

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)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» на кафедре информационных технологий и систем и федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, в Передовой медицинской инженерной школе

Научный руководитель: **Ивашенко Антон Владимирович**,
доктор технических наук, профессор, директор Передовой медицинской инженерной школы ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, г. Самара

Официальные оппоненты: **Рындин Никита Александрович**,
доктор технических наук, доцент
профессор кафедры искусственного интеллекта и цифровых технологий ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", г. Воронеж

Мыльников Леонид Александрович
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры информационных технологий в бизнесе НИУ ВШЭ - Пермь, г. Пермь

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград

Защита диссертации состоится 27 мая 2026 года в 11:00 часов, на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.113.02 на базе ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал. С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», на сайте <http://rsreu.ru/>, в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» и на сайте <http://www.penzgtu.ru>.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



А.Н. Колесенков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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. Mrofu, 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 учебном процессе 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 конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (Пенза, 2025), XXIV Международной научно-технической конференции «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 опубликовано 27 печатных научных работ, 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определена цель и задачи работы, определены предмет, объект и методы

исследования, отражена научная новизна и практическая значимость, сформированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор и анализ информационных технологий поддержки инженерной деятельности. Проведённый анализ современных информационных технологий показал, что эволюция средств поддержки инженерной деятельности характеризуется переходом от документоориентированных систем инженерной поддержки изделий к графоориентированным платформам управления жизненным циклом, 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 промпт-ориентированному взаимодействию с LLM-ассистентами обуславливает перераспределение ответственности между человеком, формулирующим семантику, и машиной, генерирующей проектные варианты. При этом стандартизированные процедуры интеграции компонентов искусственного интеллекта (ИИ) в корпоративную информационную систему поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства в настоящее время отсутствуют.

Во второй главе описаны модель, метод и технология представления и аннотирования результатов инженерной деятельности. В рамках решения задачи разработки роботизированного ассистента инженерного творчества была построена формально-логическая модель, которая 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:

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

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:

$$a_{i,j,n,m}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m) = \{0, 1\}, \quad (2)$$

где g_m - цель или показатель назначения (goal), $a_{i,j,n,m}$ - Булева функция, принимающая значение «1» в случае достижения показателя 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 $\{g_{m^*}\}$:

$$\exists d_{i,j} : \sum_{m^*} g_{m^*} \left(\sum_{n,m} \delta(g_m = g_{m^*}) \cdot (1 - a_{i,j,n,m}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m)) \right) \rightarrow 0, \quad (3)$$

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

Можно заметить, что росту количества аффордансов при этом способствует увеличение количества или расширение онтологий Ω_n . 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:

$$e_{x,y,z}(u_x, g_y, t_{x,y,z}) = \{0, 1\}, \quad (4)$$

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:

$$\Omega_n : \{ \varepsilon_{n,y^*,z^*}(g'_{n,y^*}, \Delta t_{n,z^*}) \}. \quad (5)$$

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

$$F(u_x, \Omega_n) = \sum_{x,y,z} \sum_{n,y^*,z^*} e_{x,y,z}(u_x, g_y, t_{x,y,z}) \cdot \varepsilon_{n,y^*,z^*}(g'_{n,y^*}, \Delta t_{n,z^*}) \cdot \delta(g_y \in g_{n,y^*} \pm \mathcal{G}) \cdot \delta(t_{x,y,z} \in [t_n^0, t_n^0 + \Delta t_{n,z^*}]) \rightarrow \max, \quad (6)$$

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

Критерий (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.

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

$$\forall c_i \exists \{s_{i,j,l}\} \cup \Omega_n : \forall g_{m+1} : a_{i,j,n,m+1}(d_{i,j}, \Omega_n, g_m) = 1. \quad (7)$$

Данное требование исполнимо благодаря возможности экзаптации или коадаптации инженерных решений $d_{i,j}$. Экзаптация 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.

Исходя из выражений (1) – (6), этому решению будет скорее соответствовать максимум аффордансов в каждом новом дизайн-решении:

$$P(d_{i,j}) = \sum_{m^*,n} a_{i,j,n,m^*}(d_{i,j}, \Omega_n, g_{m^*}) \rightarrow \max. \quad (8)$$

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 $\{g_{m^*}\}$. Сравнимые 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 $\{g_{m^*}\}$.

На основе описанной выше формально-логической модели представления результатов инженерной деятельности был предложен метод аннотирования инженерных данных, отличающийся от аналогов правилом разметки на основе аффордансов. Суть метода состоит в интеграции естественного и искусственного интеллекта на базе общей концепции аффорданса через типологию Ч.С. Пирса «Legisign-Index-Dicisign».

Рассмотрим некоторое сложное техническое устройство как объект, предназначенный для выполнения определённой функции. Назначение данного объекта должно быть известно его пользователю, определяемому как актер-человек. Чтобы обеспечить это требование, объект должен обладать определёнными легко узнаваемыми характеристиками, а субъект должен обладать необходимыми навыками для их распознавания. Согласно классической теории знаков, интерпретантом является более или менее прояснённое значение знака — своего рода форма или идея. В данном контексте, прежде всего, рассматривается назначение объекта. Следовательно, интерпретант представляет собой интерпретацию знака в смысле функциональности устройства, выраженной через аффорданс. Такое интерпретирующее отношение в основном соответствует указанию или индексу.

Вводя цифрового помощника на базе ИИ, предполагаем, что он будет действовать по аналогии с человеком. 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. Исходя из вышеизложенного, аффорданс как конструкция представляет собой абстрактный класс, свойственный различным типам объектов.

Реализация описанной архитектуры возможно с использованием технологий искусственного интеллекта и машинного зрения для анализа проектной документации и трехмерных моделей. 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.

В третьей главе представлена информационная система поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства. Технология промпт-инжиниринга на основе метода разметки и аннотирования технических решений по вариантам использования была реализована в рамках информационной системы поддержки принятия инженерных решений с элементами искусственного интеллекта. Реализация цифрового роботизированного ассистента инженерного творчества представляет собой программный модуль в виде компонента программного обеспечения, интегрированного в систему управления инженерными данными в виде плагина или программного агента.

Предлагаемая архитектура программного решения приведена на Рис. 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.

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. Предложена информационная система, способная выделять аффордансы из CAD-файлов и поддерживать генерацию конструктивных решений на основе промпт-запросов.

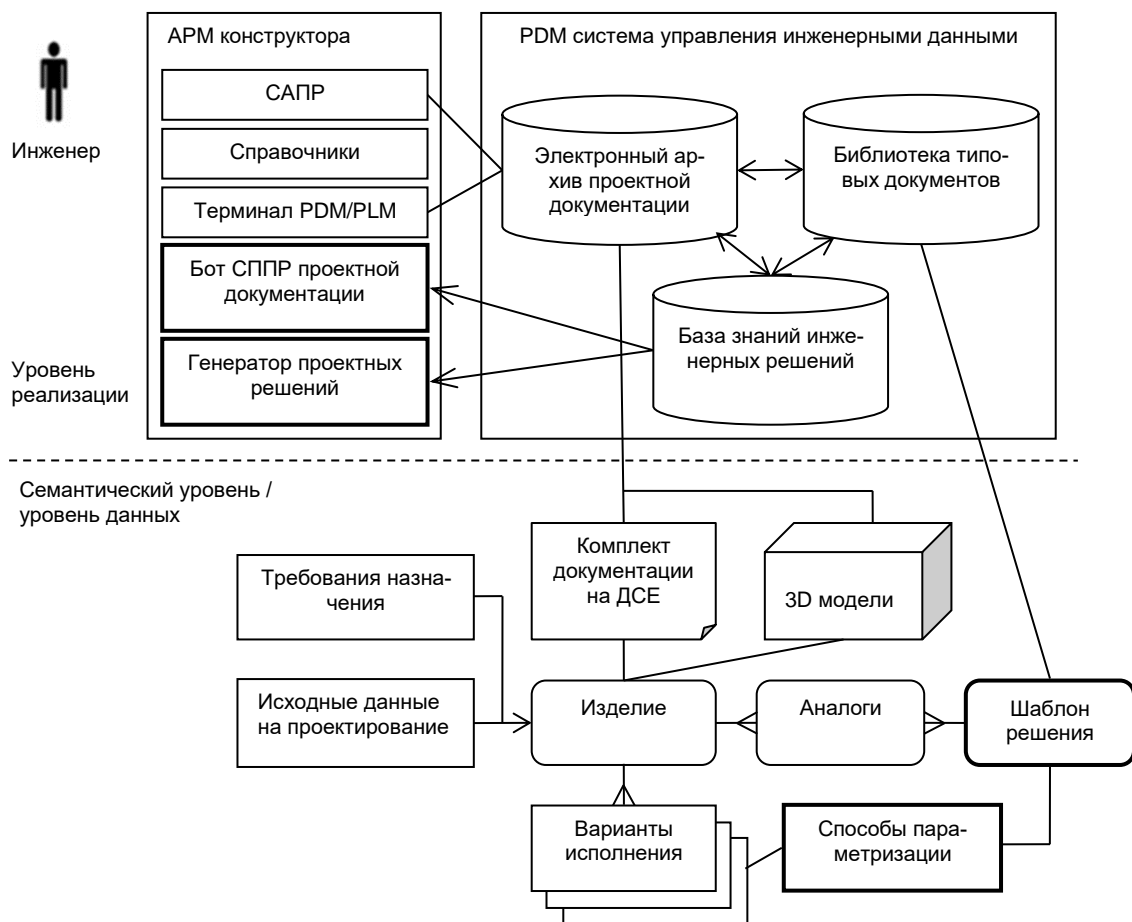


Рис. 1. Архитектура информационной системы поддержки принятия решений в области автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства

Для данной архитектуры была разработана информационно-логическая модель интегрированной информационной среды предприятия, объединяющая естественный и искусственный интеллект на основе предложенной технологии промпт-инжиниринга (см. Рис. 2). Взаимодействие инженера с цифровым ассистентом включает корректное формирование промпт-запросов. 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. В системе управления инженерными данными текущая концепция реализуется атрибутивным описанием частей проекта.

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. Энгельмейера, 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.

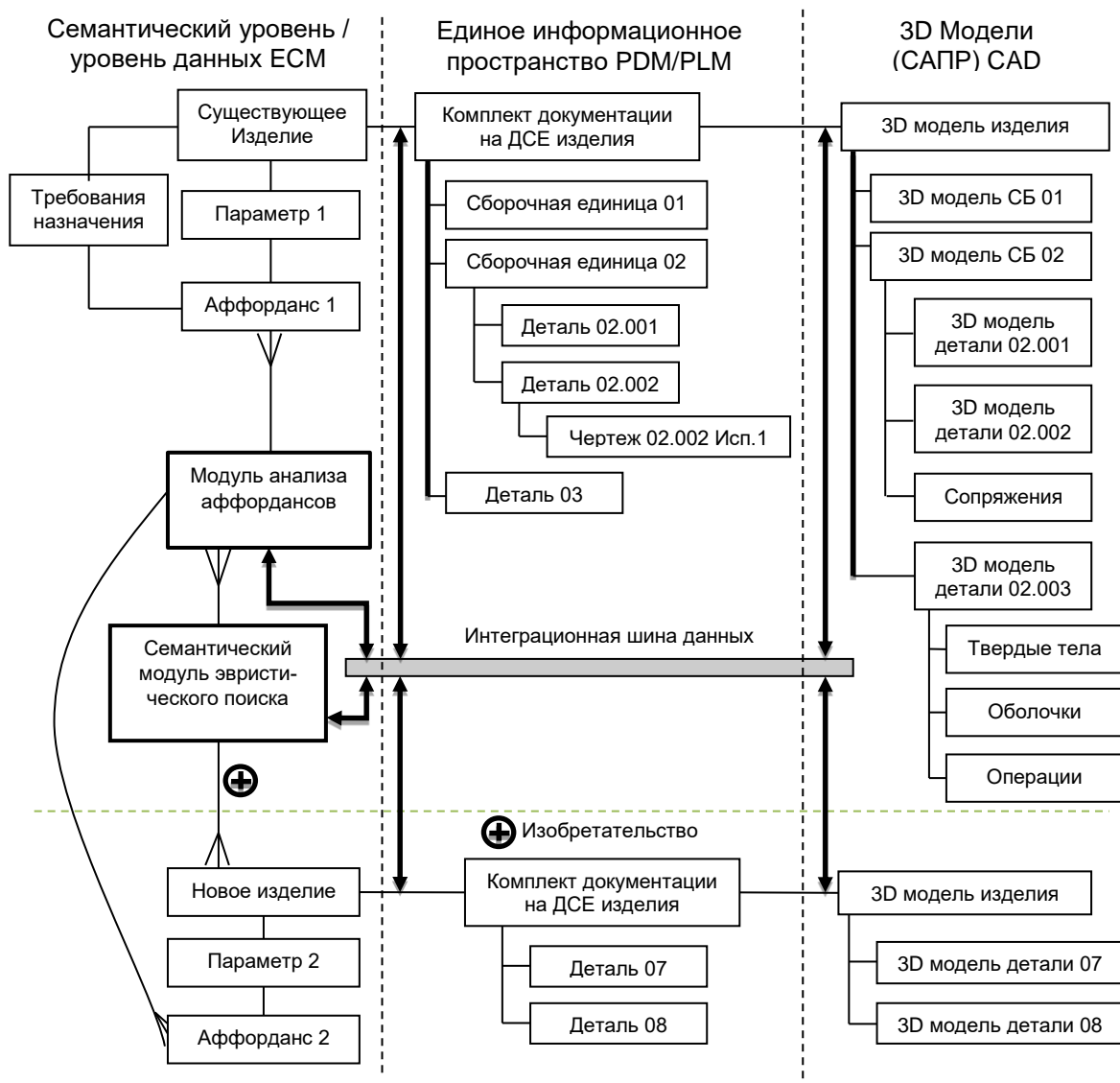


Рис. 2. Информационно-логическая модель интегрированной информационной среды промпт-инжиниринга

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). Для данного обобщенного процесса была проведена оценка вариантов временных затрат на выполнение операций. Результаты 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 на 29%. Данные оценки носят вероятностный характер и специфичны для каждого отдельного проекта.

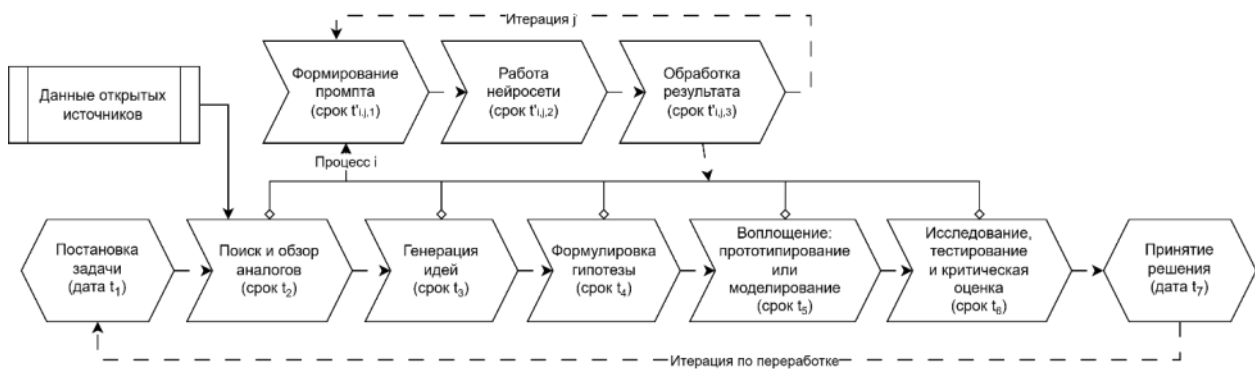


Рис. 3. Интеграция промпт-инжиниринга в цикл инженерного проектирования

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.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований. С целью анализа восприятия аффордансов в разных онтологиях пользователей был проведен эксперимент по решению логических и изобретательских задач под контролем внимания пользователей. Для регистрации зрительной активности пользователей строились тепловые карты с помощью средств окулографии Tobii Eye Tracker 5.

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. 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.

Проведенное исследование показало (см. Рис. 4), 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.

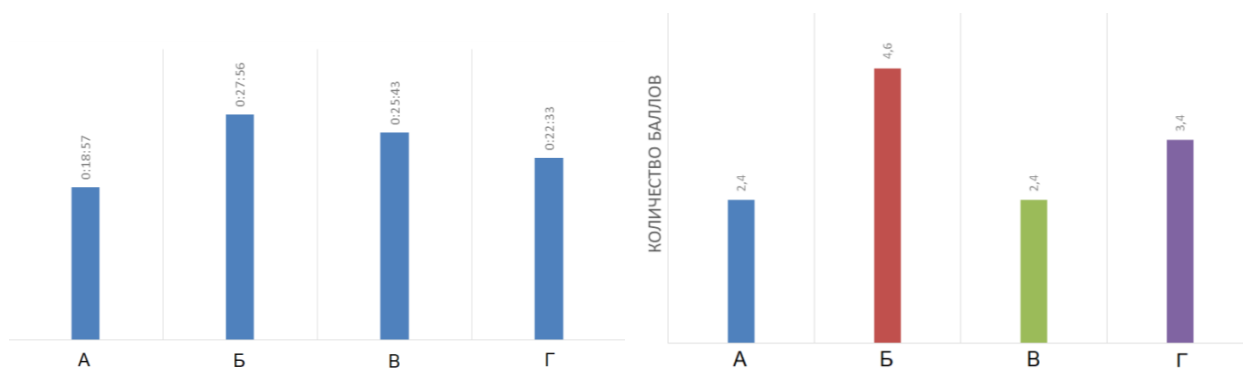


Рис. 4. Результативность решения задач: среднее время и кол-во баллов. А – Контрольная группа технических специалистов; Б – Экспериментальная группа технических специалистов; В – Контрольная группа медицинских специалистов; Г – Экспериментальная группа медицинских специалистов

В рамках исследования процессов восприятия аффордансов был проведён другой 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 (угадать) назначение каждого устройства по фотографии. 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.

Примеры концентрации внимания различных специалистов приведены на Рис. 5. В отдельных случаях эффективность инженера и представителей других специальностей может различаться, однако в целом во всех случаях наблюдается более активная зрительная активность и результативность инженера, что свидетельствует о наличии у него навыка распознавания аффордансов.



Рис. 5. Типичные тепловые карты зрительной активности профессиональных специалистов с различными навыками при решении задачи распознавания назначения устройства. Устройство «Кинокамера»

Результаты экспериментов обобщены на Рис. 6 – 7. Разметка изображений с помощью аффордансов повышает результативность на 17,47% и позволяет снизить время прохождения испытания на 20,5%. Зрительная активность человека при определении назначения изображённого на рисунке технического устройства связана с процессами поиска и распознавания аффордансов, выраженных в форме соответствующих знаков. Искусственная нейронная сеть, обученная на наборе визуальных данных, действует аналогичным образом.

На Рис. 8 представлены результаты решения этих задач несколькими популярными большими языковым моделями LLM ChatGPT 4o, ChatGPT o3, DeepSeek и GigaChat. Таким образом, аффордансы оказываются эффективным инструментом как для разметки обучающих выборок для нейросетей, так и для обучения человека формулировать промпт-запросы.

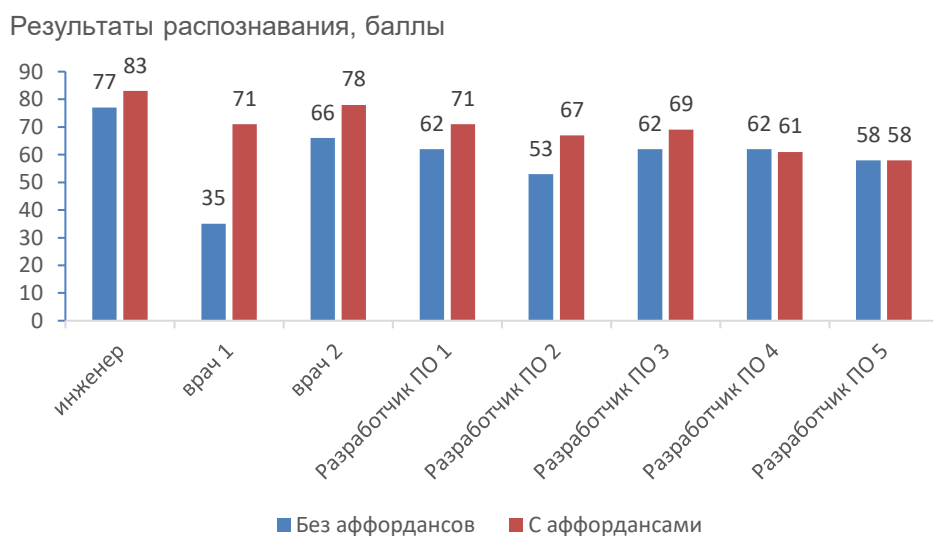


Рис. 6. Результаты распознавания у разных специалистов

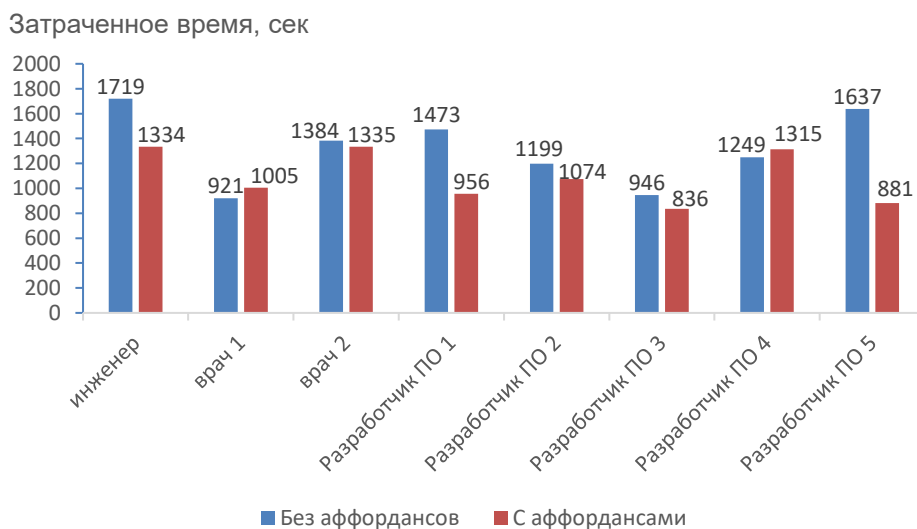


Рис. 7. Затраченное время разных специалистов на распознавание

В результате, 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.

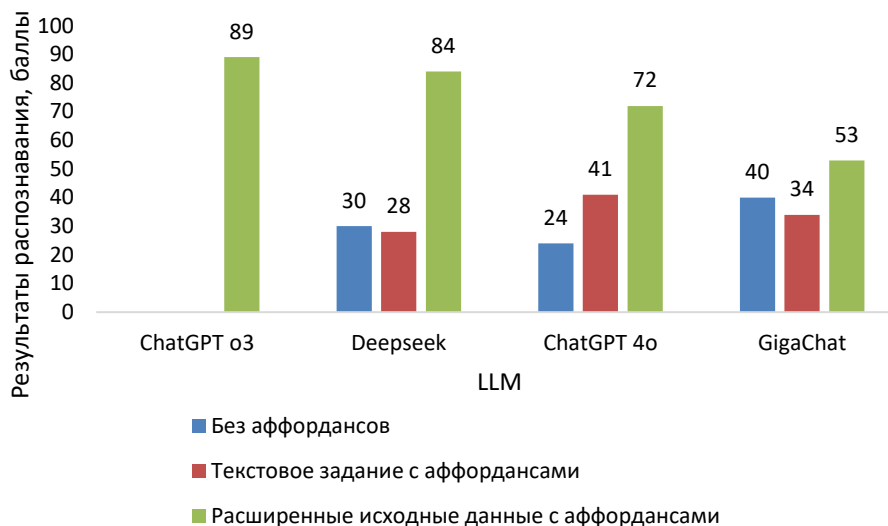


Рис. 8. Результаты распознавания, выполненного генеративным искусственным интеллектом

Проведенное имитационное моделирование, процесса интеграции промпт-инжиниринга в цикл инженерного проектирования (см. рис. 3), 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.

В пятой главе представлены результаты реализации и внедрения информационных технологий интеллектуальной поддержки междисциплинарной инженерной деятельности в области медицинской инженерии. 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.

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.

Аффорданс-анализ может быть проиллюстрирован на примере модернизации цифрового фонендоскопа (см. Рис. 9). Данный фонендоскоп, в отличие от своего предшественника – медицинского стетофонендоскопа, обладает расширенным набором аффордансов, помимо «слушать», появляются аффордансы «записывать», «хранить» и «передать» информацию и «нажимать» на кнопки, осуществляющие озвученный функционал. После проведения анализа был выявлен новый аффорданс «экранировать» и «усиливать» аудиосигнал, затем была проведена переработка дизайн-решения и конструкции устройства.



Рис. 9. Цифровой фонендоскоп: А – Прототип №1 с выносной акустической головкой; Б – Прототип №2 с акустической головкой в составе корпуса; В – Прототип №2 в разрезе

Разработанные в диссертации формально-логическая модель и роботизированный ассистент инженерного творчества использованы 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.

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.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Иващенко А.В., Терехин М.А. Информационные технологии поддержки инженерного мышления в едином информационном пространстве предприятия // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Т. 13. № 4 (68). – 2024. – с. 46 – 54

2. Иващенко А.В., Терехин М.А. Информационная поддержка промпт-инжиниринга на основе эффекта эмиссии аффордансов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Т. 14. № 2 (70). – 2025. – с. 61 – 70

3. Терехин М.А., Иващенко А.В., Кулаков Г.А. Концептуальный подход к интеграции искусственного интеллекта в инженерную деятельность // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – Т. 13. № 2 (49) – 2025. – с. 1 – 14

4. Терехин М.А., Сподобаев И.М., Иващенко А.В. Критерий преадаптации для результатов инженерной деятельности // Международный научно-исследовательский журнал. - № 6 (156). - 2025. – с. 1 – 9

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по другим специальностям

5. Иващенко А.В., Терехин М.А., Нестеров А.Ю. Концептуализация междисциплинарной инженерной деятельности // Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 1. - 2025. - с. 117 – 128

6. Иванов Д.В., Сандлер И.Л., Макаров С.И., Терехин М.А. Исследование влияния величины скорости на идентификацию параметров асинхронных двигателей со скоростной ошибкой, применяемых в АПК // Вестник НГИЭИ. – № 6(157). - 2024. – с. 42 – 55

7. Сандлер И. Л., Рудаков А.А., Колпащиков С.А., Гордеев И.П., Терехин М.А. Моделирование кругового интерполятора, построенного по принципу дифференциальных анализаторов, на базе двухкоординатных следящих электроприводов с шаговым электродвигателем // Электротехника. – № 10. – 2023. – с. 39 – 44

Публикации в изданиях, индексируемых WoS и Scopus

8. Ivaschenko A., Terekhin M., Shirokov I., Ponomarev A., Zarov E. Affordance-based engineering creativity stimuli based on electroencephalography // Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 1559. - Cham: Springer, 2025. – pp. 188 – 198

9. Ivaschenko A., Terekhin M., Portnov A., Golovnin O., Chertykovtseva N. Affordance-based model for prompt engineering creativity support // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Communications in Computer and Information Science, Vol. 2803. - Cham: Springer, 2025. – pp. 107 – 122

10. Terekhin M., Ivaschenko A., Golovnin O., Melnikov D., Chertykovtseva N. Prompt engineering implementation for product data management // Proceedings of the 2025 IEEE XVII International Scientific and Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). – Novosibirsk, 2025. – pp. 1 – 6

11. Ivaschenko A., Nesterov A., Terekhin M. Semiotics of an affordance for creative AI engineering // Visual Reasoning in Science, Engineering, and the Humanities: Proceedings of PCSF 2025. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 1713. – Cham: Springer, 2026. – pp. 39 – 50

12.Ivanov D.V., Sandler I.L., Mitroshin D.I., Terekhin M.A., Antonova V.V. Identification of parameters of induction motor with error of speed sensor // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 2176, No. 1. – 2022. – P. 012027

13.Sandler I.L., Rudakov A.A., Kolpashchikov S.A., Gordeev I.P., Terekhin M.A. Simulation of a circular interpolator developed according to the principle of differential analyzers on the basis of two coordinate electric servo drives with a stepper electric motor // Russian Electrical Engineering. – Vol. 94, No. 10. – 2023. – pp. 736 – 741

14.Ivanov D.V., Sandler I.L., Yakoub Z., Antonova V.V., Terekhin M.A., Bezyazykova L.A. On instrumental variable-based method for identification of permanent magnet synchronous machine by noisy data // 2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – 2022. - pp. 138 – 142

15.Kolpashchikov S.A., Terekhin M.A., Kozlov E.V., Portnov A.A., Kalugin D.S., Surguchev I.V. Simulation model of the hydraulic drive of the rotary column of the robot manipulator // IEEE Proceedings of 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). - 2023. – pp. 1044 – 1048

Статьи и материалы конференций

16.Иващенко А.В., Терехин М.А., Болвашенков И.В., Машков К.К. Развитие инженерного творчества при разработке инновационной медицинской техники // В сборнике: Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике. Сборник статей XXIV Международной научно-технической конференции. Пенза, 2024. - с. 286 – 291

17.Ivashchenko A.V., Terekhin M.A., Melnikov D.A., Ayupov A.D., Radaev D.E. An information system for tracking the process of solving logical problems by the method of oculography // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2025'SCT). – 2025. – pp. 64 – 69

18.Ivashchenko A.V., Terekhin M.A., Shirokov I.A. Digital transformation of project personnel management of the enterprise // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2025'SCT). – 2025. - pp. 159 – 163

19.Терехин М.А., Безъязыкова Л.А. Программная реализация математической модели асинхронного двигателя // Транспортная наука и инновации : Материалы международной научно-практической конференции, Самара, 01–02 июня 2023 г. – с. 305 – 307

20.Терехин М.А., Безъязыкова Л.А. Программная реализация алгоритмов планирования многоуровневой очереди процессов на языке Python // Транспортная наука и инновации : Материалы международной научно-практической конференции, Самара, 01–02 июня 2023 г. – с. 307 – 310

21.Терехин М.А., Безъязыкова Л.А., Сандлер И.Л. Разработка 3D-модели тянущего устройства лабораторной экструзионной линии // XLIX Самарская областная студенческая научная конференция : Тезисы докладов, Самара, 10–21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Эко-Вектор", 2023. – с. 376 – 378

22.Терехин М.А., Рудаков А.А., Зарипов Р.А., Иванов Д.В. Моделирование пневматической принципиальной схемы конвейерной установки для перемещения коробок на макете сортировочной линии // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2023 г. – с. 205 – 210

23.Антонова В.В., Кормаков А.А., Терехин М.А., Бурцева Е.А. Моделирование пневматической системы управления привода кривошипного прессы // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2023 г. - 2023. – с. 138 – 142

24.Сургучев И.В., Терехин М.А., Читоркин Е.Е. Моделирование гидравлической принципиальной схемы привода механизма поворота автомобильного крана // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2022 г. – с. 150 – 155

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

25.Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662100 Российская Федерация. Программный модуль окулографии: заявл. 01.05.2025 : опубл. 16.05.2025 / М. А. Терехин.

26.Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660709 Российская Федерация. Программный модуль контроля давления, прикладываемого захватным устройством к объекту : заявл. 17.04.2025 : опубл. 25.04.2025 / Н. А. Буримский, М. А. Терехин.

Патенты

27.Гаранин А.А., Колсанов А.В., Терехин М.А., Котмышев Е.В., Чаплыгин С.С. Цифровой пульсоксиметр. Патент на полезную модель RU 225596 U1, 25.04.2024. Заявка № 2023135918 от 28.12.2023.

Подписано в печать 25.03.2026.
Формат 60 x 84/16. Бумага ксероксная. Печать оперативная.
Объем – 1,5 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 53

Отпечатано в типографии издательства «Инсома-пресс»
443080, г. Самара, ул. Санфириковой, 95, литер 4, оф. 416,
тел. 8 927 005-93-31, E-mail: insoma@bk.ru