаяся на протяжении всей экспериментальной сессии.

Во второй части эксперимента для каждого предмета было составлено по 5 аффордансов. Например, для устройства «укупорка», которое представляет собой деревянный инструмент для закупорки винных бутылок пробками, были сформированы следующие аффордансы: зажимать, давить, нажимать, фиксировать, закрывать.

Представленная на рисунке 4.20 технологическая схема отражает последовательность операций, выполняемых при группировке и аннотировании инженерных данных. Процесс начинается с анализа конструктивных и интерфейсных признаков технического устройства, на основе которых формируются аффордансы – потенциальные варианты использования проектного объекта. Далее проводится проверка реализуемости сформированных действий, их нормализация и категоризация для обеспечения единообразия терминологии. Финальным этапом является валидация, направленная на подтверждение корректности аннотирования и готовности данных к использованию в автоматизированных системах проектирования и поискового конструирования.

Изначально каждому отобранному из 100 предметов было присвоено по 5 аффордансов – получилось 500 аффордансов, после чего была проведено сокращение количества аффордансов и группировка. Таким образом на 100 предметов получилось 142 аффорданса, при этом сокращение терминологии составило 71,6%. Сокращение объёма терминов позволяет получить компактный и структурированный набор аффордансов, пригодный для дальнейшего использования при генерации новых технических решений.

Полученные аффордансы были классифицированы на 14 групп (категорий): визуальные действия, вращение/нажатие, вставка/извлечение, группировка/сортировка, декор/украшение, звуковые/аудио действия, измерение/контроль, настройка, обработка материала, перемещение, тепло/нагрев, удержание/манипуляция, фиксация/установка и прочее. Классификация аффордансов по обобщенным категориям представлена в таблице 4.1.



Рисунок 4.20 – Технологическая схема группировки и аннотирования инженерных данных

Таблица 4.1 – Классификация аффордансов по обобщенным категориям

№ п/п	Категория	Количество аффордансов	Наименование аффордансов
1.	Визуальные действия	10	наблюдать, наводить, направлять, освещать, показывать, проецировать, регулировать, светить, увеличивать, целиться
2.	Вращение/ нажатие	12	включать, вращать, зажимать, крутить, нажимать, обнулять, переключать, перекручивать, перематывать, поворачивать,

			разжимать, щелкать
3.	Вставка/ извлечение	8	вводить, вставлять, вынимать, вытаскивать, вытряхивать, доставать, класть, удалять
4.	Группировка/ сортировка	3	раскладывать, сортировать, хранить
5.	Декор/ украшение	3	вешать, оставлять, украшать
6.	Звуковые/ аудио действия	4	воспроизводить, говорить, свистеть, слушать
7.	Измерение/ контроль	3	измерять, отслеживать, считать
8.	Настройка	1	настраивать
9.	Обработка материала	12	всасывать, вскрывать, выдавливать, выжимать, вырезать, затачивать, измельчать, лепить, массировать, отжимать, резать, чинить
10.	Перемещение	5	двигать, катать, катить, перемещать, собирать
11.	Прочее	57	бросать, вдувать, взбивать, вкручивать, встряхивать, выдвигать, выкручивать, газировать, гасить, гладить, давить, забрасывать, загружать, записывать, играть, колоть, ловить, накручивать, накрывать, наливать, наматывать,

			<p>нумеровать, оборачивать, отделять, отражать, отрывать, очищать, перекачивать, перекладывать, перекрывать, перелистывать, перемалывать, плавать, погружать, подавать, подносить, приближать, прижимать, прикладывать, пробивать, проводить, проворачивать, разглаживать, растягивать, сверлить, сжимать, сливать, смешивать, стирать, стричь, сыпать, тереть, тормозить, тянуть, управлять, упражнять, чистить</p>
12.	Тепло/нагрев	7	<p>выпекать, греть, нагревать, обдувать, печь, поджигать, сушить</p>
13.	Удержание/манипуляция	9	<p>держать, захватывать, носить, переносить, поддерживать, поднимать, подставлять, удерживать, упираться</p>
14.	Фиксация/установка	8	<p>закрывать, застегивать, крепить, открывать, подключать, ставить, устанавливать, фиксировать</p>

Теперь при угадывании назначения рядом с изображениями предметов находились надписи с аффордансами, которые по гипотезе должны были увеличить результативность и снизить скорость прохождения испытания.

Типичные тепловые карты визуальной активности профессиональных сотрудников с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства представлены на Рис. 4.21. Как можно заметить, испытуемые уделяли особое внимание аффордансам, о чем свидетельствуют мазки на надписях в градиенте от синего до красного цвета.

Зрительная активность, задействованная при определении функционального назначения технического устройства, представленного на статичном изображении, детерминируется когнитивными процессами поиска и распознавания аффордансов, репрезентированных в форме маркированных признаков. Поскольку испытуемый лишен возможности манипулировать объектом и эмпирически верифицировать его свойства, он опирается исключительно на компетенции визуального восприятия и аналитического интерпретирования.

Искусственная нейронная сеть, обученная на специализированном корпусе визуальных данных, действует по аналогичному принципу, извлекая и интерпретируя те же аффорданс-ориентированные признаки в пиксельном представлении. Таким образом, концепт аффорданса демонстрирует высокую эвристическую ценность как при разметке обучающих выборок для нейросетевых моделей, так и при формировании у пользователей навыков построения эффективных запросов, то есть промпт-инжиниринга.

Без разметки



Инженер



Разработчик ПО

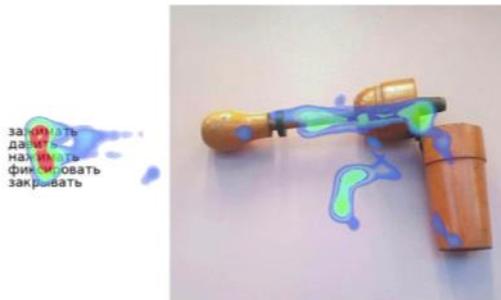


Врач 1



Врач 2

С разметкой



Инженер



Разработчик ПО

Рис. 4.21



Врач 1



Врач 2

Рисунок 4.21 – Типичные тепловые карты визуальной активности профессиональных сотрудников с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Изделие «Укупорка» (деревянный инструмент для закупорки винных бутылок пробками)

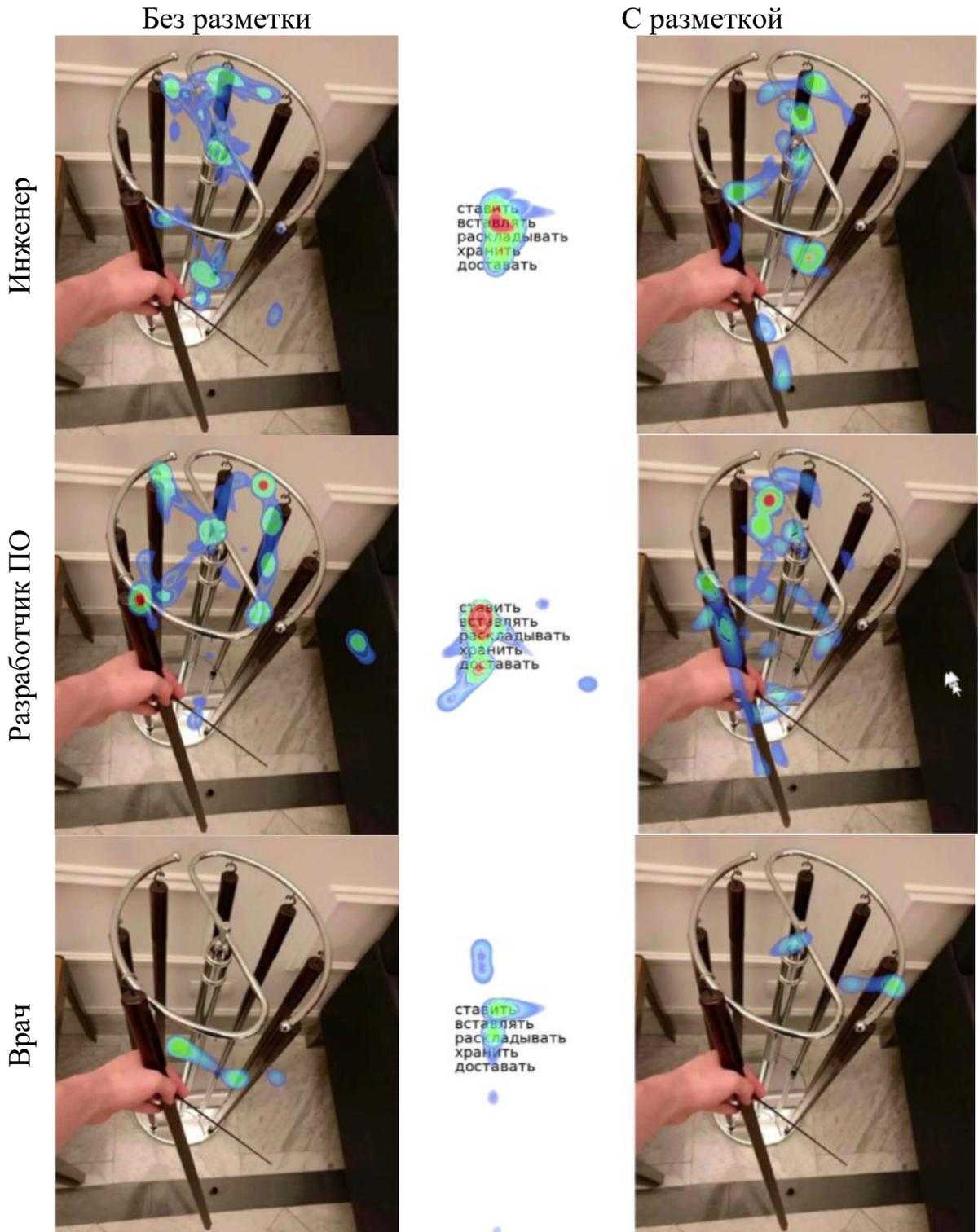


Рисунок 4.22 – Типичные тепловые карты визуальной активности профессиональных сотрудников с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Напольная подставка для газет.

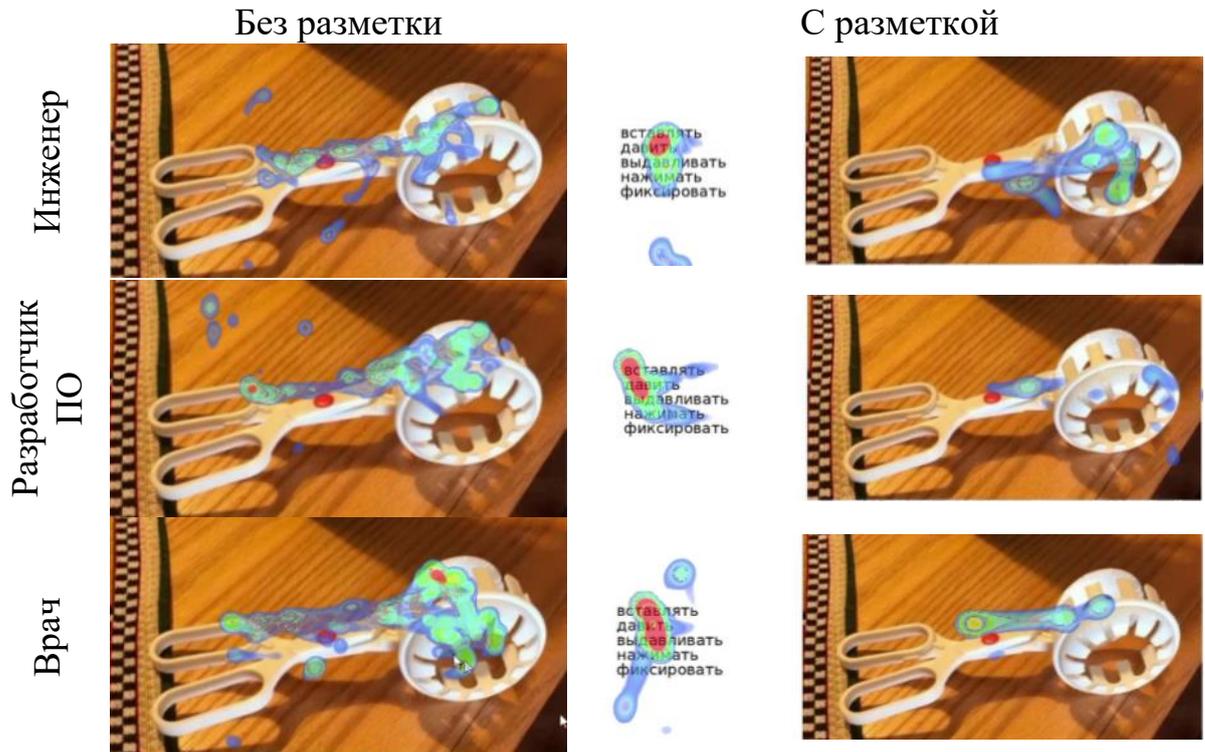


Рисунок 4.23 – Типичные тепловые карты визуальной активности профессиональных сотрудников с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Ручной пресс для консервных банок.

Средние результаты распознавания, полученные профессиональными сотрудниками с различными навыками, представлены на рисунке 4.24. Сумма баллов всех испытуемых без аффордансов - 475, среднее арифметическое на одного испытуемого составляет 59,38 баллов. Сумма баллов всех испытуемых с аффордансами - 558 баллов, среднее арифметическое на одного испытуемого составляет 69,75 баллов. Прирост результативности составил примерно 17,47 %.

Гистограмма затраченного времени профессиональными сотрудниками с различными навыками на испытание представлено на рисунке 4.25. Затраченное время всех испытуемых без аффордансов 10 528 секунд, среднее арифметическое на 1 испытуемого составляет 1 316 секунд. Затраченное время всех испытуемых с аффордансами 8 736 секунд, среднее

арифметическое на 1 испытуемого составляет 1 092 секунд. Затраченное время снизилось приблизительно на 20,5%.

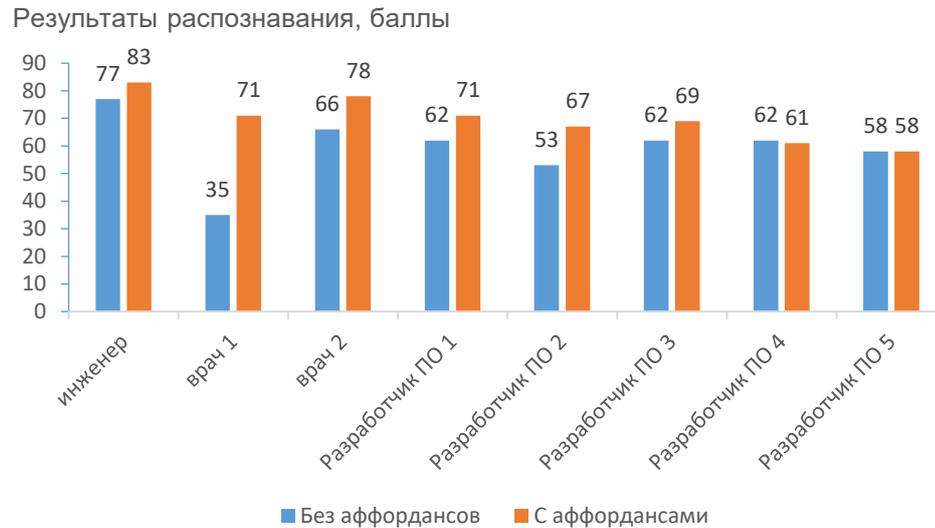


Рисунок 4.24 – Средние результаты распознавания, полученные профессиональными сотрудниками с различными навыками

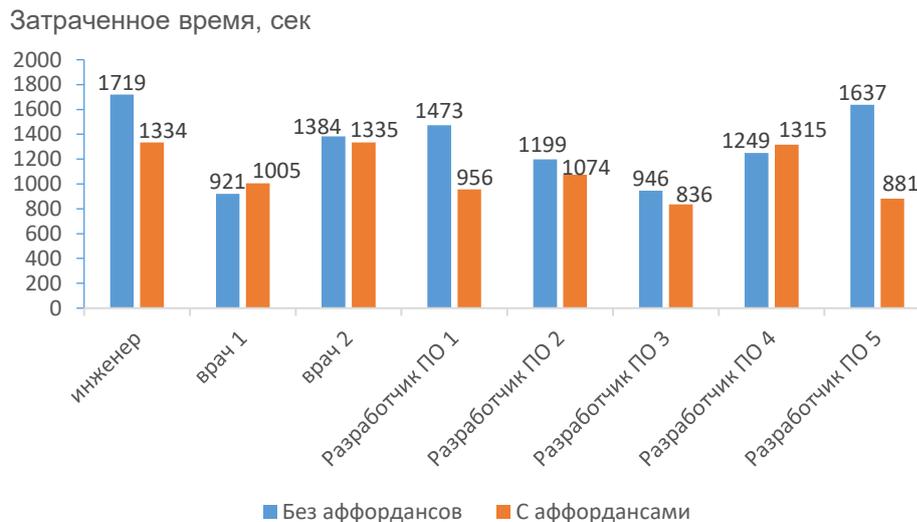


Рисунок 4.25 – Затраченное время профессиональными сотрудниками с различными навыками на испытание

Аналогичное задание было предложено решить нескольким популярным большим языковым моделям LLM: ChatGPT 4o, ChatGPT o3, DeepSeek и GigaChat. Эксперимент проходил в 3 этапа:

1. Искусственному интеллекту, как и людям, необходимо было распознать, что находится на изображении, без текстовых подсказок «аффордансов». В чат загружался текстовый документ .docx или pdf содержащий инструкцию и задания, включая изображения;

2. Затем на изображениях в текстовых документах добавили подписи «аффордансы» и снова загрузили в новый чистый чат;

3. Заключительным этапом в модель загрузили не только текстовый файл с заданиями, но и отдельно изображения и аффордансы в текстовом формате, поскольку во время проведения эксперимента было обнаружено, что искусственный интеллект эффективнее справляется с задачами, когда он анализирует изображения отдельно от текста.

Средние результаты распознавания, выполненного искусственным интеллектом, представлены на рисунке 4.26.

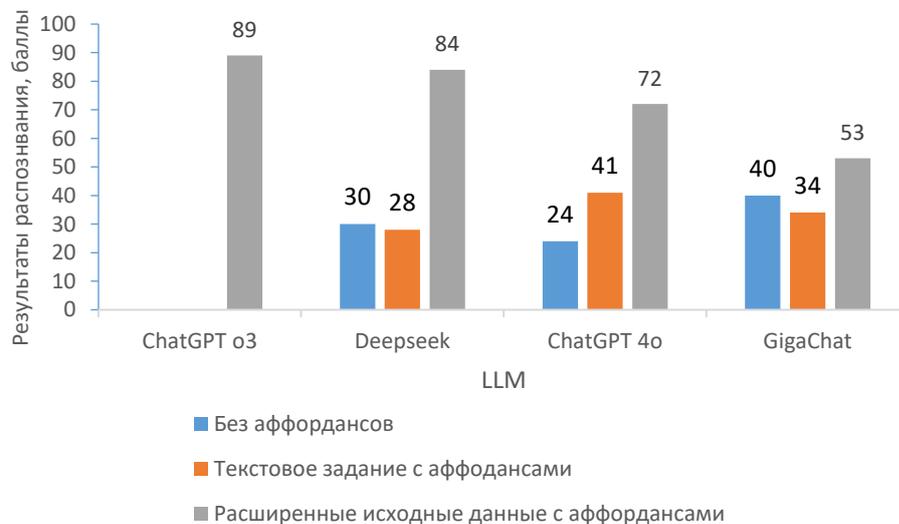


Рисунок 4.26 – Средние результаты распознавания, выполняемого генеративным искусственным интеллектом

4.3 Исследование критерия преадаптации

Рассмотрим подробнее реализацию критерия преадаптации на примере решения задачи анализа надежности технического устройства электродвигателя. Моделирование процессов потери надежности электродвигателя по каждому из указанных во второй главе параметров позволило выявить их влияние на показатели надежности. Например, (см. Рис 4.27) анализ динамики изменения ключевых электромагнитных параметров асинхронного электропривода позволил выявить решающую роль параметра сопротивления обмотки статора. На графике представлены усреднённые безразмерные значения трёх ключевых параметров: скольжения s (в долях от синхронной скорости), сопротивления обмотки статора R_s и сопротивления обмотки ротора R_r (в условных единицах, эквивалентных активному сопротивлению). Горизонтальная ось отражает номер цикла моделирования (от 0 до 10), вертикальная – значения параметров в относительных единицах. Данные усреднены по популяции из 200 имитированных экземпляров электродвигателя с одним дизайн-решением.

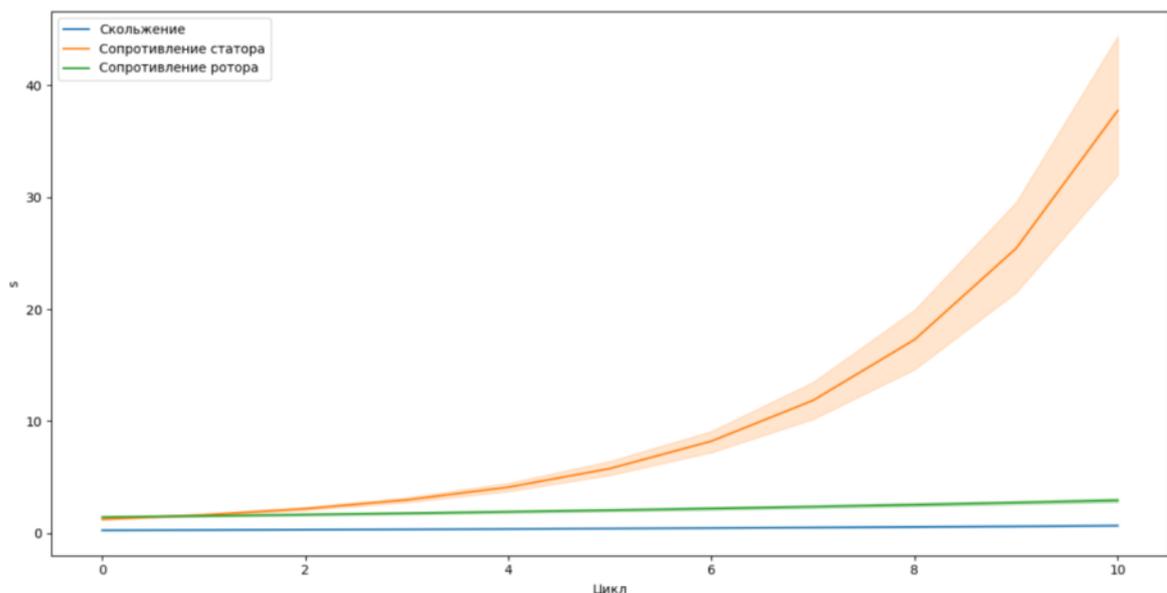


Рисунок 4.27 – Динамика изменения параметров скольжения и сопротивлений обмоток асинхронного двигателя в процессе циклического моделирования ($N = 200$, $T = 10$ циклов)

Сопrotивление обмотки статора демонстрирует нарастающий экспоненциальный рост, начиная с 6–7 цикла, что отражает прогрессирующую деградацию изоляции и тепловые потери, и в свою очередь сопровождается расширением доверительного интервала, указывающим на вариативность сценариев старения в разных экземплярах. Сопrotивление ротора изменяется незначительно, подтверждая его инерционность и устойчивость к внешним и внутренним воздействиям. Скольжение остаётся относительно стабильным и не демонстрирует резких колебаний, что свидетельствует о вторичном характере его изменений.

Предложенный критерий преадаптации позволяет количественно сравнить разные варианты реализации инженерного решения, в частности, оценить возможность реализации блока адаптивной подстройки параметров асинхронного электродвигателя, адаптивного по сопротивлению обмотки статора, для сохранения надёжности. Реализация такого механизма управления позволяет снизить динамику роста отказов, что позволяет продлить период эксплуатации. Применение критерия преадаптации в данном случае позволяет выявить влияющие параметры и предложить направление модернизации дизайн-решения путем реализации новых аффордансов.

На практике блок адаптивной подстройки параметров асинхронного электродвигателя по данным изменения сопротивления обмотки статора может включать дизайн-решения по повышению надёжности статора, реализации механизмов периодической диагностики и технического обслуживания, либо применению алгоритмов прогностического управления напряжением. Данные механизмы способны изменить кривую роста количества отказов, что согласуется с результатами исследований. Сочетание периодических испытаний и непрерывного контроля токов позволяет на ранней стадии обнаружить возрастание сопротивления статора и предотвратить аварийный отказ.

Описанные возможности были подтверждены в ходе имитационного моделирования. В частности, было проведено сравнение двух вариантов дизайн-решений, отличающихся тем, что во втором варианте был реализован блок адаптивной подстройки параметров асинхронного электродвигателя. На рисунке 4.27 представлен график накопления отказов в имитированной популяции асинхронных электродвигателей в условиях отсутствия преадаптации. По оси абсцисс отложено количество циклов моделирования (от 0 до 10), по оси ординат – количество экземпляров, вышедших за пределы допустимых параметров, таких как скольжение и сопротивление обмоток.

В интервале от 0 до 1 цикла количество отказов не превышает единичных значений, что свидетельствует о первоначальной устойчивости системы. Однако начиная со 2-го цикла фиксируется резкий рост отказов, указывающий на критический фазовый переход от стабильного состояния к деградации. В интервале между 2 и 6 циклами прирост отказов сохраняет высокий темп, достигая к 6-му циклу значений порядка 140 экземпляров, что подтверждает наличие лавинообразного эффекта, характерного для поздней стадии износа технических систем.

С 7-го по 10-й цикл темп роста отказов замедляется, и кривая постепенно выходит на насыщение, что означает исчерпание ресурса основной части популяции: остаются лишь те экземпляры, чьи параметры изначально находились ближе к центру допустимого диапазона.

Таким образом, кривая демонстрирует типичное поведение деградирующей системы без компенсирующих механизмов, с ранним началом отказов и быстрым достижением насыщения, что подтверждает недостаточную устойчивость системы.

В целях выявления влияния механизмов аффордансной коррекции на динамику отказов была проведена серия имитационных экспериментов с активной адаптацией параметров в критическом интервале эксплуатационного старения. Для этого в модель цифрового двойника асинхронного электропривода была внедрена функция предиктивного

реагирования, активируемая на промежутке с 2 по 6 цикл моделирования. Данная функция позволяет системе отслеживать эволюцию параметров, прогнозировать их поведение и корректировать режимы работы с целью удержания характеристик в допустимых пределах.

На рисунке 4.28 представлен график динамики накопления отказов в условиях адаптивной подстройки параметров. Кривая демонстрирует два режима работы. В интервале 0–6 циклов прирост отказов отсутствует, что обусловлено действием механизма адаптивной коррекции, активируемого в моделировании с 2 по 6 цикл. В этот период параметры системы стабилизируются, несмотря на начавшееся накопление эксплуатационных изменений, и не достигают критических уровней, что подтверждает высокую эффективность краткосрочного прогностического вмешательства в рамках модели аффордансной преадаптации.

Начиная с 7-го цикла, адаптивное воздействие в модели отключается, и кривая отказов приобретает ускоряющийся характер. Интенсивный рост наблюдается после 8-го цикла, когда накопленные отклонения параметров выходят за пределы допустимых значений, вызывая лавинообразное увеличение числа отказов. Это свидетельствует о переходе системы в фазу деградации, ранее сдерживаемую адаптацией.

Таким образом, результаты моделирования подтверждают гипотезу о нелинейной динамике деградации технической системы и подчёркивают критическую роль своевременной адаптивной коррекции. Интервал 2–6 циклов следует рассматривать как ключевой для реализации механизмов управления режимами работы, направленных на предотвращение фазового перехода к массовым отказам. Полученная динамика наглядно демонстрирует необходимость регулярной актуализации прогностических алгоритмов.

Полученные результаты подтверждают, что при эксплуатационном старении асинхронного двигателя в первую очередь должен расти параметр сопротивления обмотки статора R_s , поскольку его увеличение обусловлено

деградацией изоляции, окислением соединений, локальными перегревами и ухудшением теплопроводности, что делает R_s надёжным первичным индикатором старения.

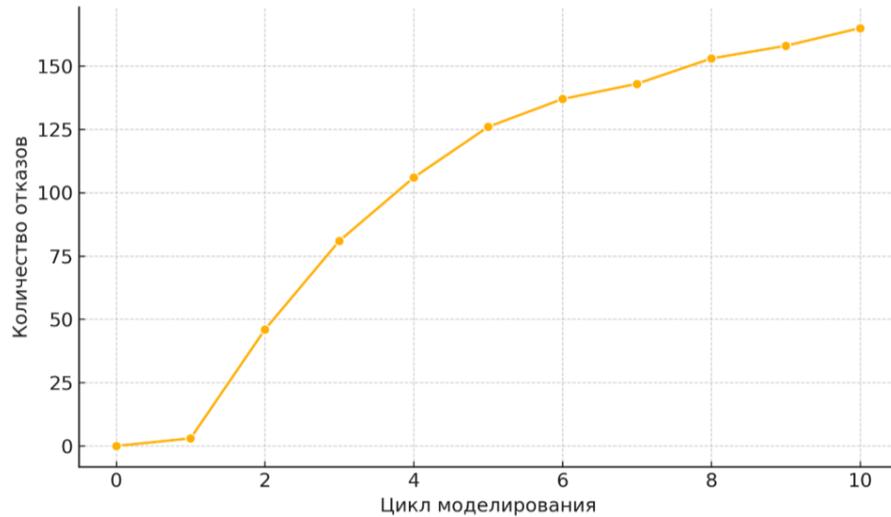


Рисунок 4.28 – Показатели надежности дизайн-решения без блока адаптации

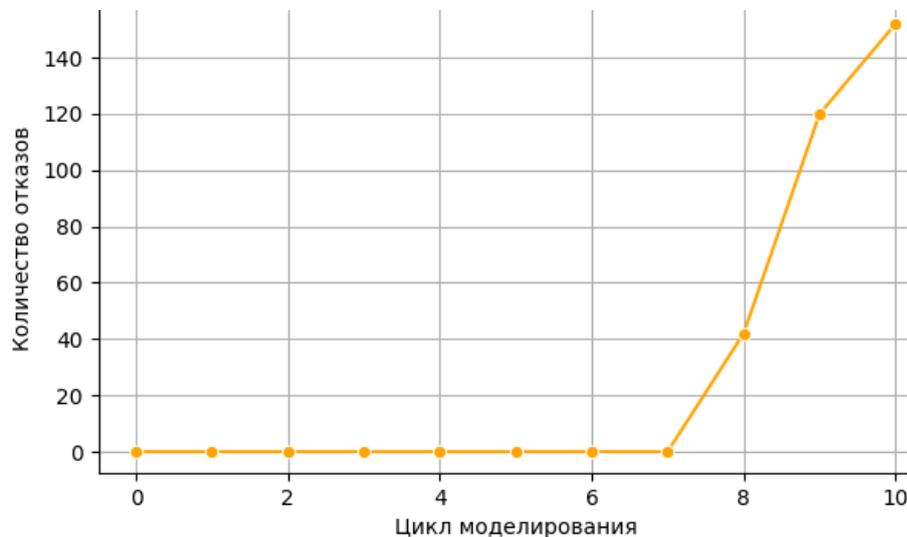


Рисунок 4.29 – Показатели надежности дизайн-решения с адаптацией в критическом интервале

4.4 Исследование технологии промпт-инжиниринга

Для систематической оценки эффективности аффорданс-ориентированного промпт-инжиниринга была разработана модель

дискретно-событийного моделирования (см. рисунок 4.30). Модель отражает динамику типового семистадийного процесса разработки продукта, дополненного встроенным микроциклом промт-инжиниринга.

Базовый процесс состоит из семи последовательных стадий, обозначенных t_1-t_7 :

- Постановка задачи (t_1) – определение целей, ограничений и требований;
- Поиск аналогий (t_2) – выявление схожих кейсов, патентов и предыдущих решений;
- Генерация идей (t_3) – разработка альтернативных концепций проектирования;
- Формулирование гипотез (t_4) – определение рабочих принципов и допущений;
- Прототипирование (t_5) – создание предварительных прототипов или цифровых макетов;
- Критическое тестирование (t_6) – оценка прототипов по функциональным и эксплуатационным требованиям;
- Синтез (t_7) – интеграция валидированных результатов в целостное решение.

Данный рабочий процесс отражает распространённые модели инженерного проектирования, такие как Double Diamond и stage-gate. В базовой модели итерации возникают преимущественно за счёт циклов доработки, инициируемых при неудачных испытаниях на стадии t_6 . Вероятность возврата на доработку была задана равной 0,1.

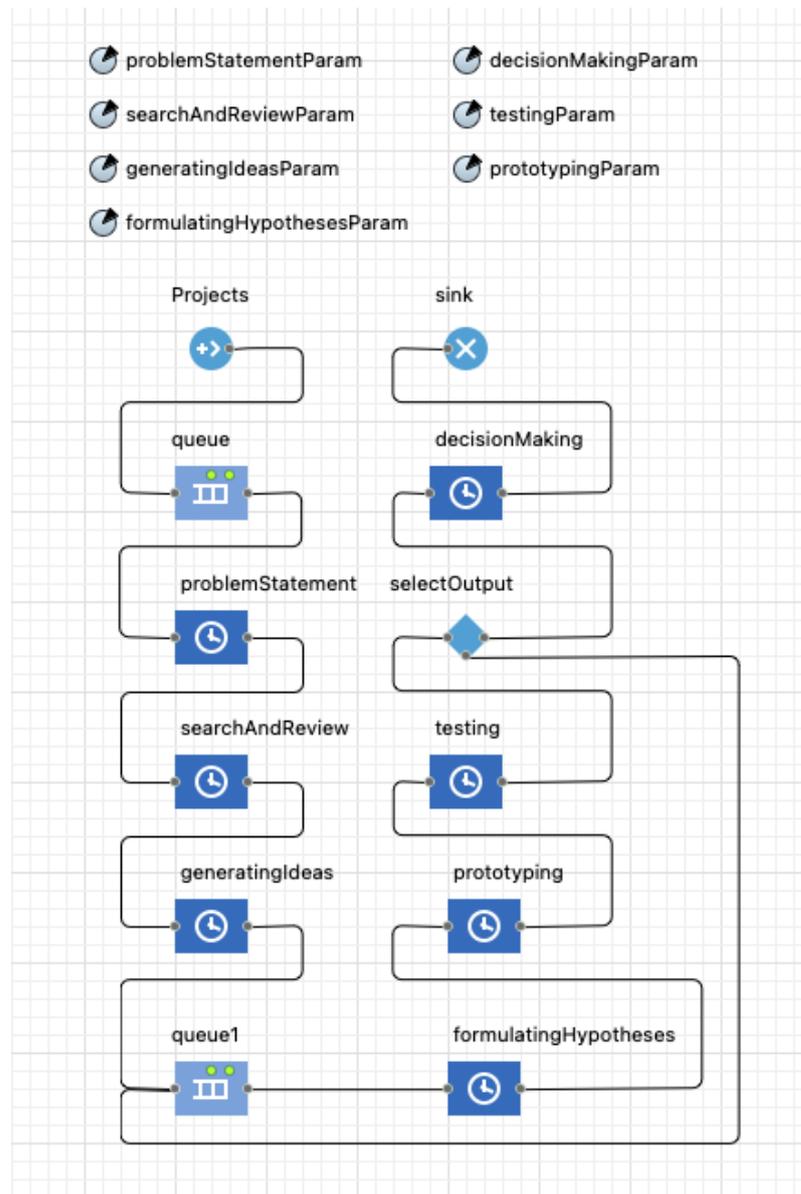


Рисунок 4.30 – Дискретно-событийная имитационная модель процесса разработки продукта

Экспериментальный рабочий процесс включает микроцикл аффорданс-ориентированного промпт-инжиниринга, встроенный в пять ключевых стадий. Микроцикл включает:

- формирование промпта;
- интерпретацию ответа модели;
- уточнение и валидацию результата.

Интеграция данного цикла позволяет проектировщикам структурировать взаимодействие с ИИ как процесс формирования

аффордансов. Длительности стадий для базового и промпт-ассистированного процессов приведены в таблице 4.2. Приняты следующие допущения: эффект убывающей отдачи после трёх циклов промптов; снижение вероятности доработки до 0,07–0,08; конечный пул инженеров.

Таблица 4.2 – Длительность этапов базового и промпт-ассистированного процессов в рабочем процессе разработки продукта

Этап	Базовый (h)	С поддержкой промптов (h)	Примечания
t_1	8	8	без изменений
t_2	24	18	ускоренный поиск аналогий
t_3	40	28	ускоренная генерация идей
t_4	32	32	без изменений
t_5	56	56	без изменений
t_6	48	35	меньше циклов тестирования
t_7	16	16	без изменений

Для каждого сценария было выполнено 1000 прогонов для обеспечения статистической устойчивости результатов. Валидация включала экспертную оценку, анализ чувствительности и сравнение с отраслевыми бенчмарками.

Пример типового промпта иллюстрируется следующим образом. Стандартная структура запроса включает: Роль + Задача + Контекст + Формат + Пример. Для стадии генерации идей (t_3) использовался следующий шаблон:

Роль: старший инженер-конструктор, координирующий взаимодействие человека и ИИ.

Задача: сгенерировать 3 различных концепции с указанием аффордансов, критических допущений и минимального теста.

Контекст: <функция>, <ограничения> (материалы, габариты и масса, безопасность, стоимость, нормативные требования), пользовательские сценарии и доступные ресурсы.

Формат: для каждой концепции – краткое текстовое описание (2–3 предложения); ключевые аффордансы (3–5 пунктов); 2–4 допущения; минимальный тест с этапами, критериями приёма и условиями остановки.

Пример: <функция> = «безинструментальное крепление модульной панели к раме»; <ограничения> = «установка < 30 с; ≥ 1000 циклов; отсутствие защемления пальцев; бюджет $\leq N$ »; Промпт: «Предложите 3 различных концепции для <функции> с учётом <ограничений>; для каждой укажите описание, аффордансы, допущения и минимальный тест (шаги, критерии приёма, условия остановки)».

Для оценки эффективности были смоделированы три сценария:

- Базовый процесс – традиционный семистадийный процесс без ИИ.
- Промпт-ассистированный (1 итерация) – один цикл промпта на стадиях t_2 , t_3 и t_6 .
- Промпт-ассистированный (3 итерации) – до трёх циклов промптов на тех же стадиях с учётом убывающей отдачи.

Каждый сценарий моделировался многократно. Длительности стадий описывались треугольным распределением. Использовался общий пул из 10 инженеров с логикой Queue–Seize–Delay–Release, FIFO-очередями, без прерывания задач и с круглосуточной доступностью ресурсов. Все длительности приведены в часах (1 день = 24 часа).

Распределение времени по этапам представлены на рисунке 4.31. Среднее время выполнения проекта в базовом сценарии составило 333,81 ч ($\pm 3,6$). Введение одного промпт-цикла снизило показатель до 249,24 ч ($\pm 2,9$), что соответствует сокращению на 25,3%. Использование трёх итераций позволило дополнительно снизить время до 233,10 ч ($\pm 2,7$), что эквивалентно сокращению на 30,2%.

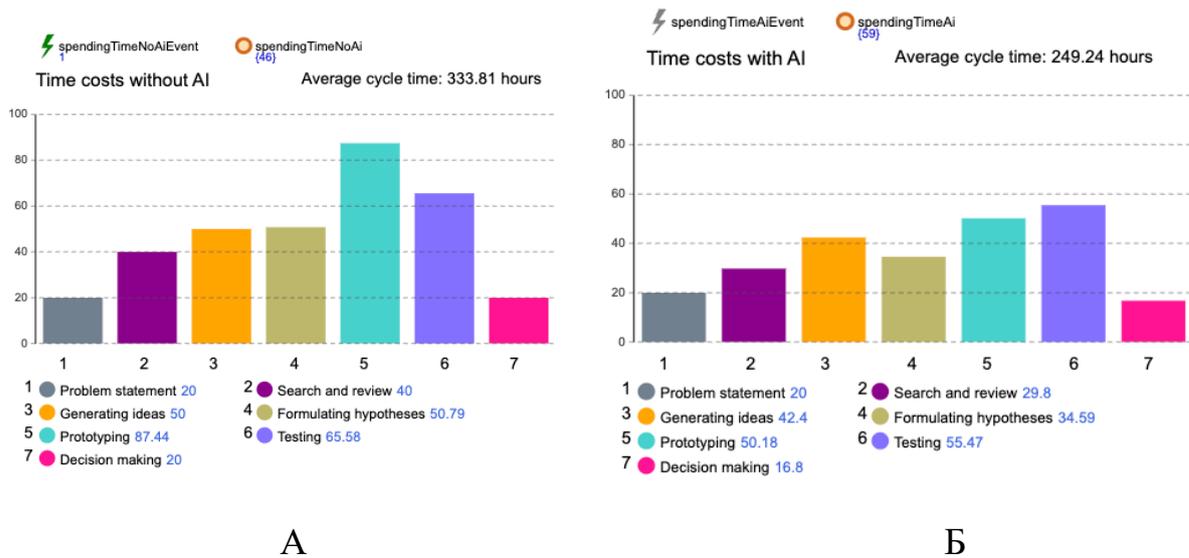


Рисунок 4.31 – Распределение времени по этапам: А – Без искусственного интеллекта (среднее время цикла: 333,81 часа);
Б – С искусственным интеллектом (среднее время цикла: 239,24 часа)

Пропускная способность при параллельной реализации пяти проектов увеличилась на 34% при одной итерации и на 44% при трёх итерациях. Трудоемкость снизилась примерно на 24% при одной итерации и на 28% при трёх итерациях. Индекс эффективности показал эффект убывающей отдачи: основная часть выигрыша достигается при первом цикле. Вероятность доработки снизилась с 12% в базовом сценарии до 8% при одной итерации и до 7% при трёх итерациях.

Анализ чувствительности подтвердил устойчивость результатов при изменении вероятности доработки, временных затрат на промпты и уровня параллельности проектов.

Полученная дискретно-событийная имитационная модель процесса разработки продукта позволяет сделать вывод о том, что использование технологии промпт-инжиниринга позволяет сократить временные затраты на проектные операции не менее чем на 25,3 %.

После чего было проведено экспериментальное исследование, которое было направлено на количественную оценку влияния аффорданс-

ориентированного промпт-инжиниринга на временные характеристики инженерного процесса разработки медицинских изделий СамГМУ.

В качестве объектов исследования были выбраны пять реальных инженерных проектов, реализованных в рамках научно-производственной деятельности Самарского государственного медицинского университета: риноотоскоп, пульсоксиметр, кольпоскоп, цифровые весы, робототехническая рука.

Для каждого проекта была воспроизведена стандартная семистадийная модель жизненного цикла инженерной разработки, включающая этапы: постановка задачи, поиск и обзор аналогов, генерация идей, формулировка гипотез, прототипирование, тестирование, принятие проектного решения.

Эксперимент проводился в два последовательных режима:

1. Базовый режим (без ИИ) – все этапы выполнялись с использованием традиционных инженерных инструментов и экспертных методов без применения языковых моделей и промпт-инжиниринга.

2. Экспериментальный режим (с использованием ИИ) – на ключевых когнитивно нагруженных этапах (поиск аналогов, генерация идей, формулировка гипотез, тестирование) применялся аффорданс-ориентированный промпт-инжиниринг с формализованной структурой запросов (роль, задача, контекст, формат результата, критерии валидации).

Для обеспечения сопоставимости условий были зафиксированы следующие параметры эксперимента:

- идентичный состав проектных команд;
- одинаковые технические требования и ограничения;
- неизменная функциональная спецификация продуктов;
- единые критерии завершения этапов;
- фиксация фактических временных затрат по каждому этапу в человеко-часах.

Таким образом, различия во временных характеристиках обусловлены исключительно влиянием внедрения промпт-инжиниринга как инструмента поддержки инженерного мышления.

Результаты эксперимента представлены в таблице 4.3 и демонстрируют устойчивое сокращение продолжительности всех ключевых этапов разработки при использовании аффорданс-ориентированного промпт-инжиниринга.

Таблица 4.3 – Сравнение длительности этапов базового процесса разработки продукта и с использованием технологий искусственного интеллекта

Проект		без ИИ (t), ч / с ИИ (t'), ч	Риноотоск оп	Пульсокс иметр	Кольпоск оп	Цифровые весы	Робототех ническая рука
1	Постановка задачи	без ИИ	21,6	22,8	24,6	20,4	27
		с ИИ	16,5	16,7	18,4	15,8	19,5
2	Поиск и обзор	без ИИ	43,2	45,6	49,2	40,8	54
		с ИИ	33,1	33,4	36,8	31,6	39,1
3	Генерация идей	без ИИ	54	57	61,5	51	67,5
		с ИИ	41,4	41,8	46	39,5	48,9
4	Формулировка гипотез	без ИИ	54,9	58	62,5	51,8	68,6
		с ИИ	42,1	42,5	46,8	40,1	49,7
5	Прототипирова ние	без ИИ	94,6	100	107,8	89,3	118,3
		с ИИ	72,5	73,3	80,6	69,1	85,6
6	Тестирование	без ИИ	70,9	75	80,8	67	88,7
		с ИИ	54,3	55	60,4	51,9	64,2
7	Принятие решения	без ИИ	21,6	22,8	24,6	20,4	27
		с ИИ	15,9	16,6	18,4	15,2	18,8
Итого		без ИИ	360	381	411	340	450
		с ИИ	275,8	279,3	307,4	263,2	325,8
Сокращение, %			23,4	26,7	25,2	22,6	27,6

Наиболее выраженное снижение временных затрат наблюдается на этапах:

- поиска и обзора аналогов – сокращение в среднем на 22–27%, что связано с ускоренной навигацией по патентным и технологическим источникам;

- генерации идей – сокращение на 23–28%, обусловленное расширением пространства проектных альтернатив за счёт структурированных аффордансных подсказок;
- формулировки гипотез – снижение на 20–26% благодаря автоматизированной поддержке логики проектных допущений;
- тестирования – уменьшение длительности на 21–27% за счёт более точной предварительной проработки требований и сценариев проверки.

Суммарное время полного цикла разработки сократилось:

- для риноотоскопа – на 23,4%,
- для пульсоксиметра – на 26,7%,
- для кольпоскопа – на 25,2%,
- для цифровых весов – на 22,6%,
- для робототехнической руки – на 27,6%.

Среднее интегральное сокращение продолжительности разработки по всем проектам составило 25,1%, что подтверждает воспроизводимый эффект внедрения промпт-инжиниринга в инженерную практику.

Разработанная технология промпт-инжиниринга в рамках междисциплинарной инженерной деятельности, реализующая эмиссию аффордансов, позволяет сократить не менее, чем на 22,6% время человеко-компьютерного взаимодействия.

4.5 Выводы по четвертой главе

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность применения метода разметки на основе аффордансов и реализующей его технологии промпт-инжиниринга. Было показано, что генерация и распознавание аффордансов способствуют повышению изобретательской активности и качеству проектных решений. Проведён eye-tracking-анализ, демонстрирующий различия в стратегии восприятия и решения задач между подготовленными и неподготовленными специалистами.

Выявлено что, разметка изображений посредством аффордансов повышает результативность как естественного, так и искусственного интеллекта в смысле сокращения времени на разработку и анализ технических решений. Реализация критерия преадаптации на примере анализа электродвигателя также подтвердила, что учет функциональных, адаптационных и диагностических аффордансов позволяет формировать дизайн-решения с повышенной устойчивостью к эксплуатационным условиям.

Проведенное имитационное моделирование, процесса интеграции промпт-инжиниринга в цикл инженерного проектирования, показывает сокращение времени человеко-компьютерного взаимодействия на 25,3%, а экспериментальное исследование на инженерных проектах СамГМУ показывает сокращение не менее, чем на 22,6%.

Проведенные эксперименты показали, что разработанные алгоритмы и информационная система поддержки принятия решений в области конструкторско-технологической подготовки производства, отличающиеся способом интеграции технологий искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования и поискового конструирования, позволяют снизить трудоемкость разработки новых технических решений с использованием больших языковых моделей.

Глава 5. Реализация и внедрение информационных технологий интеллектуальной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности в области медицинской инженерии

5.1 Аффорданс-анализ и разметка медицинских изделий

Реализованные в ходе исследования информационные технологии позволили внедрить элементы искусственного интеллекта на этапе конструкторско-технологической подготовки производства в области медицинской инженерии в технопарке Самарского государственного медицинского университета. В данном разделе приведены основные результаты этой разработки.

Сравним понятие аффорданс применительно к инженерной деятельности со следующими понятиями: 1) унификация, 2) типовые решения, 3) конструкторско-технологическая преемственность, 4) нормализация, 5) стандартизация, 6) групповые подходы. Получили таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнительный анализ концепции аффорданса и традиционных инженерных подходов

№ п/п	Подход	Основной акцент	Принципиальные отличия от концепции аффорданса
1	Унификация	Снижение номенклатурного разнообразия	Игнорируется аспект интуитивного взаимодействия с объектом
2	Типовые проектные решения	Повторяемость, воспроизводимость и проверенность	Отсутствует адаптация к особенностям пользовательского

			восприятия
3	Конструкторско-технологическая преобладание	Согласование конструктивных и технологических требований	Недостаточное внимание к пользовательскому опыту эксплуатации
4	Нормализация	Приведение характеристик к нормативным значениям	Не рассматриваются параметры, формирующие предпологаемость действия
5	Стандартизация	Формализация параметров, допусков и интерфейсов	Недостаточная гибкость и отсутствие визуально-поведенческих ориентиров
6	Групповые методы проектирования	Объединение объектов по конструктивным признакам	Недостаточная индивидуализация сценариев взаимодействия пользователя

Основным акцентом аффорданса является восприятие, предлагающее функциональное действие. Концепция аффордансов учитывает поведенческие паттерны, контекст и интуитивные возможности.

Апробация предложенного подхода была произведена в Передовой медицинской инженерной школе Самарского государственного медицинского университета при исследовании проблем конфигурирования единого информационного пространства технопарка с учетом возможностей искусственного интеллекта. Основная проблема медицинской инженерии состоит в реализации новых идей с максимальным использованием накопленного технологического задела и имеющейся инновационной

инфраструктурой. В этих условиях необходимо найти баланс между объемом реализации новых дизайн решений и внедрением апробированных технологий.

Для решения данной проблемы была предложена конфигурация единого информационного пространства, основанная на описании продуктов и их компонентов с помощью аффордансов. В качестве технологической основы интегрированной информационной среды использовано программное обеспечение АСКОН: ЕСМ система Pilot, PDM/PLM система ЛОЦМАН и САПР Компас 3D. Данный стек технологий позволяет вводить новые информационные сущности для описания деталей и сборочных единиц и учитывать это описание при поддержке принятия проектных решений.

Согласно предложенной информационно-логической модели, каждое изделие имеет стандартные сущности: наименование, назначение, комплект конструкторской документации, включающий в себя 3D модели; а также изделие имеет новую сущность – аффордансы, причём каждая деталь и сборочная единица в главной подборке также может иметь свои аффордансы. В контексте трёхмерных моделей определение аффордансов позволит повысить пользовательский опыт взаимодействия с реальными объектами посредством цифровых двойников, поскольку уже на начальном этапе проектирования будут обнаружены варианты использования элементов и их взаимосвязь с физическими и геометрическими характеристиками. Выделение аффордансов при описании продуктов позволяет проработать вопросы унификации и повторного применения, а также облегчает внедрение комплексов для решения новых задач практического здравоохранения.

В качестве примера можно привести результаты выявления общих аффордансов у изделий медицинского назначения, проиллюстрированных на рисунке 5.1. Здесь приведена линейка программно-аппаратных комплексов (ПАК) для реабилитации пациентов, система хирургической навигации AUTOPLAN, мультисенсорный тренажер реабилитации пациентов ReviVR и мультисенсорный тренажер активной двигательной реабилитации

ReviMotion, а также модульная экспертная виртуальная система (МЭВИС). Перечисленные ПАК имеют общие конструктивные особенности: 1) шасси как у компьютерного кресла, 2) стойку из конструкционного профиля, 3) корпус для размещения электроники и системы управления, 4) кронштейны для крепления экранов (мониторов), 5) мониторы и 6) дополнительное оборудование для проведения необходимых манипуляций, в числе которых могут быть: видеокамеры, VR очки, пневматические сандалии и т.п.

Группировка медицинской техники по указанным аффордансам в системе управления инженерными данными позволяет выделить общие функциональные требования и выбрать наиболее эффективное, технологичное и экономичное решение, сохранив при этом вариативность исполнений для отдельных случаев. Реализация нескольких вариантов исполнения по одному аффордансу должна предусматривать взаимозаменяемость крупных узлов, что обеспечит возможность гибкого конфигурирования решений в зависимости от поставленной задачи. При этом разные варианты исполнения, реализующие один аффорданс, должны быть выполнены в едином дизайне для сохранения эстетического внешнего вида и обеспечения узнаваемости торговых марок.

Кроме этого, проектирование и реализация различных исполнений медицинской техники и ее комплектующих функциональных блоков в рамках одного аффорданса позволяет оценить технологические возможности производства и границы исполнимости, важные для проектирования новых изделий. При решении новых задач разработки инновационной техники инженер должен выявлять и разрешать технические и физические противоречия, отсекая бесперспективные и неэффективные пути решения. Группировка существующих решений и их аналогов по критерию единства аффорданса позволяет найти ответы на основные вопросы изобретательской задачи, связанные с декомпозицией системы, оценки связей и анализа возможных изменений.

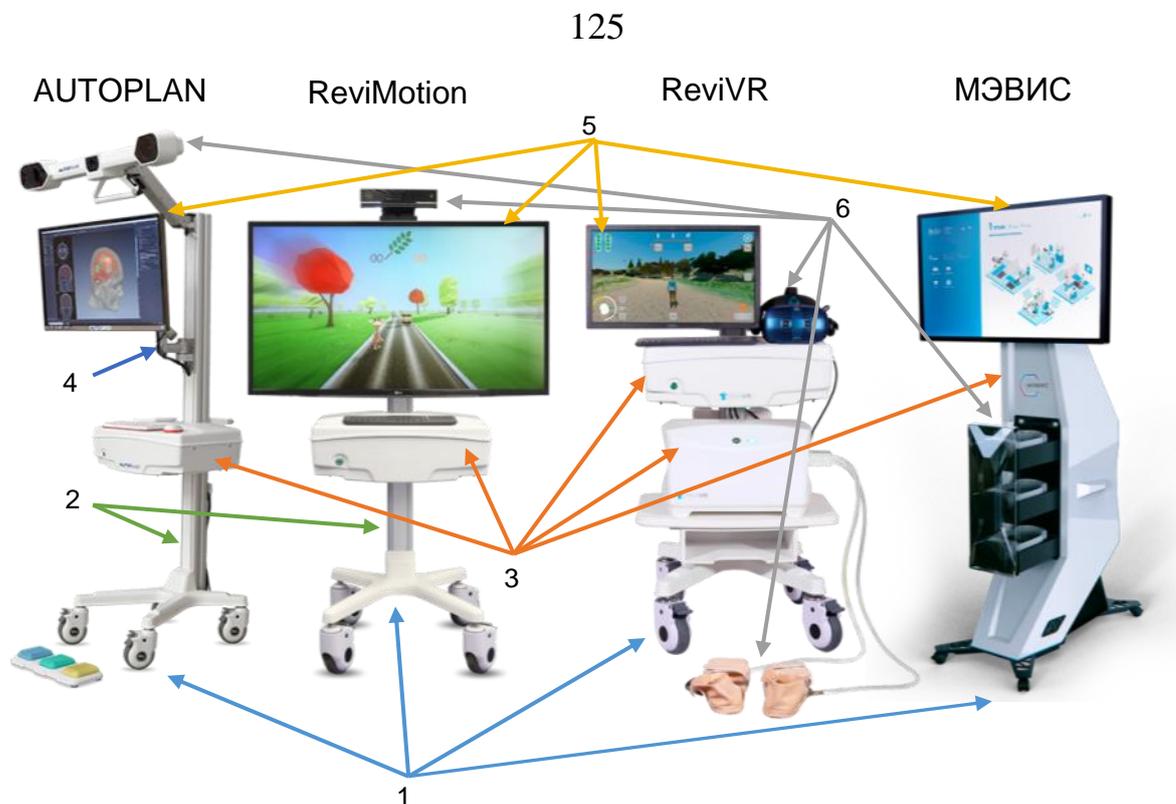


Рисунок 5.1 – Обобщение конструкторских решений в продуктовой линейке медицинской техники (на примере комплексов виртуальной реальности)

Изложенные выше положения концепции важны при интеграции компонентов искусственного интеллекта в предлагаемую систему. Разбиение вариантов исполнения по аффордансам предлагается в качестве основы для составления и разметки данных обучающих выборок для генеративных моделей и выступает ориентиром для формирования последующих промпт-запросов.

Рассмотрим еще один практический пример применения модели аффордансов при проектировании медицинского изделия – «Цифровой пульсоксиметр», который предназначен для измерения пульсовой волны и сатурации кислорода в крови. Д. Гибсон определил аффорданс как объективную «предлагаемость» действия, присущую паре «объект – агент». Д. Норман уточнил, что для дизайнера критичен воспринимаемый аффорданс, т. е. действие, которое пользователь считывает из формы, фактуры, цвета и интерактивных сигналов. Индустриальный дизайн, следовательно, должен транслировать инженерную функциональность в

однозначные «приглашения» к действию. В таблице 5.2 показано, что заявленный в патенте пульсоксиметр спроектирован именно по этой логике, а текст описания фиксирует решения-аффордансы.

Внешний вид разработанного изделия «Цифровой пульсоксиметр» спроектированного с использованием модели аффордансов представлен на рисунке 5.2.

Таблица 5.2 – Аффорданс анализ и разметка элементов пользовательского интерфейса и конструктивных элементов медицинского изделия на примере цифрового пульсоксиметра

№ п/п	Аффорданс	Патентное описание	Как «приглашение» реализовано в дизайне
1.	Сжать → разжать (надеть на палец)	«Пластиковый корпус, выполненный в виде прищепки, две части которой соединены металлической пружиной»	Архетип «прищепки» мгновенно считывается как объект, который нужно сжать; пружина обеспечивает тактильную обратную связь и фиксированное усилие, тем самым материализуя моторный аффорданс.
2.	Вставить палец	Аналогично предыдущему пункту, + наличие светодиода и светодиодов на противоположных браншах	Симметричная овальная апертура, сформированная браншами, соответствует анатомии дистальной фаланги; скруглённые кромки и отсутствие острых углов снижают барьер к вставке.
3.	Нажать,	«Активизация	Единственный выделенный

	чтобы активировать	микроконтроллера происходит при нажатии кнопки управления»	орган управления (кнопка ПКН-159) минимизирует когнитивную нагрузку; рельеф и цвет кнопки (указаны в иллюстрациях патентного пакета) выступают как сигнифайер.
4.	Считать данные одним взглядом	«Более крупные цифры желтого цвета отражают сатурацию, цифры меньшего размера – частоту пульса»	Контраст размера и цвета превращает дисплей в иерархическую визуальную карту: приоритетная метрика «SpO ₂ » подчёркнута сразу двумя каналами (размер + цвет). Это классический визуальный аффорданс «смотри сначала сюда».
5.	Услышать отклонение от нормы	«В случае отклонения параметров от нормы производится звуковой сигнал»	Аудитивный аффорданс: моментальная модальность тревоги без визуального контакта.
6.	Передать данные на внешнее устройство	«Микроконтроллер... направляет сигнал... к антенне 2,4 ГГц»; «результаты... передаются по Bluetooth на смартфон»	Беспроводной модуль + керамическая антенна создают «цифровой» аффорданс: пользователь видит иконку BT и осознаёт возможность сопряжения.
7.	Понять, что источник питания	«Питание устройства осуществляется от двух батареек типа ААА»	Съёмная крышка батарейного отсека и стандартизованный форм-

	заменяем		фактор ААА сигнализируют о самостоятельной замене без инструмента.
--	----------	--	--

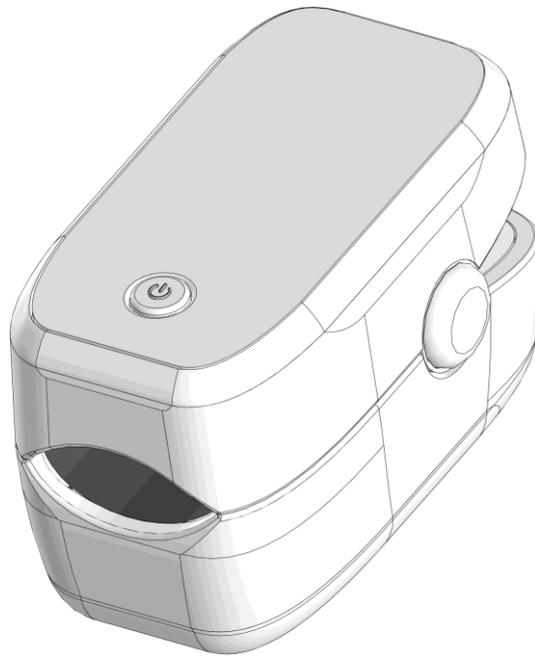


Рисунок 5.2 – Внешний вид изделия «Цифровой пульсоксиметр»

В рамках практической апробации разработанных алгоритмов и информационной системы поддержки принятия решений в области аннотирования инженерных данных и конструкторско-технологической подготовки производства была выполнена их интеграция в процесс разработки медицинского изделия «Пульсоксиметр».

Апробация проводилась в промышленной PLM-системе «ЛОЦМАН:PLM» (АО «АСКОН»), используемой для управления цифровыми моделями изделий, конструкторской документацией и технологическими маршрутами. Выбор данной платформы обусловлен её широким применением в машиностроительной и приборостроительной отрасли и возможностью расширения объектной модели за счёт пользовательских атрибутов и прикладных модулей.

В процессе разработки пульсоксиметра была реализована интеграция естественного и искусственного интеллекта в рамках единого контура поддержки проектных решений. Взаимодействие инженера с большой языковой моделью осуществлялось с использованием аффорданс-ориентированного промпт-инжиниринга, обеспечивающего формализованную постановку проектных задач, генерацию альтернативных решений и предварительную валидацию гипотез.

Полученные от языковой модели результаты использовались не изолированно, а встраивались в цифровую инженерную среду PLM-системы, где проходили дополнительную экспертную проверку и согласование с параметрическими и технологическими ограничениями.

Таким образом, был реализован гибридный механизм проектирования, сочетающий когнитивные возможности инженера и вычислительные возможности искусственного интеллекта.

Для реализации аффорданс-ориентированного представления инженерных данных объектная модель PLM-системы была расширена путём введения дополнительного атрибута «Аффордансы» (см. рисунок 5.3), связанного с карточками:

- изделия в целом (пульсоксиметр);
- сборочных единиц (корпус, сенсорный модуль, электронный блок);
- функциональных компонентов (оптический датчик, органы управления, интерфейс отображения).

В рамках данного атрибута формализованно фиксировались функциональные и эксплуатационные действия, включая измерение сатурации кислорода крови, фиксацию устройства на пальце, запуск режима измерения, отображение результатов, подключение к источнику питания и санитарную обработку корпуса.

Введение аффордансного слоя обеспечило переход от исключительно геометрического и параметрического описания изделия к многоуровневой

семантической модели, объединяющей конструктивные характеристики и функциональные сценарии эксплуатации.

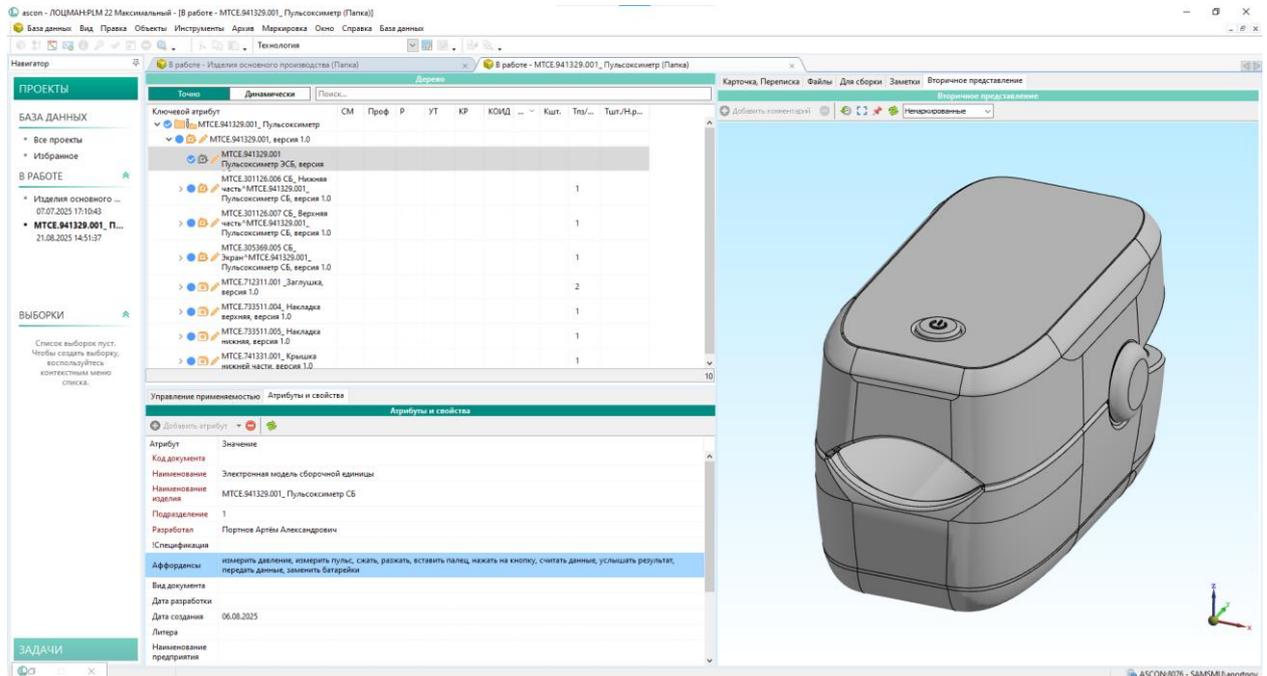


Рисунок 5.3 – Информационная система поддержки принятия проектных решений при разработке пульсоксиметра в среде «ЛОЦМАН:PLM»

Для пульсоксиметра была реализована процедура формализованного аннотирования инженерных объектов, включающая следующие этапы:

- декомпозицию изделия на функциональные подсистемы;
- назначение аффордансов компонентам на основе унифицированной таксономии действий;
- логическую валидацию согласованности аффордансов с параметрическими характеристиками и эксплуатационными требованиями;
- формирование связей между аффордансами и стадиями жизненного цикла изделия.

Алгоритмы аннотирования были реализованы в виде программного модуля, взаимодействующего с базой данных PLM-системы «ЛОЦМАН» через стандартные интерфейсы доступа, что обеспечило их масштабируемость и воспроизводимость.

Использование аффордансного слоя позволило обеспечить согласование информационных объектов на различных уровнях проектирования:

функциональном — за счёт формализации пользовательских сценариев;

конструктивном — за счёт связи аффордансов с параметрическими моделями;

технологическом — за счёт учета функциональных требований при формировании технологических операций.

На практике это позволило выявлять и устранять противоречия между эргономикой корпуса пульсоксиметра, расположением оптического сенсора и требованиями к точности позиционирования элементов.

Интеграция разработанных алгоритмов в PDM-систему позволила использовать её как инструмент поддержки инженерных решений.

На примере пульсоксиметра это обеспечило:

- оптимизацию конструкции зажима для повышения стабильности измерений;
- согласование пользовательских сценариев с технологическими ограничениями производства;
- снижение числа итеративных корректировок на стадии прототипирования;
- повышение согласованности между требованиями и конструктивной реализацией.

Таким образом, PDM-система была преобразована из среды хранения данных в интеллектуальный контур поддержки проектного мышления.

Еще одним примером применения концепции аффордансов является модернизация цифрового фонендоскопа (см рисунок 5.4А), разработанного в институте Инновационного развития СамГМУ. Данный фонендоскоп, в отличие от своего предшественника – медицинского стетофонендоскопа, обладает расширенным набором аффордансов, по мимо «слушать»,

появляются аффордансы «записывать», «хранить» и «передавать» информацию и «нажимать» на кнопки осуществляющие озвученный функционал. Перечисленные аффордансы позволяют использовать данное устройство для оснащения кабинетов врачей государственных и частных медицинских учреждений, ФАПов, мобильных медицинских комплексов, для проведения телемедицинских консультаций, а также для интерактивного обучения аускультации студентов медицинских образовательных учреждений и создания базы записей аускультации для проведения исследований.

Однако, в момент апробации разработанного дизайн-решения были обнаружены существенные недостатки в эргономике, поскольку прибор неудобно эксплуатировать одной рукой, но самый главный недостаток заключался в выносной акустической головке, которая не позволяла снимать и передавать качественный звуковой сигнал.

Для устранения вышеуказанных недостатков была использована формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности. Применение формально-логической модели к цифровому фонендоскопу было направлено на формализацию процесса выбора конструктивных решений с учётом функциональных требований, пользовательских сценариев эксплуатации и параметрических ограничений изделия. В отличие от традиционного проектирования, ориентированного преимущественно на технические параметры (конструкция, геометрия, прочность и т.д.), предложенный подход позволил рассматривать изделие как совокупность взаимосвязанных компонентов, аффордансов и пользовательских онтологий, что обеспечило системное согласование проектных решений.

Применение модели выполнено для цифрового фонендоскопа путём задания: 1) компонентного состава изделия c_i , 2) множества альтернативных дизайн-решений $d_{i,j}$, 3) параметрического пространства $p_{i,j,k}$, 4) набора

технических идей $s_{i,j,l}$, 5) онтологий пользователей Ω_n , а также 6) множества реализуемых аффордансов $a_{i,j,n,m}$ для рассматриваемых прототипов.

В модели выделены следующие компоненты c_i цифрового фонендоскопа: c_1 – корпус; c_2 – акустическая головка; c_3 – электронный модуль; c_4 – кнопочный блок; c_5 – модуль связи. Такая декомпозиция позволила связать конкретные элементы конструкции с соответствующими пользовательскими действиями и техническими ограничениями, а также локализовать источники функциональных несоответствий, выявленных на этапе эксплуатации прототипов.

Контекст эксплуатации задан через три онтологии Ω_n пользователей: Ω_1 — врач: диагностика, анализ шума, запись фрагмента; Ω_2 — инженер: фильтрация, тестирование, калибровка; Ω_3 — пациент: простое управление, передача записи врачу. Разделение пользовательских ролей позволило выявить противоречия между требованиями клинической эксплуатации и инженерной архитектурой прототипа, в частности в части качества акустического сигнала и удобства управления.

Для оценки вариантов конструкции использованы следующие дизайн-решения $d_{i,j}$: $d_{2,1}$ прототип А — вынесенная акустическая головка; $d_{2,2}$ прототип Б — встроенная акустическая головка; $d_{3,1}$ усилитель без фильтрации; $d_{3,2}$ усилитель с подавлением шумов; $d_{4,2}$ эргономичная кнопочная панель. Сравнение данных вариантов позволило выявить, что конструкция с вынесенной акустической головкой не обеспечивает требуемого качества сигнала при реальных условиях эксплуатации, что обусловило переход к встроенной компоновке и необходимости модификации акустического тракта.

Параметры $p_{i,j,k}$ включающие чувствительность микрофона, уровень усиления, материал корпуса, толщину экрана и расположение кнопок, использовались для количественного согласования проектных решений с

выявленными аффордансами. В частности, повышение чувствительности микрофона и изменение толщины экранирующих элементов корпуса были непосредственно связаны с реализацией аффордансов «усиливать сигнал» и «экранировать».

Технические идеи $s_{i,j,l}$, такие как экранирование акустического тракта, усиление слабого сигнала, снижение вибрационных шумов и оптимизация навигации по кнопкам, использовались как проектные операторы, позволяющие переводить функциональные требования в конкретные конструктивные изменения, что в свою очередь обеспечило воспроизводимость проектных решений и формализовало процесс инженерной модификации изделия..

В результате применения модели были зафиксированы базовые аффордансы $a_{i,j,n,m}$ («слушать», «записывать», «хранить», «передать», «нажимать кнопки») и выявлены новые функционально-критические аффордансы («экранировать», «усиливать сигнал»). Добавление новых аффордансов позволило расширить функциональный профиль изделия и сформировать требования к модернизации конструкции, направленные на повышение качества аускультационного сигнала и снижение влияния внешних шумов.

В отличие от пульсоксиметра, модернизация цифрового фонендоскопа потребовала расширения аффордансной модели за счёт включения аудиосигнальных и электромагнитных характеристик, связанных с процессами экранирования и усиления сигнала.

В среде «ЛОЦМАН:PLM» (см. рисунок 5.5) для цифрового фонендоскопа были дополнительно аннотированы следующие функционально-критические подсистемы: акустический тракт; экранирующие элементы корпуса; электронные модули предварительного усиления сигнала; конфигурации печатных плат.



Рисунок 5.4 – Цифровой фонендоскоп: А – Прототип №1 с выносной акустической головкой; Б – Прототип №2 с акустической головкой в составе корпуса; В – Прототип №2 в разрезе

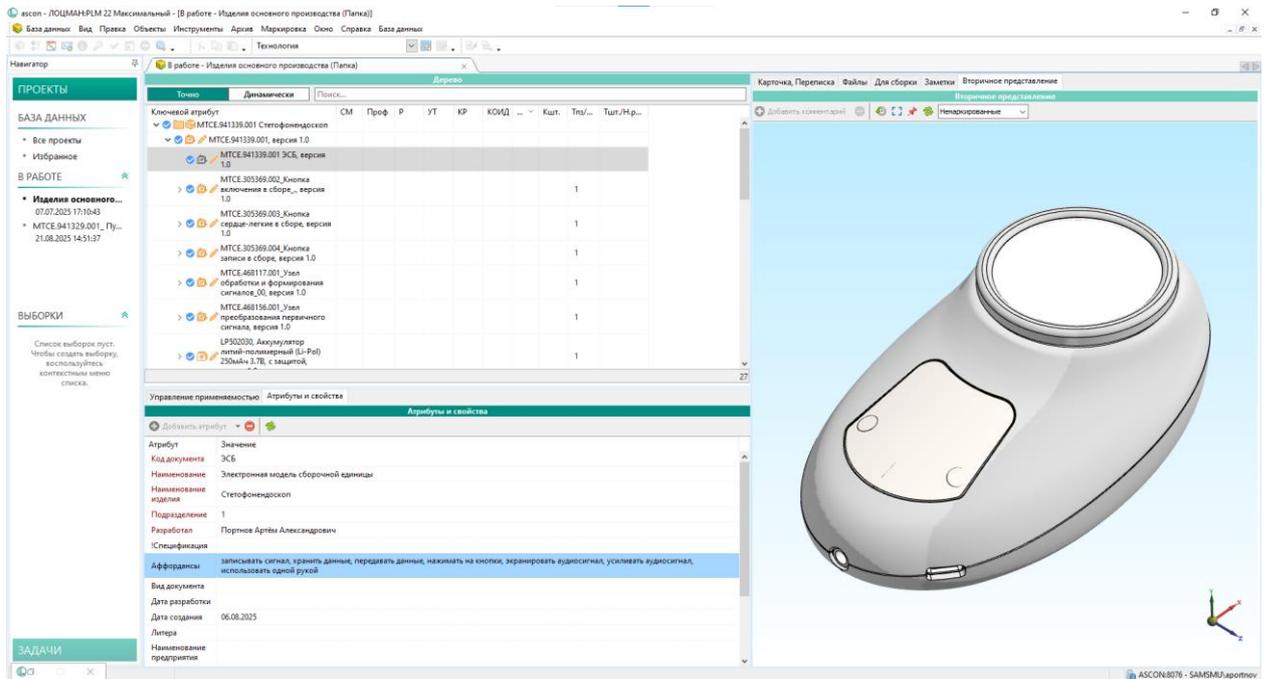


Рисунок 5.5 – Информационная система поддержки принятия проектных решений при разработке цифрового фонендоскопа в среде «ЛОЦМАН:PLM»

Аффордансы «экранировать» и «усиливать» были формализованно связаны с конструктивными параметрами корпуса, компоновкой электронных компонентов и требованиями к технологическим операциям сборки, что позволило выявить несоответствие между исходной архитектурой изделия и функциональными требованиями к качеству аудиосигнала.

Внесённые изменения фиксировались в цифровом контуре PLM-системы с сохранением трассируемости версий, что обеспечило управляемую модификацию конструкции и согласование изменений между конструкторскими и технологическими подразделениями.

Таким образом, кейс цифрового фонендоскопа продемонстрировал применимость разработанной системы не только для эргономических и пользовательских аффордансов, но и для функционально-критических инженерных характеристик, связанных с обработкой сигналов.

5.2 Опыт внедрения результатов исследования в инновационную инфраструктуру университета

Результаты исследования внедрены в Институте инновационного развития, Технопарке и Передовой медицинской инженерной школе Самарского государственного медицинского университета для информационной поддержки инновационной деятельности в области медицинской инженерии.

Деятельность Института инновационного развития опирается на применение высокотехнологичных решений в области виртуальной и дополненной реальности, искусственного интеллекта и нейротехнологий. Разработанные аппаратно-программные комплексы интегрированы в практику отечественных и зарубежных учреждений здравоохранения и демонстрируют высокую эффективность при решении широкого круга задач.

В частности, данные решения применяются для проведения высокоточной предоперационной подготовки и моделирования хирургических вмешательств, в системах нейрореабилитации пациентов с последствиями инсультов, черепно-мозговых травм и нарушений опорно-двигательного аппарата, а также в качестве обучающих симуляторов для подготовки медицинского персонала.

Кроме того, комплексы находят применение в образовательных и промышленных структурах, обеспечивая иммерсивное обучение, моделирование сценариев профессиональной деятельности и формирование цифровых двойников процессов и объектов. Внедрение таких решений способствует повышению эффективности клинической практики, сокращению ошибок при принятии решений и улучшению качества подготовки специалистов.

В Технопарке Самарского государственного медицинского университета реализуется широкий спектр научно-технических и инжиниринговых работ, включающих разработку и реверс-инжиниринг

сложных технических изделий и электронных устройств, в том числе приборов и программно-аппаратных комплексов до уровня готовности технологии (УГТ) 7 с последующим сопровождением до УГТ 9.

Специалисты Технопарка осуществляют высокоточное трёхмерное сканирование, цифровое моделирование и прототипирование, включая изготовление крупногабаритных конструкций. Наряду с этим оказывается технико-экономический консалтинг, проводится проектирование и выпуск единичных и мелкосерийных партий опытных образцов.

Отдельное направление деятельности связано с разработкой и внедрением систем виртуальной и дополненной реальности, в том числе обучающих и демонстрационных симуляторов для медицины, образования и промышленности.

В рамках программной инженерии выполняется разработка программного обеспечения с распределённой архитектурой, создание интеллектуальных систем и реализация алгоритмов машинного обучения, включая обучение искусственных нейронных сетей.



Рисунок 5.4 – Процесс внедрения информационной системы поддержки инженерного мышления в Технопарк СамГМУ

Передовая медицинская инженерная школа Самарского государственного медицинского университета представляет собой

уникальный образовательный и научно-инновационный центр, ориентированный на подготовку специалистов, обладающих интегративными компетенциями в области инженерных и медицинских наук.

Основу концепции школы составляет идея формирования нового типа инженера – специалиста, способного эффективно решать задачи на стыке анатомии, физиологии, нейронаук и технического конструирования, что особенно актуально в здравоохранении и биомедицинской инженерии.

Школа реализует магистерские программы в сферах искусственного интеллекта, биоинженерии, телемедицины и биотехнологий, а также предлагает более 10 программ дополнительного профессионального образования.

Научная деятельность школы включает разработку анатомических 3D-моделей, создание иммерсивных тренажёров с обратной биологической связью, проектирование персонализированных имплантов, применение нейротехнологий и формирование систем поддержки врачебных решений.

Разработанные в диссертации формально-логическая модель и роботизированный ассистент инженерного творчества используются при осуществлении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на изобретение и производство высокотехнологичных медицинских изделий.

Внедрение роботизированных ассистентов в процесс научно-технической деятельности обеспечивает повышение качества разработки новых медицинских устройств, а также сокращение времени, необходимого для проектирования и тестирования инновационных решений.

5.3 Выводы по пятой главе

Разработанная система внедрена в Институте инновационного развития, Технопарке и Передовой медицинской инженерной школе СамГМУ. Аффорданс-анализ медицинских изделий продемонстрировал преимущества по сравнению с традиционными подходами проектирования:

интуитивность взаимодействия, гибкость сценариев использования, повышение степени адаптивности.

Реализованные в ходе исследования информационные технологии позволили в отличие от аналогов внедрить элементы искусственного интеллекта на этапе конструкторско-технологической подготовки производства в области медицинской инженерии в технопарке Самарского государственного медицинского университета, сократив время на проектирование и тестирование инновационных технических решений.

Заключение

В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Предложена формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности, отличающаяся от аналогов описанием вариантов их применения в виде аффордансов и позволяющая задать свойства преадаптации и коадаптации технических решений, способствующих повторному использованию.

2. Разработан метод аннотирования инженерных данных, отличающийся от аналогов правилом разметки на основе аффордансов и позволяющий конкретизировать и сократить не менее, чем на 71,6% объем терминов, используемых при подключении элементов искусственного интеллекта для генерации новых технических решений.

3. Разработана технология промпт-инжиниринга, реализующая в отличие от аналогов эмиссию аффордансов и позволяющая сократить время человеко-компьютерного взаимодействия с элементами искусственного интеллекта не менее, чем на 22,6%.

4. Разработаны алгоритмы и информационная система поддержки принятия решений в области конструкторско-технологической подготовки производства, отличающиеся способом интеграции технологий искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования и поискового конструирования и позволяющие снизить трудоемкость разработки новых технических решений с использованием больших языковых моделей.

5. Предложенная в диссертации технология промпт-инжиниринга на основе эмиссии аффордансов отличается от аналогов методом разметки и аннотирования технических решений по вариантам использования и позволяет интегрировать технологии искусственного интеллекта в единое

информационное пространство производственного предприятия для информационной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности.

6. Разработанная в ходе исследования информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства отличается от аналогов способом интеграции элементов искусственного интеллекта посредством аффордансов и позволяет сократить время на разработку новых технических решений.

7. Реализованные в ходе исследования информационные технологии позволили в отличие от аналогов внедрить элементы искусственного интеллекта на этапе конструкторско-технологической подготовки производства в области медицинской инженерии в технопарке Самарского государственного медицинского университета, сократив время на проектирование и тестирование инновационных технических решений.

Рекомендации и перспективы: предложенные в диссертации метод и технология рекомендуются к использованию в системах автоматизированного проектирования для внедрения технологий искусственного интеллекта в инженерную деятельность.

Список литературы

1. Боровков А. И., Кулемин В. Ю. Цифровой инжиниринг для создания изделий высокой степени технологической сложности на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2024. – № 3. – С. 98 – 104.
2. Боровков А., Бураков В., Мартынец Е. и др. Цифровая платформа CML-BENCH® (ч. 1 – 3) // САПР и графика. – 2023. – № 8-10. – С. 42 – 62.
3. Цифровые технологии в жизненном цикле российской конкурентоспособной авиационной техники / под ред. М. А. Погосяна. – М. : МАИ, 2020. – 448 с.
4. Щеглов Д. К. Методика выбора PDM-системы для предприятия ракетно-космической отрасли // Инновации. – 2011. – № 5. – С. 107 – 114.
5. Sulimova E. A. Digital Enterprise Management Toolkit // Innovations and Investments. – 2023. – № 5. – P. 158 – 160.
6. Sabbella D., Singh A., Maheswari G. U. Artificial Intelligence in 3D CAD Modelling // Proceedings of ic-ETITE-2020. – 2020. – P. 490 – 495.
7. Shreya H. R., Kumar T. Impact of AI Tools and Text-to-3D Generators on Interior Design // Emerging Technologies in Computer Engineering. – 2024. – Vol. 4, № 2. – P. 55 – 63.
8. Lykov A., Daras G., Sidorov V. et al. Industry 6.0: New Generation of Industry Driven by Generative AI // arXiv:2409.10106. – 2024.
9. Zou Q., Sun H., Wang C. и др. Intelligent CAD 2.0 // arXiv:2410.03759. – 2024.
10. Li K.-Y., McCann J., Brophy S. Generative AI and CAD Automation for Automotive Wheel Design // Research Square. – 2024. – DOI 10.21203/rs.3.rs-1234567.
11. Yeslam H., Maltzahn N., Nassar H. AI in CAD/CAM-based Restorative Dentistry: Review // PeerJ. – 2024. – Vol. 12. – e17793. – DOI 10.7717/peerj.17793.

12. Shi H. Research on Artificial Intelligence in CAD Systems // *Applied and Computational Engineering*. – 2024. – Vol. 106. – P. 131 – 136.
13. Халиулин Р. А. Цифровые двойники как инструмент мониторинга производственных процессов в Индустрии 4.0 // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 45 – 50.
14. Matenga A. E., Mporfu K. Blockchain-based Product Lifecycle Management using Supply Chain Management for Railcar Remanufacturing // *Procedia CIRP*. – 2023. – Vol. 116. – P. 384 – 389. – DOI 10.1016/j.procir.2023.02.005.
15. Kasper N., Pfenning M., Eigner M. The Digital Thread for System Lifecycle Management with a Native Graph Database in a Polyglot Architecture // *Proceedings of the Design Society*. – 2023. – Vol. 3. – P. 135 – 144. – DOI 10.1017/pds.2023.14.
16. Torres-Sánchez R., Heredia-Jara J., Jiménez C. et al. Challenges and Opportunities in Product Lifecycle Management in the Context of Industry 4.0 // *Procedia CIRP*. – 2023. – Vol. 119. – P. 29 – 34. – DOI 10.1016/j.procir.2023.04.005.
17. Hansen P., Mayer F., Stock T. и et al. Sustainable PLM: Implementation of a Digital Twin of a Biologically Transformed Product-Ecosystem // *Procedia CIRP*. – 2024. – Vol. 120. – P. 30 – 35. – DOI 10.1016/j.procir.2024.05.006.
18. Ngueutsa R., Benayache N. Digital Twin and Digital Thread within Product Lifecycle Management // *Procedia Computer Science*. – 2024. – Vol. 234. – P. 2223 – 2231. – DOI 10.1016/j.procs.2024.04.256.
19. Jagusch A., Steinhilper R., Trappey A. J. C. et al. Conceptualizing the Digital Thread for Smart Manufacturing: A Systematic Review // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2024. – Vol. 35, № 6. – P. 1651 – 1683. – DOI 10.1007/s10845-024-02407-1.

20. Sgarzi F., Bertoni A., Larsson T. Methodologies for the Lifecycle Management of Smart PSSs // *Procedia CIRP*. – 2024. – Vol. 121. – P. 88 – 94. – DOI 10.1016/j.procir.2024.06.011.
21. Gutiérrez C., Rodríguez-Espíndola O. Blockchain Adoption in PLM: Challenges and Potential Directions // *Procedia CIRP*. – 2023. – Vol. 120. – P. 112 – 118. – DOI 10.1016/j.procir.2023.05.020.
22. Romero V., Pinquie R., Noël F. An Immersive Virtual Environment for Reviewing Model-Centric Designs // *Proceedings of the Design Society – ICED 21*. – 2021. – P. 447 – 456. – DOI 10.1017/pds.2021.45.
23. Di Vaio A., Varriale L. From Traditional PLM Systems to Blockchain-Based Platforms // *Technologies*. – 2020. – Vol. 8, № 4. – Art. 40. – DOI 10.3390/technologies8040040.
24. Lindström J., Wikner A., Johansson C. et al. Extending Product Lifecycles: Emerging Existential Design Aspects // *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14, № 13. – Art. 5812. – DOI 10.3390/app14135812.
25. Kyösti P., Partanen J., Mäkelä A. et al. Classification of 3D Casting Models for PLM // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, № 17. – Art. 12683. – DOI 10.3390/su151712683.
26. Kozlov A., Sas D., Aldea M. et al. Industry 4.0 Technologies for Sustainable Asset Life-Cycle Management // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, № 7. – Art. 5833. – DOI 10.3390/su15075833.
27. de Oliveira A. F., Ferretti I., Massaroni V. et al. A Systemic Approach to the Product Life Cycle for the Circular Economy // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, № 10. – Art. 4207. – DOI 10.3390/su16104207.
28. Lindahl M., Malmqvist J., Tingström J. et al. CAD-Integrated Life-Cycle Assessment in Product Development // *Design Engineering Conference Proceedings*. – 2022. – P. 211 – 219.
29. Rodrigues A. P., Gaspar F., Pigosso D. et al. Incorporating Sustainability into PLM: A Systematic Literature Review // *Proceedings of the Design Society*. – 2023. – Vol. 3. – P. 2597 – 2606. – DOI 10.1017/pds.2023.259.

30. Kasper N., Bilalić M., Thobias Z. et al. Graph-Based Information Management for Retrofitting Long-Living Assets // *Data-Centric Engineering*. – 2024. – Vol. 5. – E8. – DOI 10.1017/dce.2024.8.
31. Bissay A., Pernelle P., Lefebvre A., Bouras A. Business-Process Integration and Performance Indicators in PLM // *International Journal of Product Lifecycle Management*. – 2010. – Vol. 5, № 2. – P. 140 – 155. – DOI 10.1504/IJPLM.2010.034275.
32. Manakitsirisuthi T., Ouzrout Y., Bouras A. A Multi-Agent System for Managing Product Lifecycle Sustainability // *International Journal of Product Lifecycle Management*. – 2019. – Vol. 12, № 3. – P. 195 – 214. – DOI 10.1504/IJPLM.2019.102121.
33. Ivanov D. V., Sandler I. L., Yakoub Z. et al. Instrumental-Variable Method for Identification of PMSM by Noisy Data // *Proceedings of the 4th International Conference SUMMA-2022*. – 2022. – P. 138 – 142.
34. Mamchur D., Husach S. An Analysis on Induction-Motor Reliability and Lifetime Estimation // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2020. – Vol. 97, № 12. – P. 218 – 221.
35. Kim J., Lee S. B. Detection of High-Resistance Contacts in the Electrical Distribution System during the Induction-Motor Starting Transient // *IEEE Transactions on Energy Conversion*. – 2024. – Vol. 39, № 4. – P. 2480 – 2489. – DOI 10.1109/TEC.2024.3418853.
36. Байдюк М. А., Константинов К. В. Методы диагностики обмотки статора асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2023. – Т. 16, № 8. – С. 87 – 98.
37. Dybkowski M., Majdański P. Induction-Motor Stator Faults Identification Using Modified MRAS-Type Estimator // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2023. – Vol. 99, № 5. – P. 214 – 219.
38. Альтшуллер Г. С. Найти идею: введение в ТРИЗ. – 11-е изд. – М. : Альпина, 2024. – 409 с.

39. Карлов А. Г., Шпаковский Н. А. Особенности алгоритмов решения изобретательских задач и софта OTSM-TRIZ // Automation and Measurement... – 2018. – № 4. – С. 3 – 16.
40. Энгельмейер П. К. Теория творчества. – М. : Либроком, 2021. – 208 с.
41. Энгельмейер П. К. Философия техники. – СПб. : Лань, 2013. – 93 с.
42. Асмолов А. Г., Шехтер Е. Д., Черноризов А. М. Преадаптация к неопределённости как стратегия навигации развивающихся систем // Вопросы психологии. – 2017. – № 4. – С. 3 – 26.
43. Асмолов А. Г., Шехтер Е. Д., Черноризов А. М. Парадокс сосуществования адаптации и преадаптации // Вопросы психологии. – 2021. – Т. 67, № 4. – С. 3 – 20.
44. Cattani G. Technological Pre-adaptation, Speciation and Emergence of New Technologies // Industrial and Corporate Change. – 2006. – Vol. 15, № 2. – P. 285 – 318.
45. Dew N. Pre-adaptation, Exaptation and Technology Speciation: A Comment on Cattani // Industrial and Corporate Change. – 2006. – Vol. 16, № 1. – P. 155 – 160.
46. Jiyong K., Jeong D., Lee J.-D. Veiled Effort of Technological Innovation: Pre-adaptation. – SSRN, 2024. – DOI 10.2139/ssrn.4901272.
47. He Y., Lee J.-D., Lee S. Innovation Beyond Intention: Harnessing Exaptation for Technological Breakthroughs. – SSRN, 2024. – DOI 10.2139/ssrn.5043999.
48. Muthirayan D., Khargonekar P. Cognitive Pre-adaptation for Resilient Adaptive Control // AIAA Scitech Forum-2021. – 2020. – DOI 10.48550/arXiv.2010.13205.
49. Ardila A. The Evolutionary Concept of “Preadaptation” Applied to Cognitive Neurosciences // Frontiers in Neuroscience. – 2016. – Vol. 10. – Art. 103.

50. Schoenfeld A. Polya, Problem Solving, and Education // Mathematics Magazine. – 1987. – Vol. 60, № 5. – P. 283 – 291.
51. Ахмедьянова Г. Ф., Пищухин А. М. Онтологический анализ проекта передовой инженерной школы // Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 299 – 309.
52. Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология: курс лекций. – 3-е изд. – М. : Студия Артемия Лебедева, 2014. – 468 с.
53. Пирс Ч. С. Что такое знак? // Вестник ТГУ. Философия. Социология. Политология. – 2009. – № 3 (7). – С. 88 – 95.
54. Пудовкин Ю. А., Черняков А. А. Теория органопроекции Эрнста Каппа в осмыслении современной техники // Вестник СГУПС: Гуманитарные исследования. – 2017. – № 2. – С. 19 – 23.
55. Дессауэр Ф. Человек и космос. Опыт. Спор о технике : монография / пер. с нем. А. Ю. Нестерова. – Самара : Мудрая черепаха, 2024. – 340 с.
56. Нестеров А. Ю. Онтологический плюрализм Ф. Дессауэра // Вестник ТГУ. Философия. Социология. Политология. – 2023. – № 71. – С. 119 – 127.
57. Иващенко А. В., Терехин М. А., Нестеров А. Ю. Концептуализация междисциплинарной инженерной деятельности // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 1. – С. 117 – 128. – DOI 10.25198/2077-7175-2025-1-117.
58. Патент № 225596 U1 Российская Федерация, МПК А61В 5/02, А61В 5/1455. Цифровой пульсоксиметр : № 2023135918 ; заявл. 28.12.2023 ; опубл. 25.04.2024 / А. А. Гаранин, А. В. Колсанов, М. А. Терехин и др. ; заявитель ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава РФ. – EDN AQZHPC.
59. Иващенко А. В., Терехин М. А., Болвашенков И. В., Машков К. К. Развитие инженерного творчества при разработке инновационной

медицинской техники // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. ст. XXIV МНТК, Пенза, 22–23 нояб. 2024 г. – Пенза : ПГУ, 2024. – С. 286 – 291. – EDN NIOYRW.

60. Greeno J. G. Gibson's Affordances // *Psychological Review*. – 1994. – Vol. 101, № 2. – P. 336 – 342.

61. Heras-Escribano M. *The Philosophy of Affordances*. – Cham : Palgrave Macmillan, 2019. – 232 p.

62. Norman D. A. *The Design of Everyday Things*. – Rev. ed. – New York : Basic Books, 2013. – 368 p.

63. Matei S. A. What is Affordance Theory? // arXiv:2003.02307. – 2020.

64. Kannengiesser U., Gero J. S. A Process Framework of Affordances in Design // *Design Issues*. – 2012. – Vol. 28, № 4. – P. 50 – 62.

65. Harwood S. A., Hafezie N. Affordance – what does this mean? // *Proceedings of UKAIS*. – 2017. – P. 1 – 13.

66. Mangalam M., Gladman J., Wilcox R. et al. *The Modern Legacy of Gibson's Affordances*. – New York : Routledge, 2024. – 312 p.

67. Alshawmar M. A., Abedin B. Affordances in m-Health Apps // *Proceedings of HICSS-54*. – 2021. – P. 1 – 10.

68. Pozzi G., Pigni F., Vitari C. Affordance Theory in Information Systems: Review and Research Agenda // *AMCIS-2014 Proceedings*. – 2014. – P. 1 – 10.

69. Wang H.-F., Johnson B., Lu Y. и др. Affordance Theory: A Review and Future Directions // *Advances in Ergonomics*. – 2018. – Vol. 606. – P. 3 – 15.

70. Hirota R., Nakamura M., Shibata T. Category-Theoretic Approach to Affordances. – 2024. – arXiv:2404.12345.

71. Lanamäki A., Thapa D., Constantinides P. Four Stances of Affordance // *Proceedings of ICIS*. – 2016. – P. 1 – 17.

72. Masoudi N., Maier J. R. A., Fadel G. M. Affordance-Based Design and Usability Assessment // *Design Studies*. – 2019. – Vol. 63. – P. 1 – 38.

73. Maier J. R. A., Fadel G. M. Affordance-Based Design Methods // ASME Journal of Mechanical Design. – 2009. – Vol. 131. – P. 1 – 10.
74. Vyas D., Chisalita C. M., van der Veer G. C. Affordance in Interaction // Proceedings of OzCHI-2006. – 2006. – P. 29 – 36.
75. Grabner H., Gall J., Van Gool L. What Makes a Chair a Chair? // Proceedings of CVPR-2011. – 2011. – P. 1529 – 1536.
76. Liao Y.-C., Xiang L., Holz C. et al. Reinforcement-Learning Perspective on Affordances // Proceedings of CHI-2022. – 2022. – P. 1 – 17.
77. Liao Y.-C., Holz C. Affordance & Computational Rationality // Proceedings of CHI-2025. – 2025. – P. 1 – 15.
78. Zhu D., Kohls C. A Pattern Language for Creative Affordances // Proceedings of EuroPLoP-2024. – 2024. – P. 1 – 17.
79. Lindstrand F. A Semiotic and Design-Oriented Approach to Affordance // Design and Culture. – 2021. – Vol. 13, № 3. – P. 339 – 360.
80. Богомолова И. С. Дизайн-мышление: от названия к сути метода // Архитектура и современные ИТ. – 2023. – № 4 (65). – С. 92 – 102.
81. Васильева Е. В., Точилкина Т. Е. Синергия подходов дизайн-мышления и процессной трансформации // Управление. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 83 – 93.
82. Собиров Б. Ш. Дизайн и бизнес в цифровом мире // Эргодизайн. – 2022. – № 1 (15). – С. 14 – 23.
83. Кузьминов Я., Кручинская Е. Потенциал генеративного ИИ для решения профессиональных задач // Форсайт. – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 67 – 76.
84. Norenkov I. P. Основы автоматизированного проектирования. – 4-е изд. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 433 с.
85. Liu P., Yuan L., Fu J. et al. Pre-Train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods // arXiv:2107.13586. – 2021.

86. Karelov S. V. The “Goodhart’s Trap” for AGI: Problem of Comparative Analysis of Artificial and Human Intelligence // Proceedings of the Institute of Psychology RAS. – 2023. – Vol. 3, № 3. – P. 5 – 22.
87. Bubeck S., Chandrasekaran V., Eldan R. et al. Sparks of Artificial General Intelligence: Early Experiments with GPT-4 // arXiv:2303.12712. – 2023.
88. Alexeeva L. G., Alekseev P. S. Язык промптов: особенности формулирования запросов к генеративным нейросетям // Verba. – 2024. – № 3 (13). – С. 50 – 61.
89. Sokolova M. E. ChatGPT и промпт-инжиниринг: перспективы внедрения генеративных нейросетей в науке // Научно-исследовательские исследования. – 2024. – № 1. – С. 92 – 109.
90. Leshkevich T. G. Проблема субъектности нейросетей: humans и non-humans // Философия науки и техники. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 125 – 135.
91. Leshkevich T. G. Субъектоподобные качества ИИ // Вопросы философии. – 2025. – № 4. – С. 39 – 47.
92. Mikhnenko P. A. Профессиональная коммуникация с генеративным ИИ: тенденция или «мимолётное явление»? // Цифровая экономика. – 2023. – № 4 (25). – С. 5 – 18.
93. Russell S., Norvig P. Искусственный интеллект: современный подход. – 4-е изд. – Хобокен : Пирсон, 2021. – 1409 с.
94. Soroush M., Zeng Y. EEG-Based Study of Design Creativity // Frontiers in Behavioral Neuroscience. – 2024. – Vol. 18. – Art. 123456.
95. Gopan G., Shankaran P., Nair R. et al. Single-Channel EEG and Visual Creativity // Biomedical Signal Processing and Control. – 2022. – Vol. 77. – Art. 103744.
96. Balters S., Dilnot C., Jagtap S. et al. Design Neuro-cognition: A Systematic Review // Design Studies. – 2022. – Vol. 77. – P. 101 – 141.
97. Yang X., Huang G., Chen N. et al. EEG Feedback and Creativity in VR Design // Computers in Human Behavior. – 2019. – Vol. 92. – P. 85 – 94.

98. Cao J., Wu S., Zhao Z. et al. EEG Analysis to Explore Design Fixation // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2021. – Art. 5576321.
99. Hartog T., Jin Y. et al. EEG Neuro-Responses of Engineers during Conceptual Design // ASME DETC. – 2020. – P. 1 – 10.
100. Ahad M. T., Khan M., Rehman Y. et al. EEG and Creativity of Mechanical-Engineering Students // ASME Open Journal of Engineering. – 2023. – Vol. 2. – Art. 021001.
101. Yin Y., Zhang L., Wang J. et al. Artistic and Engineering Mindsets: An EEG Study // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14, № 1. – Art. 11234.
102. Stevens C. Creativity Comes in Waves // Current Opinion in Behavioral Sciences. – 2019. – Vol. 27. – P. 154 – 161.
103. Wang M., Zhao K., Zhou X. et al. Neuro-cognition of Design Creativity // Design Computing and Cognition (DCC'24). – 2024. – P. 1 – 18.
104. Jaarsveld S., Lachmann T., Hamel R. et al. Intelligence in Creative Processes – A Psychometric EEG Study // Intelligence. – 2015. – Vol. 49. – P. 171 – 180.
105. Boehmke B., Greenwell B. Hands-On Machine Learning with R. – Boca Raton : Chapman & Hall, 2019. – 412 p.
106. Friedman J. H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine // Annals of Statistics. – 2001. – Vol. 29, № 5. – P. 1189 – 1232.
107. Schapire R. E., Freund Y. Boosting: Foundations and Algorithms. – Cambridge : MIT Press, 2012. – 541 p.

Приложение А Акты внедрения результатов диссертации



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,

д.м.н., профессор

И.Л. Давыдкин

« 2025

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Терехина Михаила Александровича, посвященной разработке информационных технологий поддержки кооперативного инженерного мышления при организации научно-технической деятельности на промышленном предприятии и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – Информатика и информационные процессы

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Терехина Михаила Александровича, посвященной разработке информационных технологий поддержки кооперативного инженерного мышления при организации научно-технической деятельности на промышленном предприятии, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – Информатика и информационные процессы внедрены в Технопарке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Разработанные в диссертации формально-логическая модель и роботизированный ассистент инженерного творчества используется при осуществлении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на изобретение и производство высокотехнологичных медицинских изделий.

Роботизированный ассистент инженерного творчества в том числе применялся при разработке диагностического медицинского прибора «Цифровой пульсоксиметр» (патент на полезную модель №RU 225596 U1).

Потенциал использования формально-логических моделей для оптимизации инженерных процессов на промышленных предприятиях, а также в области медицины, подтверждается успешным внедрением и применением разработанных решений в Технопарке и в производственной практике.

Представленные результаты исследования являются перспективными для дальнейшего развития и масштабирования разработанных технологий в промышленном секторе, особенно в области медицинской инженерии. Внедрение роботизированных ассистентов в процесс научно-технической деятельности обеспечивает повышение качества разработки новых медицинских устройств, а также сокращение времени около 20%, необходимого для проектирования и тестирования инновационных решений.

Руководитель Технопарка

Рубцов С.М.

Руководитель проектов

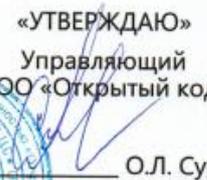
Зайцев Д.Ю.

Рисунок А.1 – Акт внедрения результатов диссертационной работы в ФГБОУ

ВО СамГМУ Минздрава России



Общество с ограниченной ответственностью
«Открытый код»
Ул. Ульяновская 52/55, г.о. Самара, РФ 443001
Тел./факс (846) 331-11-11
E-mail: info@o-code.ru
ИНН/КПП: 6313007301/631501001
ОГРН: 1036300222100

«УТВЕРЖДАЮ»
Управляющий
ООО «Открытый код»

О.Л. Сурнин

«01» 2025 г.

Акт внедрения результатов диссертации Терехина Михаила Александровича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы, выполненной на тему «Информационные технологии аннотирования инженерных данных в интеллектуальной информационной среде предприятия»

Комиссия в составе председателя – директора по науке, д.т.н., доцента О.К. Головнина – и членов комиссии: заместителя технического директора по направлению инжиниринга электронных компонентов искусственного интеллекта, к.т.н. В.В. Авсиевича, руководителя проектов, к.т.н., доцента А.В. Авсиевича, настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационной работы Терехина Михаила Александровича, посвященной разработке информационных технологий аннотирования инженерных данных в интеллектуальной информационной среде предприятия, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы, внедрены в ООО «Открытый код».

Разработанные в рамках диссертационного исследования формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности на основе аффордансов, а также технология промпт-инжиниринга для междисциплинарной инженерной деятельности внедрены в практику выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ориентированных на разработку и производство программно-аппаратных комплексов и приборов.

Практическая реализация предложенного метода группировки и аннотирования инженерных данных с использованием аффордансного описания, онтологии пользователей и атрибутивного представления проектных объектов в PDM-среде обеспечила повышение согласованности

Рисунок А.2 – Акт внедрения результатов диссертационной работы в ООО «Открытый код»

информационных объектов на различных уровнях проектирования и позволила усовершенствовать процессы повторного использования результатов инженерной деятельности. Эффективность применения формально-логической модели, алгоритмов и системы поддержки принятия решений подтверждена результатами апробации в производственных контурах и в инновационных разработках.

Интеграция естественного и искусственного интеллекта, реализованная посредством промпт-инжиниринга и эмиссии аффордансов, позволила повысить эффективность человеко-компьютерного взаимодействия при решении задач автоматизированного проектирования и поискового конструирования, а также уменьшить время человеко-компьютерного взаимодействия в процессе проектирования и экспериментальной отработки технических решений не менее, чем на 22,6%. Полученные результаты демонстрируют потенциал масштабирования разработанных подходов в сфере приборостроения и смежных отраслях промышленности.

Председатель

Директор по науке,
д.т.н., доцент

О.К. Головнин

Члены комиссии:

Заместитель технического директора
по направлению инжиниринга
электронных компонентов
искусственного интеллекта, к.т.н.

В.В. Авсиевич

Руководитель проектов,
к.т.н., доцент

А.В. Авсиевич

Рисунок А.3 – Акт внедрения результатов диссертационной работы в
ООО «Открытый код» (продолжение)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет»

К.т.н., доцент О.А. Гольшевский
20.05.2025



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы
Терехина Михаила Александровича

Комиссия в составе:

председатель комиссии – к.т.н., доцент Сёмочкина И.Ю. – начальник учебно-методического управления ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

члены комиссии:

к.т.н., доцент Мартышкин А.И. – декан факультета автоматизированных информационных технологий ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

д.т.н., профессор Бодин О.Н. – заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

к.т.н., профессор Бершадская Е.Г. – профессор кафедры «Программирование» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Терехин М.А. на тему «Информационные технологии аннотирования инженерных данных в интеллектуальной информационной среде предприятия», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в учебный процесс кафедры «Программирование» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

Автором получены новые научные результаты:

1. Предложена формально-логическая модель представления результатов инженерной деятельности, отличающаяся от аналогов описанием вариантов их применения в виде аффордансов и позволяющая задать свойства преадаптации и коадаптации технических решений, способствующих повторному использованию.

Рисунок А.4 – Акт внедрения результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

2. Разработан метод группировки и аннотирования инженерных данных, отличающийся от аналогов правилом разметки документации и ведением библиотеки на основе аффордансов, а также учётом онтологии пользователей и позволяющий сократить не менее, чем на 71,6% объём терминов, и использовать их при генерации новых технических решений.

3. Разработана технология промпт-инжиниринга в рамках междисциплинарной инженерной деятельности, реализующая эмиссию аффордансов и позволяющая сократить не менее, чем на 22,6% время человеко-компьютерного взаимодействия.

4. Разработаны алгоритмы и информационная система поддержки принятия решений в области аннотирования инженерных данных и конструкторско-технологической подготовки производства, отличающиеся:

- интеграцией естественного и искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования и поискового конструирования;
 - использованием промпт-инжиниринга как основы взаимодействия;
 - согласованием информационных объектов на разных уровнях проектирования;
 - применением аффордансов для связи параметров и моделей;
 - атрибутивным описанием проектных объектов в PDM-системе;
- и позволяющие снизить трудоемкость разработки новых технических решений с использованием больших языковых моделей.

Указанные результаты внедрены в учебный процесс кафедры «Программирование» по направлению подготовки 09.04.04 «Программная инженерия» (направленность «Программно-алгоритмическое обеспечение систем искусственного интеллекта») при проведении занятий по дисциплине «Методы машинного обучения».

Внедрение полученных автором научных результатов позволило повысить качество учебного процесса.

Председатель комиссии

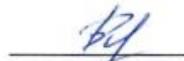


И.Ю. Семочкина

Члены комиссии



А.И. Мартышкин



О.Н. Бодин



Е.Г. Бершадская

Рисунок А.5 – Акт внедрения результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
(продолжение)

Приложение Б Результаты интеллектуальной деятельности (РИД),
полученные в ходе исследования

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2025662100

Программный модуль окулографии

Правообладатель: *Терехин Михаил Александрович (RU)*

Автор(ы): *Терехин Михаил Александрович (RU)*

Заявка № **2025660400**
Дата поступления **01 мая 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **16 мая 2025 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 0492e7e1a63006b5442601670bca2024
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Рисунок Б.1 – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ
«Программный модуль окулографии»



Рисунок Б.2 – Патент на полезную модель «Цифровой пульсоксиметр»