

На правах рукописи



Гурьев Владислав Витальевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ
ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ
ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2025

Работа выполнена на кафедре «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
Садовникова Наталья Петровна.

Официальные оппоненты: **Большаков Александр Афанасьевич,**
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический
Университет Петра Великого», Высшая школа
технологий искусственного интеллекта, профессор.

Сальникова Наталия Анатольевна,
кандидат технических наук, доцент,
Волгоградский институт управления – филиал ФГБОУ
ВО «Российская академия народного хозяйства и
государственной службы при Президенте Российской
Федерации», кафедра «Информационные системы и
математическое моделирование», доцент.

Ведущая организация **ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет "Станкин"»,
г. Москва.**

Защита состоится «25» декабря 2025 г. в 13:30 часов на заседании
диссертационного совета 24.2.282.08, созданного на базе ФГБОУ ВО
«Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400005, г.
Волгоград, пр. Ленина, д. 28, ауд. 209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Волгоградский государственный технический университет» и на официальном
сайте www.vstu.ru по ссылке
<https://www.vstu.ru/upload/iblock/2d7/2d7a345616f035660542ff680021c077.pdf>

Автореферат разослан «24» октября 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Асанова Наталия Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Непрерывный рост сложности и разнообразия программного обеспечения (ПО) обуславливает постоянно растущий интерес к автоматизированным системам, предназначенным для поддержки различных этапов жизненного цикла (ЖЦ) ПО. Программные средства автоматизированной разработки ПО (Computer-Aided Software Engineering, CASE) используются для анализа, проектирования, программирования, тестирования и испытаний, управления работоспособностью ПО. Одним из актуальных направлений исследований в сфере автоматизации разработки ПО является создание специализированных CASE-систем, предназначенных для разработки прикладного ПО определенного вида и назначения.

В настоящее время на рынке ПО наблюдается рост приложений для людей с интеллектуальными нарушениями (ИН). Большая часть таких приложений реализуется на мобильной платформе, т. к. мобильные приложения (МП) простые в освоении и предоставляют широкие возможности для использования “без привязки к месту”.

Разработкой МП для людей с ИН занимаются как специализированные компании, так и специалисты, профессиональная деятельность которых связана с обеспечением качества жизни людей с ИН. Такие специалисты не всегда обладают достаточно высокой квалификацией разработчиков МП, это влияет как на скорость разработки таких приложений, так и на их качество.

Ключевым критерием качества МП для пользователей с ИН является доступность. В соответствии с действующим в настоящее время в РФ ГОСТ (Р52872-2019) разрабатываемое ПО должно обеспечивать доступность для различных категорий пользователей с ограниченными возможностями, в т.ч. для людей с нарушениями ментальной сферы. В то же время по данным Роскачества до 95% разрабатываемых МП не адаптированы для людей с ограниченными возможностями здоровья.

Особенности требований к МП для людей с ИН и специфика их разработки приводят к необходимости выделения таких МП в самостоятельную категорию ПО. Для разработки МП, доступных для пользователей с ИН, требуются специализированные CASE-средства, минимизирующие квалификационные требования к разработчику МП и трудоёмкость их разработки и повышающие при этом качество МП.

Степень разработанности темы. Различные подходы к моделированию ЖЦ ПО рассматриваются в работах М. Hossain, A. Alazzawi, T. Vithani, A. Anandkumar, Е.А. Искра, А. Kaur, К. Kaur, А.А. Вичугова. Разработке моделей и методов автоматизированного проектирования МП посвящены исследования М. Yamin, K. Basel, G. Kapila, A. Dias, L.F. da Silva, P.A Parreira, A.P. Freire, Е.А.Искра, R. Bennett, R. Vijaygopal, P. Korczak, A. Zwierzchowska, A. Alhanouf, A. Khalid., C. Juan, W. Ida, J. Letizia, P. Susanna, C. Stefano, G. Javier, H. Gunnar, M. Henriette. Исследованиями проблем разработки ПО для людей с ИН занимаются J. Dekelver, M. Braun, M. Wölfel, G. Renner, C. Menschik, P. Neumader, K. Miesenberger, T. Murillo-Morales, D. Miraz, M. Ali, P. Excell, О.А. Корнева. Способам обеспечения доступности МП посвящены работы Ballantyne, M. Jha, A. Jacobsen, A. Hawker, J.S. El-Glaly, Y.N. Acosta-Vargas, P. Salvador-Ullauri, L. Jadán-Guerrero, J. Guevara, C. Sanchez-Gordon,

S. Calle-Jimenez, T. Lara-Alvarez, P. Medina, A. Nunes, I.L Choi, H. Park, J.W. Teixeira, P. Eusebio, C. Teixeira, Leonor. Модели, методы и технологии обеспечения доступности МП представлены в работах О. А. Шабалиной, С. Perez, М. Б. Кульцовой, А. С. Поцелуйко, И. Г. Жуковой, Д. С. Матюшечкина.

Объектом исследования является разработка МП для пользователей с ИН.

Предметом исследования являются способы автоматизации проектирования МП для пользователей с ИН.

Методы исследования. В диссертационном исследовании использованы методы автоматизации проектирования, методы моделирования GUI, методы человеко-компьютерного взаимодействия (Human-computer interaction), методы на основе шаблона (Pattern-Based Design), методы итерационного дизайна (Iterative Design), методы ориентированного на пользователя проектирования (User-Centered Design), А/В методы анализа пользовательского опыта и тестирования.

Целью диссертационной работы является повышение качества МП для пользователей с ИН и снижение трудоемкости разработки МП за счет автоматизации проектных и технологических процедур создания адаптируемых интерфейсов и архитектуры МП. Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи:

- 1) провести анализ моделей, методов, технологий автоматизированной разработки МП и возможностей применения существующих решений к разработке МП для пользователей с ИН;
- 2) разработать метод автоматизированного проектирования МП для пользователей с ИН, обеспечивающий сквозную поддержку этапов ЖЦ МП;
- 3) спроектировать и реализовать CASE-систему для поддержки ЖЦ МП;
- 4) провести тестирование CASE-системы и оценить трудоемкость разработки и доступность МП для пользователей с ИН.

Научная новизна заключается в разработке метода автоматизированного проектирования МП для пользователей с ИН, в рамках которого получены следующие новые научные результаты:

- 1) предложена модель ЖЦ МП для пользователей с ИН как нового класса ПО, отличающаяся составом проектных и технологических процедур, обеспечивающих поддержку сквозной разработки этапов «Проектирование – Производство – Эксплуатация» МП для пользователей с ИН (п.10);
- 2) разработан шаблон проектирования МП на основе многомодульной архитектуры, отличающийся слойным делением модулей, что позволяет сократить количество модулей в архитектуре МП и снизить трудоемкость проектирования МП для пользователей с ИН (п.3);
- 3) впервые предложен метод автоматизированного проектирования интерфейсов МП для пользователей с ИН на основе адаптируемых шаблонов, автоматически генерируемых с помощью программно-реализуемой конфигурационной панели, обеспечивающий возможность структурной и параметрической адаптации интерфейсов МП под конечного пользователя с ИН на этапе эксплуатации без изменения программного кода МП (п.3).

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость проведенных исследований заключается в развитии методов автоматизированного проектирования специализированного ПО.

Предложенный подход к автоматизации проектирования МП для пользователей с ИН может быть использован как методологический базис для создания новых моделей и методов проектирования ПО, применимого в разных прикладных областях и для разных категорий пользователей.

Практическая значимость работы заключается в создании CASE-системы, обеспечивающей поддержку разработки МП с адаптируемым интерфейсом, доступных для пользователей с различными возможностями и ограничениями. Апробация системы на разработке МП с адаптируемым интерфейсом показала возможность применения системы в компаниях, занимающихся разработкой адаптируемых МП. Тестирование МП, разработанных в системе и адаптированных под конечных пользователей в Волгоградском психоневрологическом интернате и медицинском центре МРІ Oosterlo (Бельгия) подтвердила возможность использования системы специалистами, профессиональная деятельность которых связана с поддержкой людей с ИН. Система апробирована на кафедре САПР и ПК ВолгГТУ в рамках проведения летней практики студентов 2, 3 курса обучения и реализации выпускных квалификационных работ бакалавров.

Апробация результатов исследования проводилась в период стажировки в университете Томаса Мора, г. Гиль, Бельгия в рамках Международного проекта “Assistive technologies for people with disabilities” по программе Erasmus+ “Mobility projects for higher education students and staff”.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модель ЖЦ МП с расширенным составом этапов и процедур, применяемая для разработки МП для пользователей с ИН.
2. Шаблон проектирования МП с адаптируемым интерфейсом на основе многомодульной шаблонной архитектуры со слойным делением модулей и повторным использованием типовых модулей, сокращающий трудоемкость разработки МП.
3. Метод проектирования интерфейса МП на основе автоматически генерируемых адаптируемых шаблонов, обеспечивающая возможность структурной и параметрической адаптации интерфейса МП без изменения программного кода.
4. CASE-система поддержки ЖЦ МП, реализующая интеграцию методов и технологий разработки МП с адаптируемым интерфейсом.

Апробация. По материалам диссертации опубликовано 11 статей, из них 3 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 4 статьи, зарегистрированные в базах Scopus и Web of Science, 4 публикации в сборниках трудов конференций. Получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Основные положения и материалы диссертационной работы докладывались на III Международной научно-практической конференции “Creativity in Intelligent Technologies and Data Science Third Conference, CIT&DS” в 2019 году, XI Международной конференции “International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications” в 2020 году, V Международной научно-практической конференции “Creativity in Intelligent Technologies and Data Science Conference, CIT&DS” в 2023 году, VIII Всероссийской научной конференции с международным участием “Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы,

методы, решения" в 2025 году, на XXXVIII Международной научной конференции "Cyber-Physical Systems Design And Modelling, CYBERPHY:2025" в 2025 году, на XXXVIII Международной научной конференция "Математические Методы в Технике и Технологиях", ММТТ-38 в 2025 году, на V международной научной конференции "Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине" в 2025 году.

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

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 110 страницах, содержит 48 рисунков и 9 таблиц, включает введение, 4 главы, заключение, список литературы из 139 источников, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы: обоснование актуальности проведенных исследований, описание научной новизны и практической значимости полученных результатов.

В первой главе проведен анализ моделей ЖЦ МП и программных средств поддержки ЖЦ МП, рассмотрены особенности процесса разработки МП для людей с ИН и способы обеспечения доступности МП.

В условиях непрерывного роста сложности и разнообразия ПО эффективность процесса разработки ПО и качество ПО в большой степени зависит от выбора модели ЖЦ ПО. Исследования показывают, что традиционные модели ЖЦ ПО и их методы не могут быть применены непосредственно к разработке МП без существенных изменений. Обоснованием таких заключений являются характеристики, специфичные для разработки МП. Поэтому в современных исследованиях модель ЖЦ МП рассматривается как самостоятельная категория моделей ЖЦ ПО, отличающаяся содержанием и количеством этапов (рисунок 1).

Для поддержки ЖЦ МП применяют различные CASE-средства, отличающиеся назначением и функционалом. На этапе реализации МП применяют MADM системы (Mobile Application Development Management), типовой функционал которых включает конструктор интерфейсов, функции доработки программного кода, публикации обновлений МП. Для администрирования МП, разработанных для использования в различных видах профессиональной деятельности, и управления пользователями таких МП на этапе эксплуатации применяют MAM системы (Mobile Application Management).

Типовой функционал MAM системы: адаптация интерфейса МП под конечного пользователя, управление аккаунтом пользователя, сбор статистики. Разработку МП можно также осуществлять с применением MADP платформ (Mobile Application Development Platform), которые в дополнение к функционалу MADM систем предоставляют определенные функции MAM систем.

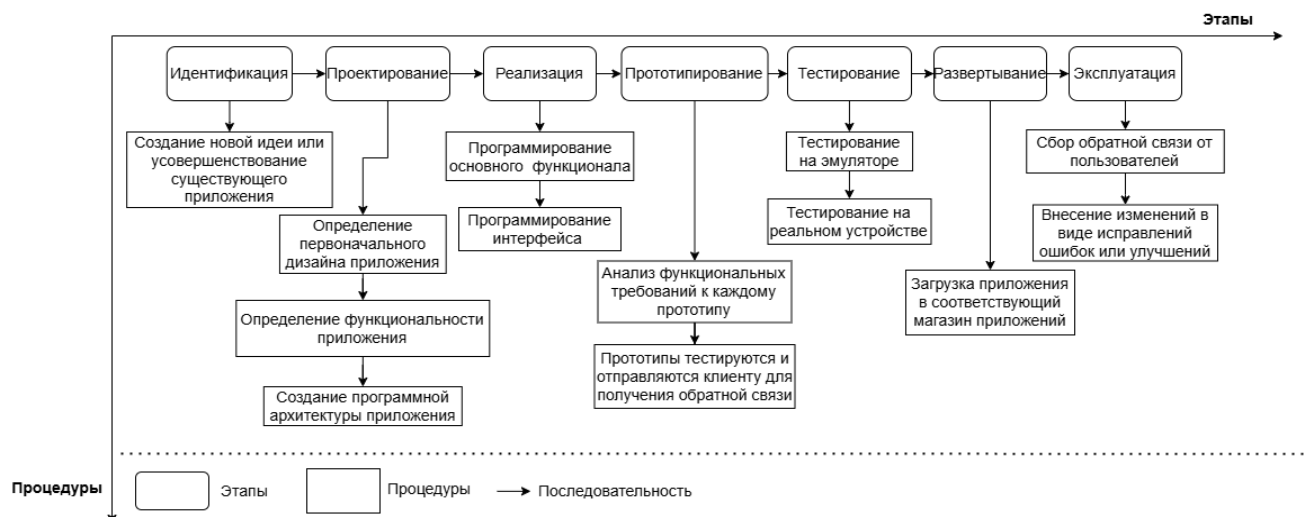


Рисунок 1 – Модель ЖЦ МП

Категории и назначение CASE-средств для поддержки различных этапов ЖЦ МП приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Категории CASE-средств поддержки ЖЦ МП

Средство поддержки	Аббревиатура	Назначение	Этапы ЖЦ МП
Управление разработкой мобильных приложений	Mobile Application Development Management (MADM)	Администрирование МП для использования в различных видах профессиональной деятельности	Реализация, развертывание, эксплуатация
Платформа разработки мобильных приложений	Mobile Application Development Platform (MADP)	Разработка МП	Реализация, развертывание, эксплуатация
Управление мобильными приложениями	Mobile Application Management (MAM)	Контроль доступа к МП	Эксплуатация

Примеры CASE-средств для поддержки различных этапов ЖЦ МП показаны на рисунке 2.

Большая часть средств поддержки ЖЦ МП, применяемых при разработке МП, поддерживают один из этапов ЖЦ (реализация или эксплуатация), выполнение остальных этапов ЖЦ реализуется в других системах или программах. Ряд средств поддержки включают два этапа ЖЦ МП: реализация, эксплуатация. Однако такие системы ориентированы на разработку МП бизнес-направленности, соответственно, поддержка МП на этапе эксплуатации в основном заключается в сборе статистики, управлении правами доступа пользователей МП и других функций, предназначенных для администраторов МП.

Разработка МП для людей с ИН требует решения ряда задач, связанных с особенностями этой категории пользователей, в первую очередь, это обеспечение доступности. Одним из наиболее эффективных способов обеспечения доступности МП является адаптируемость, т.е. возможность подстраивать определенный функционал МП и/или его визуальное отображение (интерфейс) под конечного пользователя с учётом его возможностей и ограничений. В современных МП для людей с ИН доступность обеспечивается за счет ad-hoc разработки неизменяемого интерфейса, априорно проектируемого с учетом общих принципов доступности,

либо разработки адаптируемого интерфейса, апостериорно настраиваемого под конечного пользователя с ИН на этапе эксплуатации ЖЦ МП (в большинстве случаев – это параметрические настройки шрифтов, цветовой палитры, звукового сопровождения). Для оценки доступности МП применяют методы априорного экспертного оценивания интерфейса МП на соответствие принципам доступности, либо методы внешнего наблюдения за действиями пользователя МП с интерфейсом, адаптированным под этого пользователя, и оценки его способности самостоятельного управления МП.

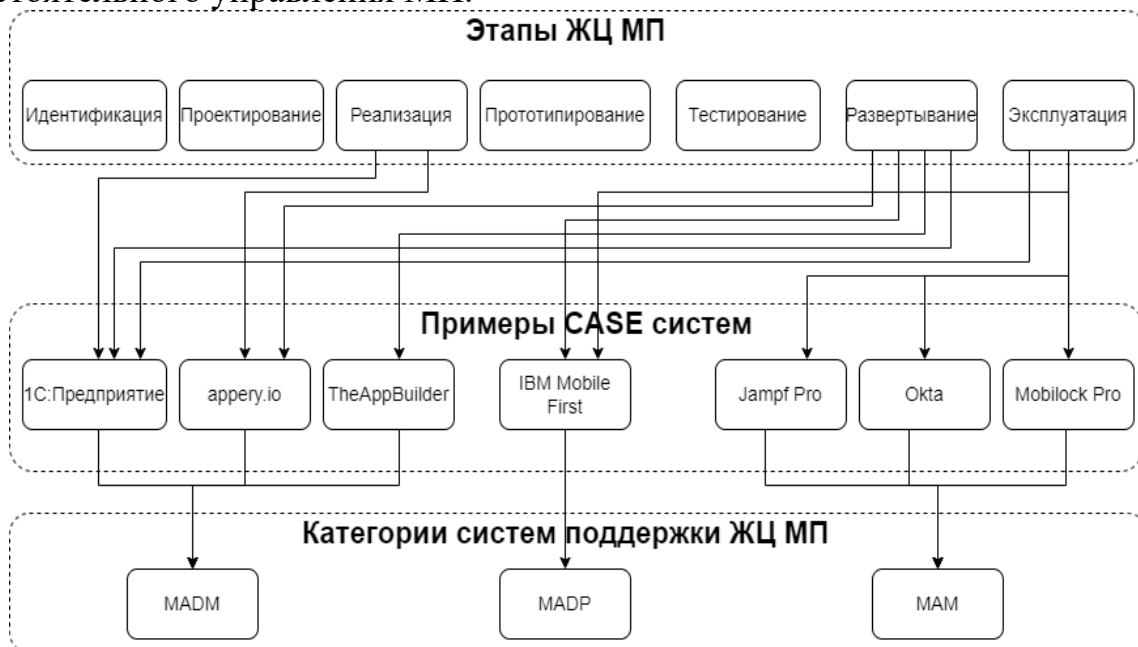


Рисунок 2 – Категории и примеры CASE-средств для поддержки ЖЦ МП

Параметрическая адаптация интерфейса в целом позволяет повысить доступность МП. Однако возможности и ограничения людей с ИН существенно различаются. В современных классификациях болезней выделяются до пятидесяти вариантов интеллектуальных нарушений, характеризующихся различными признаками и проявлениями. Для повышения доступности МП для широкого круга пользователей с ИН требуется более глубокая персонализированная параметрическая и структурная адаптация интерфейса. Обеспечение такого уровня адаптации интерфейса требует поддержки динамического контента МП, что необходимо предусматривать на этапе проектирования ЖЦ МП. Таким образом, для создания МП для пользователей с ИН требуется разработка модели ЖЦ, учитывающей особенности требований к обеспечению доступности МП для людей с ИН, и моделей, методов и технологий проектирования МП, применимого в специализированных CASE-средствах сквозной поддержки этапов ЖЦ МП для такой категории пользователей.

Во второй главе разработана модель ЖЦ МП для пользователей с ИН и предложен метод автоматизированного проектирования МП для сквозной разработки МП на основе предложенной модели.

Модель ЖЦ МП для пользователей с ИН. Разработка МП для людей с ИН сопряжена с высокими рисками, связанными с невозможностью заранее предусмотреть, как такие пользователи будут реагировать на определенные интерфейсные решения и смогут ли они правильно выбирать требуемые действия. Применение успешных интерфейсных решений, реализованных в МП,

апробированных на пользователях с ИН, для разработки новых МП может существенно повысить их доступность. Необходимость учета особенностей пользователей с ИН может также потребовать разработки ряда специальных функций, не зависящих от назначения, разрабатываемого МП. Повторное использование кода этих функций позволит упростить процесс разработки и повысить скорость сборки проекта МП.

В зависимости от характера и проявления интеллектуальных ограничений потенциальные пользователи МП с разными возможностями и ограничениями могут сталкиваться с такими проблемами как невозможность прочесть текст на экране МП, понять назначение элементов управления и других объектов интерфейса, выбрать и перемещать объекты приложения, управлять приложением. Поэтому для обеспечения доступности широкому кругу пользователей с ИН МП должны предоставлять возможность настройки интерфейса под конкретного пользователя без потери полноценного доступа к функционалу. Разработана модель ЖЦ МП с адаптируемым интерфейсом, отражающая специфику требований к МП для пользователей с ИН. Этапы и процедуры ЖЦ МП приведены на рисунке 3.

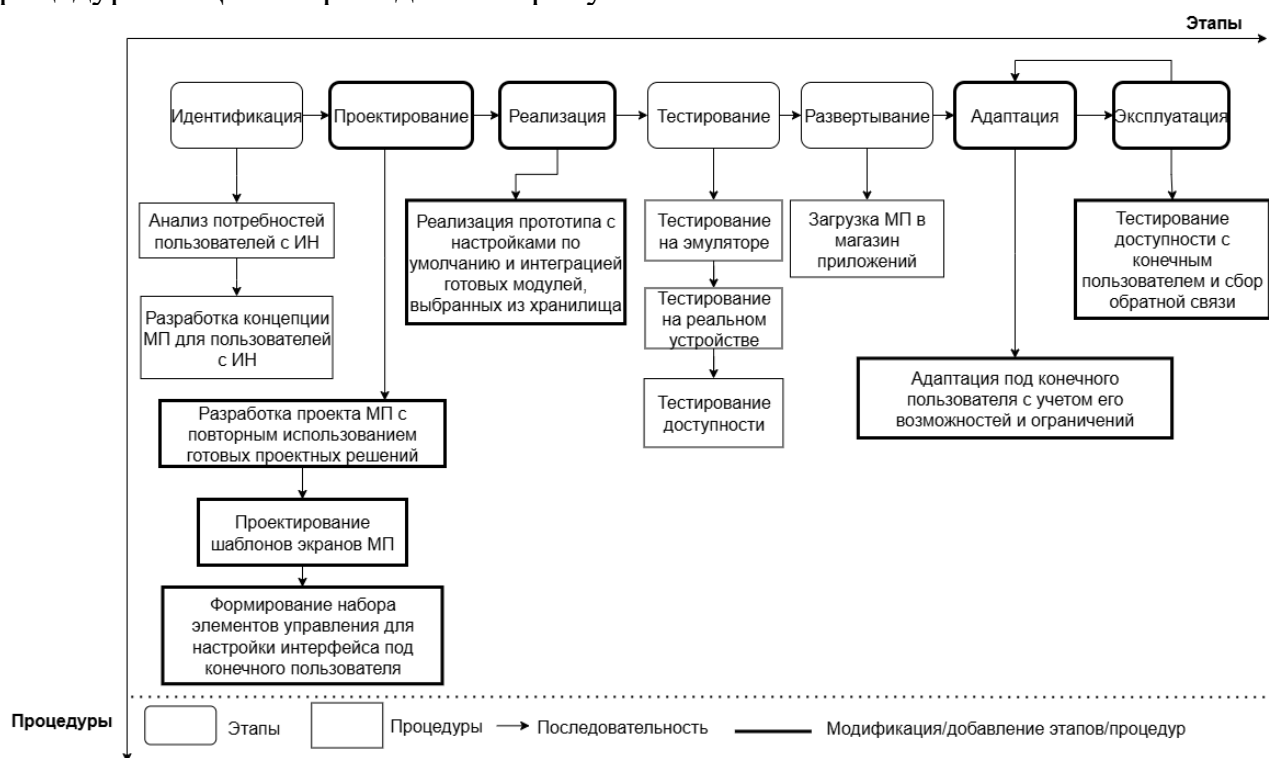


Рисунок 3 – Модель ЖЦ МП для пользователей с ИН

Метод автоматизированного проектирования интерфейса МП. Разработан метод автоматизированного проектирования интерфейса МП с адаптируемым интерфейсом, основанный на Pattern-Based концепции. Метод включает разработку шаблонов экранов МП, на которых размещаются все возможные элементы интерфейса, требуемые для доступа к функционалу МП, разделение элементов шаблонов на обязательные и опциональные элементы, сопоставление каждому элементу интерфейса набора возможных пиктограмм/изображений) и прикрепление элементов «по месту».

Модель адаптируемого интерфейса МП. Разработана модель адаптируемого интерфейса МП, представляемая кортежем вида:

$$Interface = \langle CommonElements, Pages \rangle, \quad (1)$$

где *CommonElements* – множество общих элементов страниц; *Pages* – множество шаблонных описаний страниц.

$$Pages = (page_1, \dots, page_i, \dots, page_n), \quad (2)$$

где *page_i* – *i*-ая страница интерфейса, *n* – количество страниц.

$$page_i = (element_{i1}, \dots, element_{ij}, \dots, element_{im}), \quad (3)$$

где *element_{ij}* – *j*-ый элемент *i*-ой страницы, *m* – количество элементов *i*-той страницы.

$$element_{ij} = \{status(n/o), size, color, type(c/u), Pictograms\}, \quad (4)$$

где *status(n/o)* – статус *j*-ого элемента (обязательный/опциональный), *size* – размер элемента, *colour* – цвет элемента, *type(c/u)* – тип *j*-ого элемента (*c* – общий/*u* – уникальный), *Pictograms* – множество пиктограмм, сопоставленных *j*-ому элементу.

Обязательными являются элементы, которые необходимы для работы отдельно взятого МП и должны включаться в интерфейс каждого пользователя. Опциональные элементы могут включаться в интерфейс в зависимости от возможностей и ограничений пользователя. Под общими элементами понимаются элементы, которые содержатся более чем на одной странице. Общие элементы применяются для настройки интерфейса на страницах, содержащих эти элементы.

Процесс адаптации интерфейса МП под конкретного пользователя заключается в выборе элементов интерфейса для каждой страницы и их изображений (пиктограммы и/или другие графические иллюстрации) из шаблонных описаний, доступных этому пользователю с учетом его возможностей и ограничений. Процесс адаптации интерфейса ориентирован на опекунов людей с ИН (родители, медицинские работники), знающих возможности и ограничения подопечных.

Шаблон проектирования МП. Разработан шаблон проектирования МП, основанный на многомодульной архитектуре со слойным делением модулей (рисунок 4). Архитектура разделяет приложение на три уровня модулей. В первом уровне располагаются источники данных и запросы к ним, например, запросы к API или базе данных (БД). Во втором слое содержится бизнес-логика приложения. В третьем слое располагаются компоненты, необходимые для визуализации интерфейса. Функциональные модули соответствуют полноэкранным, согласованным функциональным возможностям пользователя в приложении. В библиотечных модулях функциональность разделена между несколькими модулями. Библиотеки могут зависеть друг от друга, они предоставляют общий функционал, который повторно используется в нескольких функциональных модулях. Модуль приложения вызывает функциональные модули, а функциональные модули вызывают библиотечные модули. Модули имеют внутреннюю архитектуру, которая состоит из трех слоев. В слое Data располагаются источники данных и запросы к ним, например, запросы к API или базу данных. Слой Domain содержит в себе бизнес-логику приложения. В слое UI располагаются компоненты необходимые для визуализации интерфейса.

App-модуль является точкой входа в приложение. Он зависит от функциональных модулей (feature-модулей) и обеспечивает корневую навигацию. Feature-модули – это изолированная часть функциональности разрабатываемого

МП, которая соответствует экрану или набору связанных экранов. К библиотечным (library-модулям) относятся модули, предназначенные для реализации функционала, который можно повторно использовать для разработки других МП.

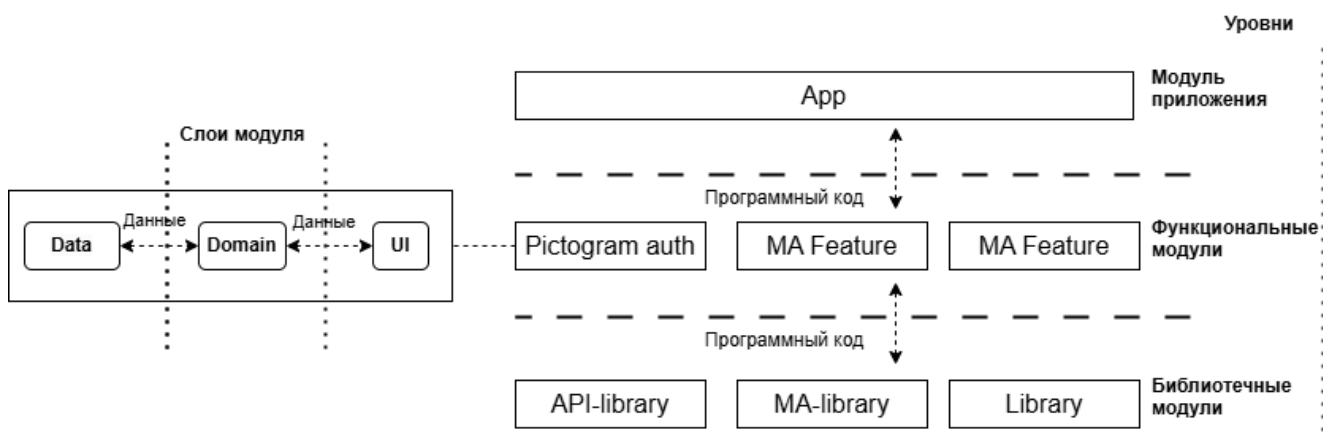


Рисунок 4 – Многомодульная шаблонная архитектура МП

Процесс проектирования МП включает разработку проекта МП с разделением на слои в соответствии с предложенной архитектурой, выбор готовых модулей из хранилища, реализующих требуемый функционал, разработку модулей для каждого архитектурного слоя и реализацию их взаимодействия.

Метод автоматизированного проектирования МП включает следующие шаги:

1. Разработать концепцию МП для пользователей с ИН.
2. Спроектировать функционал МП, необходимый для реализации концепции.
3. Разработать шаблоны экранных форм интерфейса МП и сопоставить каждому элементу набор пиктограмм для его отображения на экране.
4. Создать проект МП и разработать архитектуру МП на основе шаблонной архитектуры.
5. Выбрать готовые модули из хранилища модулей, реализующие требуемые функции МП и подключить их к проекту МП.
6. Спроектировать остальной функционал МП, требуемый в рамках концепции.
7. Выбрать из проекта МП модули, применяемые для повторного использования, и добавить их в хранилище моделей.
8. Реализовать MVP (Minimum Viable Product) МП с элементами интерфейса и пиктограммами для их отображения, выбранными по умолчанию разработчиком.

В третьей главе описана разработка CASE-системы, реализующей предложенный метод автоматизированного проектирования МП для пользователей с ИН.

Разработана CASE-система, реализующая предложенный метод автоматизированного проектирования МП с адаптируемым интерфейсом. Система включает подсистемы поддержки этапов проектирования, реализации, адаптации и эксплуатации МП, базу данных шаблонов и пользовательских настроек интерфейсов МП, ссылок на добавленные в хранилище модули МП, API для взаимодействия системы с МП. Архитектура системы представлена на рисунке 5.

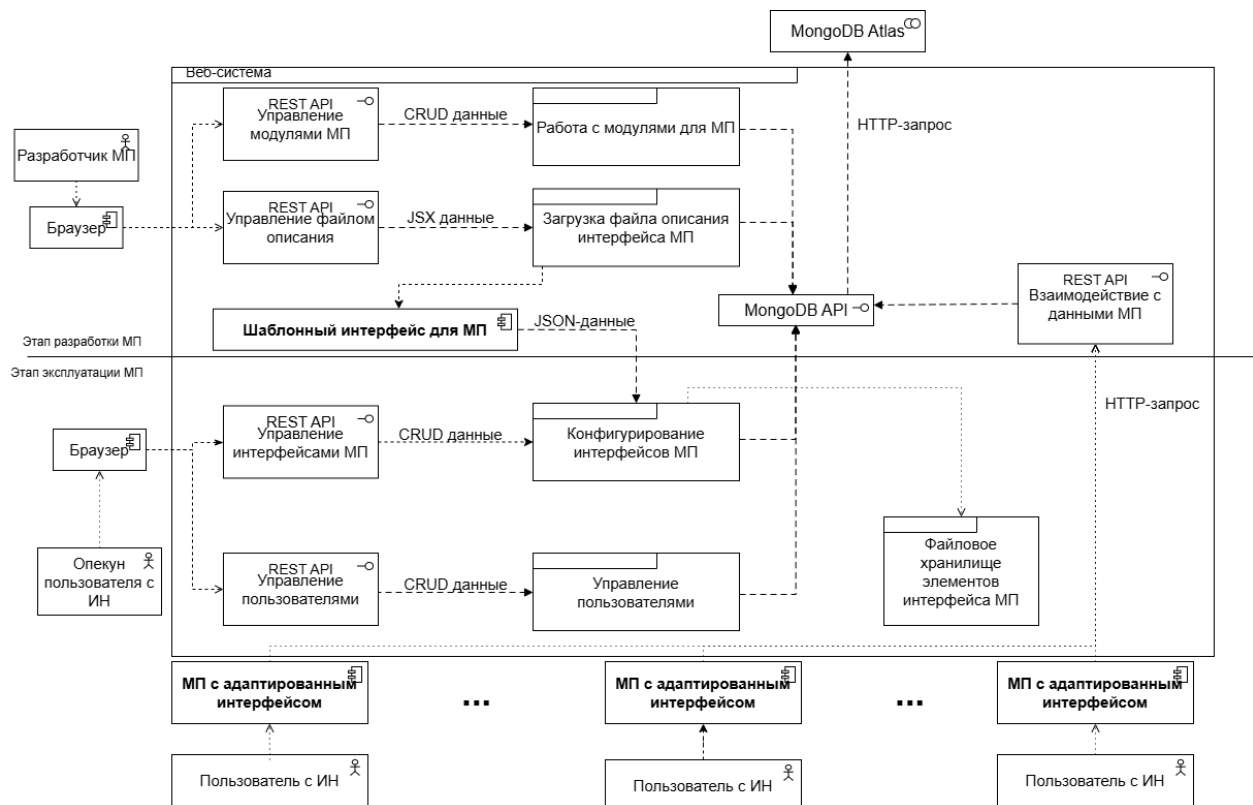


Рисунок 5 – Архитектура системы (нотация ArchiMate)

Основной функционал системы включает создание проекта МП на основе многомодульной шаблонной архитектуры, просмотр хранилища модулей, выбор и подключение готовых модулей в проект разрабатываемого МП, добавление файла описания шаблонов страниц МП, добавление модулей в хранилище модулей, конфигурирование интерфейса МП под конкретного пользователя на этапе эксплуатации с применением специального веб-интерфейса, встраиваемого на этапе разработки МП. Этапы ЖЦ МП для пользователей с ИН, поддерживаемые CASE-системой, показаны на рисунке 6.

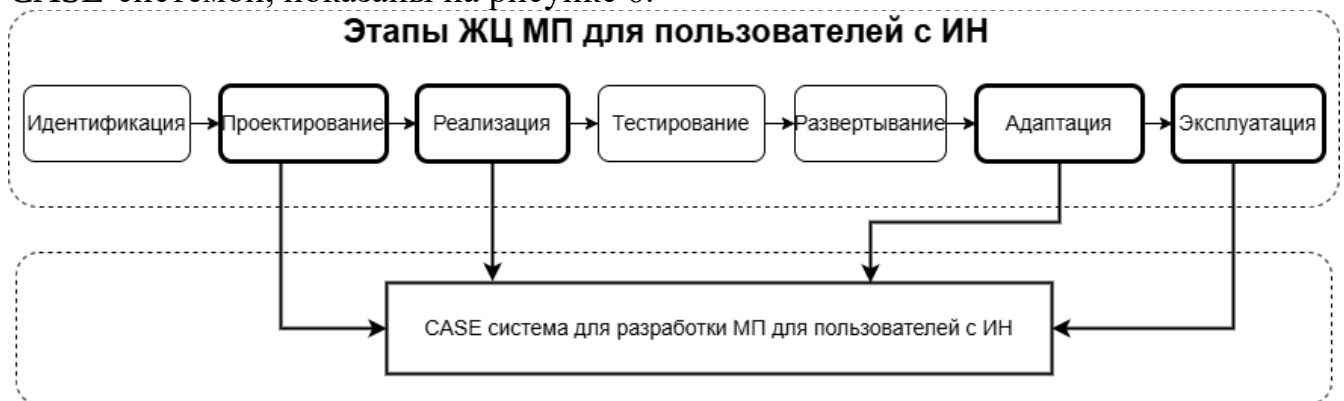


Рисунок 6 – Этапы ЖЦ МП с адаптируемым интерфейсом, поддерживаемые CASE-системой

Для разработки веб-интерфейса, позволяющего конфигурировать интерфейс МП на этапе эксплуатации, требуется программировать backend и frontend логику веб-интерфейса под каждое разрабатываемое МП. Такой способ разработки веб-интерфейса каждый раз требует привлечения разработчика веб-системы, что существенно ограничивает возможности применения системы. Для исключения разработчика системы из процесса разработки веб-интерфейса предложен метод адаптации интерфейса с использованием конфигурационной панели (КП), которая

генерируется для каждого МП на основе предоставляемого системой функционала. КП создается разработчиком МП и встраивается в систему на этапе реализации МП.

Интерфейс КП включает два экрана – для ввода или копирования кода для шаблонного интерфейса МП и для визуализации конфигурируемого интерфейса. Процесс генерации шаблонных интерфейсов МП с применением КП включает следующие действия: добавление в систему данных о МП (название, описание), и файла с описанием интерфейса (описание шаблонного интерфейса должно выполняться с применением расширения языка JavaScript); редактирование загруженного файла с описанием интерфейса МП; просмотр списка МП в системе; удаление МП. Алгоритм генерации КП приведен на рисунке 7. Процесс генерации интерфейсов МП с применением КП приведен на рисунке 8.

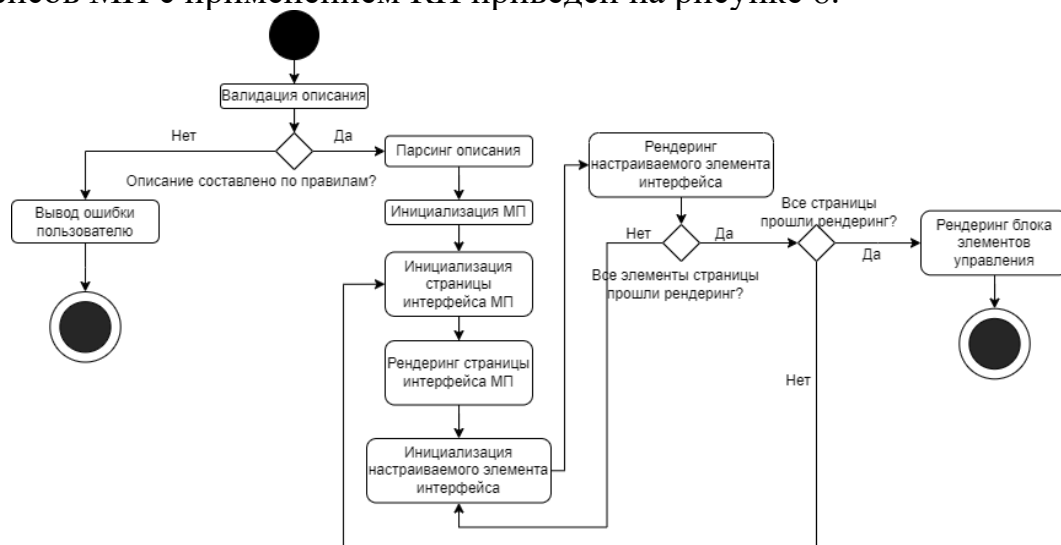


Рисунок 7 – Алгоритм генерации КП (Activity diagram, UML)



Рисунок 8 – Процесс генерации интерфейсов МП с применением КП (Activity diagram, UML)

Предложенный метод обеспечивает возможность параметрической и структурной адаптации интерфейсов на этапе эксплуатации без изменения программного кода разработанного МП. Встраиваемый в систему веб-интерфейс позволяет конфигурировать интерфейс МП под конечных пользователей без изменения программного кода.

Алгоритм сквозной разработки МП, реализующий предложенные методы и технологии, представлен на рисунке 9.

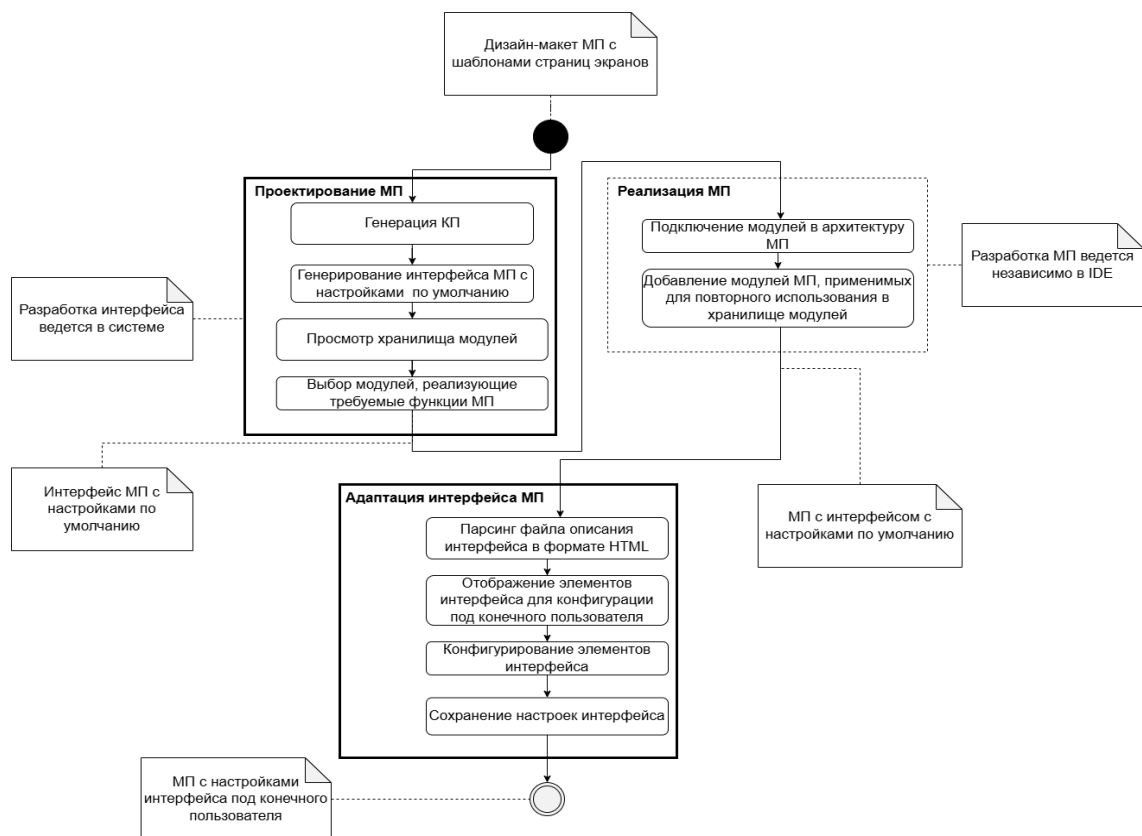


Рисунок 9 – Алгоритм сквозной разработки МП с адаптируемым интерфейсом (Activity diagram, UML)

Роли пользователей системы и их действия в системе на этапах ЖЦ МП показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Роли и действия пользователей в системе

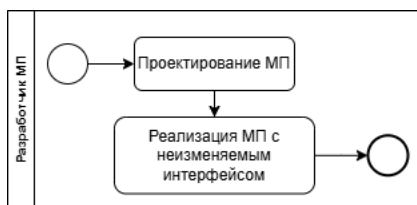
Этап ЖЦ МП	Роль пользователя	Действия пользователя в системе
Проектирование	Разработчик МП	Разработка шаблонов интерфейса МП Разработка конфигурационной панели (КП) под МП Создание проекта МП Поиск модулей в хранилище готовых решений, реализующих функции разрабатываемого МП
Реализация	Разработчик МП	Подключение выбранных модулей в проект МП (Реализация проекта МП выполняется в сторонней IDE)
Тестирование	Разработчик МП	Итерационная доработка интерфейса на основе информации о результатах тестирования МП на целевых группах пользователей с ИН
Адаптация	Опекун	Конфигурирование интерфейса МП под конечного пользователя с ИН
Эксплуатация	Опекун Разработчик Администратор	Добавление новых пользователей в систему Добавление модулей в хранилище готовых решений, применимых для повторного использования Управление пользователями

CASE-система реализована как веб-приложение. Для backend-разработки выбрана платформа Node.js, для frontend-разработки применены HTML, CSS, JavaScript. В качестве БД использована MongoDB. Для обмена данными между сервером и МП использован протокол HTTP, для поддержки разработки МП – специализированные наборы заранее разработанных компонентов и библиотек. Разработан интерфейс клиентской части, предназначенный для визуального

управления процессом поддержки разработки МП и адаптации разработанного МП под конечного пользователя. Экранная форма системы в режиме «Разработка архитектуры МП» приведена на рисунке 10.

Рисунок 10 – Экранная формы системы в режиме «Разработка архитектуры МП»

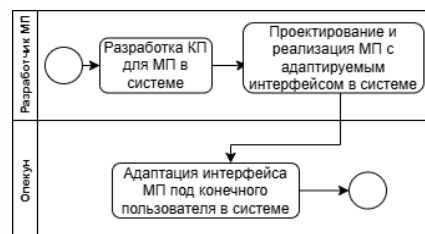
Эволюция способов проектирования МП для пользователей с ИН показана на рисунке 11.



а) ad-hoc разработка МП



б) разработка МП в системе



в) разработка МП в системе с применением КП

Рисунок 11 – Эволюция способов проектирования МП для пользователей с ИН (нотация BPMN)

Предложенный в работе подход к проектированию МП для пользователей с ИН рассматривает такие приложения как отдельную категорию ПО, особенности требований к которым определяют специфику их разработки. Категоризация МП для пользователей с ИН как самостоятельного вида ПО позволяет объединить знания о проектных, технологических решениях и средствах, разработанных в рамках предложенного подхода, описать их как самостоятельную область знаний и представить в виде онтологии проектирования МП для пользователей с ИН (рисунок 12).

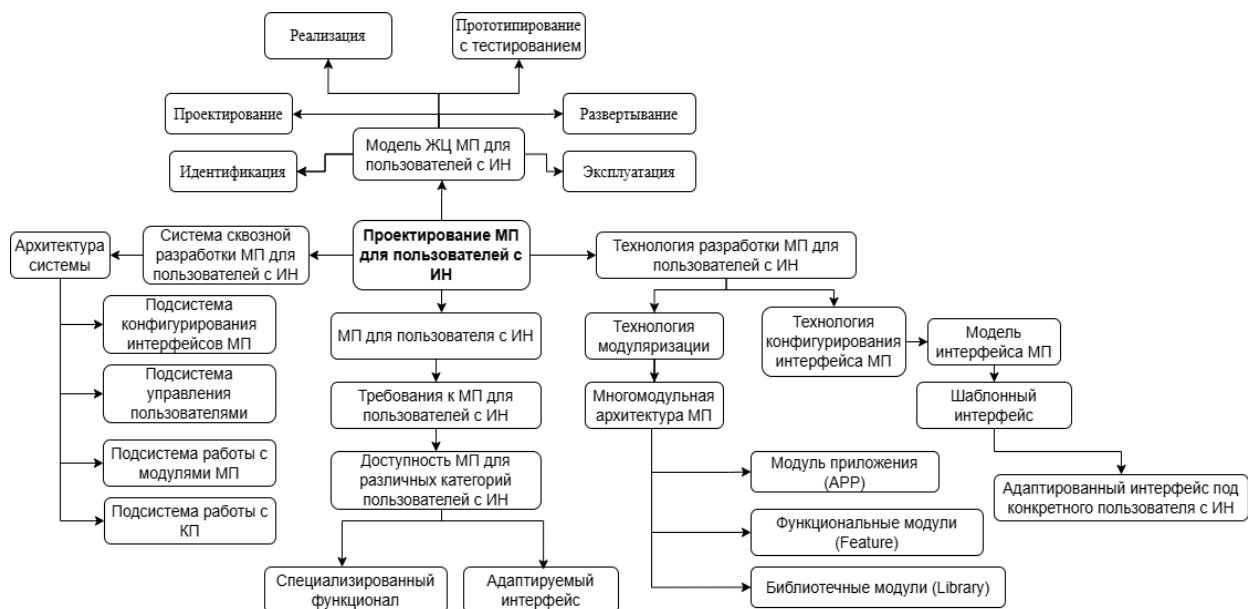


Рисунок 12 – Онтология проектирования МП для пользователей с ИН

В четвертой главе приведены примеры МП, разработанных с применением системы, описана апробация системы и описаны результаты апробации.

Разработка МП с применением CASE-системы. К разработке МП привлечены студенты кафедры САПР и ПК Волгоградского государственного технического университета (ВолГТУ). Разработаны МП для информирования клиентов медицинских и реабилитационных центров для людей с ИН («e-Board»); для выявления предпочтений пользователей с ИН, проявивших интерес к трудовой деятельности, и выбора для них подходящих рабочих мест («AIT Test»); игра «Money Game» для тренировки навыков совершения покупок для людей с ИН. Первые версии МП разработаны как приложения с неизменяемым интерфейсом.

Мобильная игра для пользователей с тяжелыми множественными нарушениями развития (ТМНР). Процесс разработки игры состоял из шагов:

1. Разработка концепции игры. Игра предназначена для развития навыков различения предметов. Определены категории предметов, окружающих людей с ТМНР в их повседневной жизни. Каждой категории сопоставлены наборы картинок, отображающих эти категории, и предметов, относящиеся к этим категориям. Игровой процесс заключается в перетаскивании картинки с изображением предмета и наложение на картинку соответствующей категории, к которой принадлежит этот предмет.

2. Проектирование функционала МП. Функционал игры включает функции авторизации с использованием пиктограмм, отображения и перемещения изображений, оценки и визуализации результатов действий пользователя по соотносению объектов с категориями.

3. Проектирование шаблонного интерфейса МП. Интерфейс игры включает три основные страницы: выбора категории, просмотр задания, просмотр результатов. Дизайн-макет МП создан с использованием онлайн-сервиса Draw.io, результаты сохранены в drawio-файле.

4. Разработка наборов пиктограмм для элементов интерфейса. Каждой странице сопоставлен набор обязательных и опциональных игровых элементов, элементов управления, справочных элементов, каждому элементу сопоставлен

предопределенный набор возможных визуальных представлений на экране, выбранных из пиктограмм, сохраненных ранее в БД при разработке других МП, или специально разработанных для игры.

5. Разработка КП для настройки шаблонного интерфейса МП. Для конфигурирования шаблонных страниц экрана МП разработаны соответствующие страницы веб-интерфейса КП. Пример страницы показан на рисунке 13 (слева – страница КП; справа – визуализация страницы МП, создаваемой с использованием КП; внизу – фрагмент кода JSX файла с описанием созданной страницы).

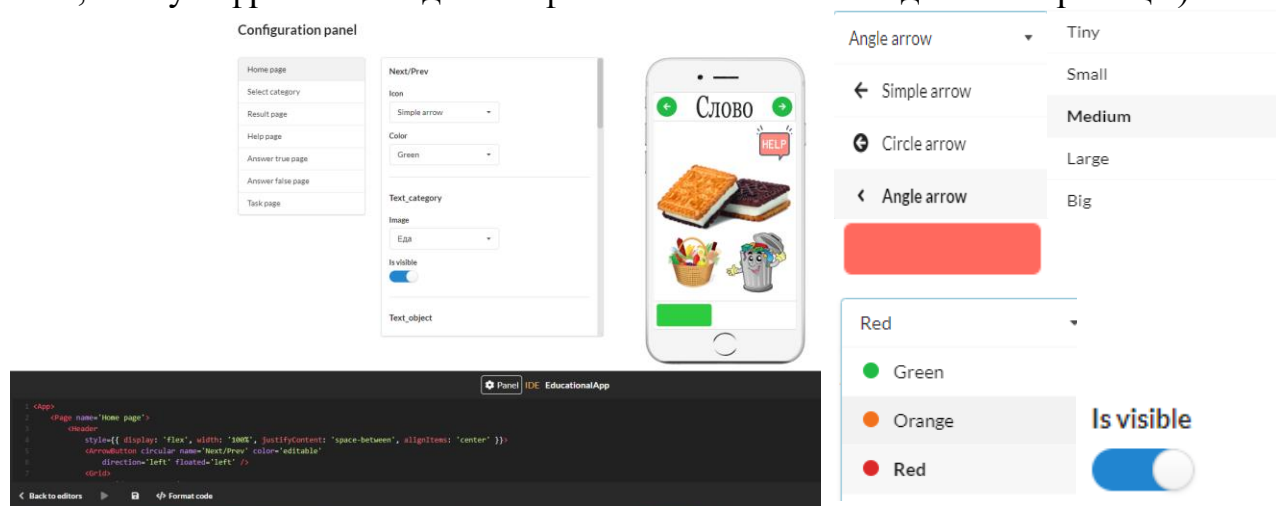


Рисунок 13 – КП для главной страницы игры для пользователей с ТМНР

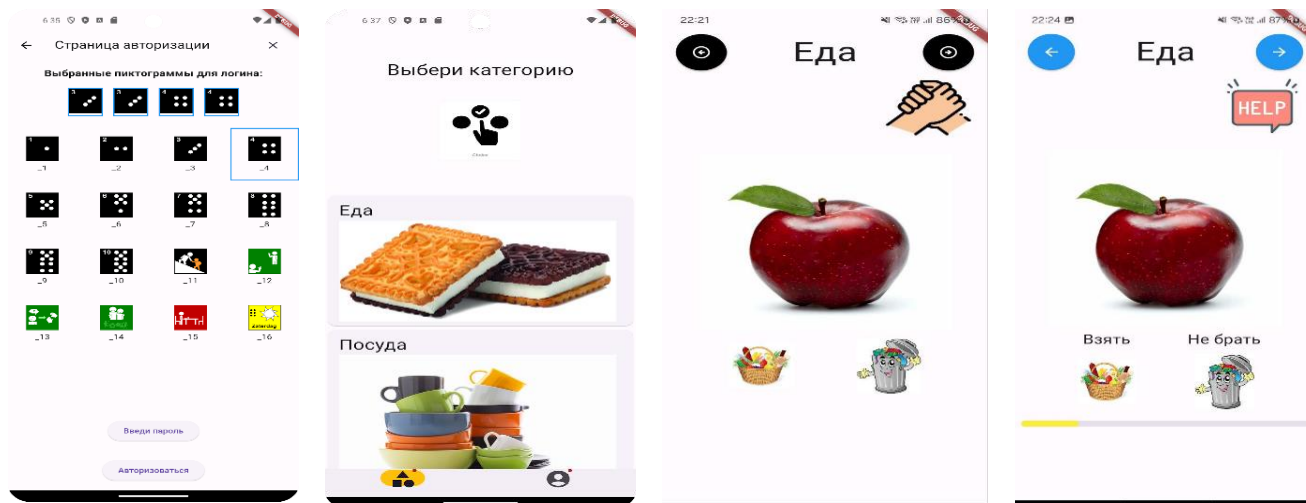
В результате сгенерирован JSX-файл описания шаблонов страниц приложения с обозначенными обязательными и опциональными элементами.

6. Разработка архитектуры игры. Создан проект МП. Из хранилища готовых модулей выбран модуль авторизации с применением пиктограмм, разработанный ранее для другого МП. Спроектированы feature- и library-модули, реализующие функционал игры.

7. Реализация MVP МП. Реализован проект МП и интегрирован с API CASE-системы.

Спроектированное МП реализовано на языке программирования Dart с использованием фреймворка Flutter. Для разработки МП применена IDE Android Studio.

Варианты экранных форм разработанного МП с возможными элементами интерфейса и пиктограммами, выбранными из БД в процессе адаптации интерфейса, приведены на рисунке 14.



а) авторизация с помощью пиктограмм б) выбор категории в) варианты страниц определения соответствия предмета категории

Рисунок 14 – Экранные формы игры для пользователей с ТМНР
Экранные формы МП «e-Board», «AIT Test» и «Money Game» с адаптируемым интерфейсом представлены на рисунках 15, 16.



Рисунок 15 – Экранные формы МП e-Board и Money Game

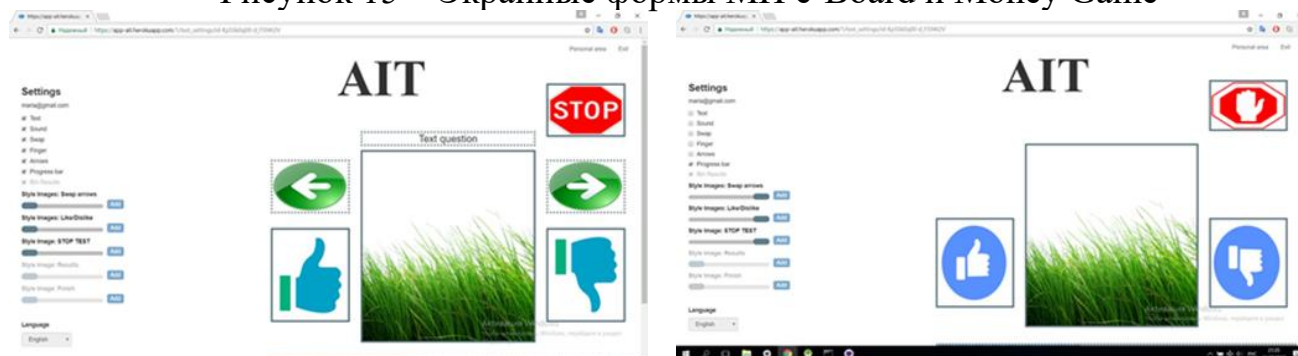


Рисунок 16 – Варианты адаптации интерфейса МП AIT Test

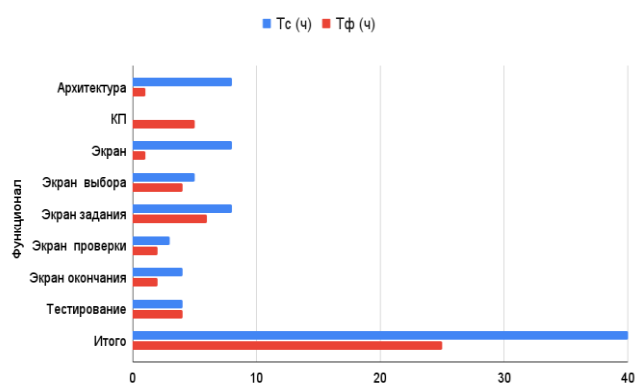
Апробация системы. Оценка временных затрат. Для оценки временных затрат на разработку игр проведён анализ фактической трудоёмкости разработки игр (T_{ϕ}) с применением системы в сравнении с трудоёмкостью разработки таких же игр с применением стандартных средств разработки (T_c).

Результаты оценки временных затрат на разработку игры для пользователей с ТМНР приведены в таблице 3.

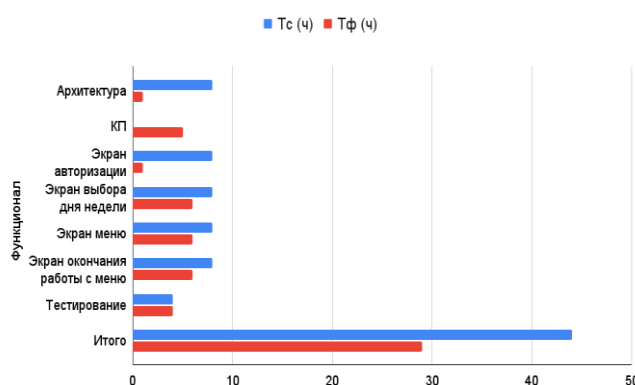
Таблица 3 – Оценка временных затрат на разработку игры для пользователей с ТМНР

Функционал		Трудоёмкость разработки, час.		
		Т _ф	Комментарий	Т _с
Разработка архитектуры		1	Использован шаблон многомодульной архитектуры	8
Разработка экранов интерфейса	Разработка экрана авторизации	1	Выбран готовый модуль из хранилища модулей	8
	Разработка экрана выбора категории	4	Для элементов управления выбраны пиктограммы из БД	5
	Разработка экрана задания	6		8
	Разработка экрана проверки ответа	2		3
	Разработка экрана окончания	2		4
Разработка КП		5		0
Тестирование		4		4
Итого		25		40

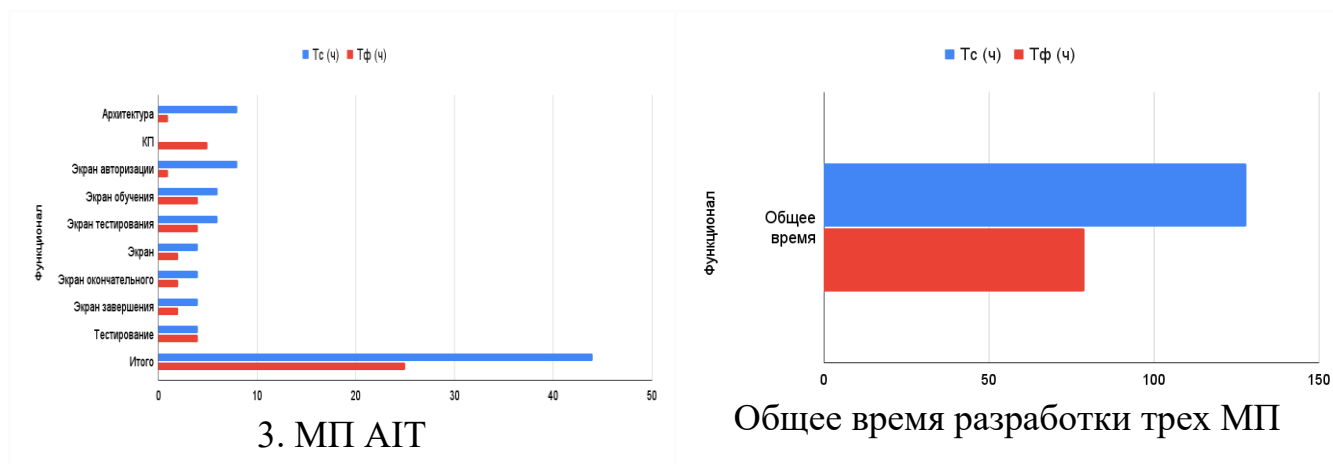
Проведен анализ временных затрат на разработку МП «e-Board», «AIT Test» и «Money Game» с адаптируемым интерфейсом с применением CASE-системы. Для всех МП добавилось время на разработку КП, однако за счет сокращения времени на остальные процедуры разработки общее время сократилось. При этом применение КП позволило существенно сокращать время на конфигурирование одного и того же МП под различных пользователей с разными возможностями и ограничениями. Кроме того, разработка каждого нового МП приводила к пополнению хранилища модулей для повторного использования, поэтому время на разработку каждого последующего МП сокращалось. Суммарное время разработки МП с применением системы сократилось примерно в два раза. Модули, реализованные в процессе разработки МП и применимые для повторного использования, добавлены в хранилище модулей. Результаты оценки временных затрат на разработку МП представлены на рисунке 17.



1. МП для пользователей с ТМНР



2. МП MoneyGame

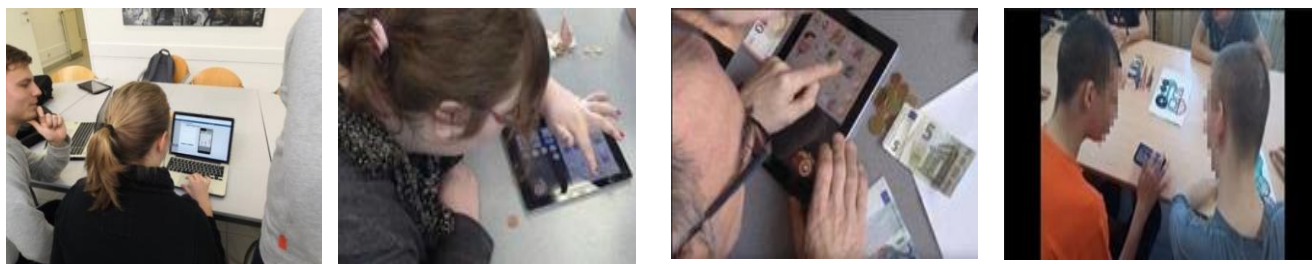


Тс/ Тф – трудоемкость разработки МП с применением стандартных средств/системы

Рисунок 17 – Общая оценка временных затрат на разработку трех МП

Апробация системы. Оценка доступности МП, разработанных с применением системы. Тестирование разработанных МП организовано в сотрудничестве с коллективами Волгоградского психоневрологического интерната (<https://442fz.volganet.ru/025001/>) и медицинского центра МРІ Oosterlo, Бельгия (<https://www.mpi-oosterlo.be/>), специализирующимся на работе с людьми с ИН. Для оценки доступности разработанных МП для людей с ИН использован метод внешнего наблюдения за пользователями МП и оценки их способности самостоятельного управления МП.

Тестирование первых версий МП с неизменяемым интерфейсом показало, что из-за разных возможностей и ограничений людей с ИН разработка интерфейсов, доступных одновременно различным пользователям, практически невозможна. После разработки версий МП с адаптируемым интерфейсом проведено повторное тестирование. Сотрудники настраивали в системе интерфейсы МП для каждого пользователя с ИН с применением КП, созданных разработчиками для каждого МП, и наблюдали за действиями пользователей МП. Наблюдение показало, что все пользователи с ИН смогли самостоятельно взаимодействовать с МП или с минимальной помощью сотрудника. Таким образом, адаптация интерфейсов МП под каждого пользователя обеспечила доступность МП пользователям с разными возможностями и ограничениями. Процесс тестирования показан на рисунке 18.



Настройка
интерфейсов МП

Тестирование МП с пользователями с ИН

Рисунок 18 – Тестирование с пользователями системы и пользователями МП

Таким образом, применение CASE-системы для разработки МП для пользователей с ИН позволяет существенно сократить временные затраты на разработку таких МП за счет использования унифицированной многомодульной архитектуры и включения в проект МП готовых модулей, а также генерации КП для

адаптации интерфейса МП, и повысить доступность МП для пользователей с ИН за счет возможности адаптации МП под конечных пользователей с различными возможностями и ограничениями. Возможность применения шаблонов архитектур и готовых решений расширяет круг пользователей системы и делает ее доступной разработчикам, профессиональная деятельность которых связана с поддержкой людей с ограниченными интеллектуальными возможностями. Привлечение разработчиков МП к разработке приложений для людей с ИН с применением системы позволяет пополнять хранилище модулей, доступных для подключения в новые проекты, и расширять, таким образом, возможности системы.

В заключении диссертации приводятся основные научные и прикладные результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, и выделяются возможные направления дальнейших исследований.

В приложениях приведены результаты тестирования МП, разработанных с применением системы, копии свидетельств о регистрации программы для ЭВМ и акта внедрения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1) диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи по повышению эффективности процесса проектирования МП для пользователей с ИН и снижению трудоемкости разработки МП за счет автоматизации проектных и технологических процедур;

2) анализ современных подходов к автоматизации проектирования МП для людей с ИН показал, что большинство из них базируются на принципах универсального дизайна и адаптируемого интерфейса, а оценка доступности основана либо на априорном экспертном оценивании на соответствие принципам доступности, либо на внешнем наблюдении за действиями пользователя с уже адаптированным интерфейсом, что не обеспечивает комплексного решения проблемы. В связи с этим для обеспечения доступности МП для широкого круга пользователей с ИН, возможности которых сильно различаются, требуется разработка новой модели ЖЦ, учитывающей особенности пользователей, а также моделей, методов и технологий проектирования, поддерживающих не только параметрическую, но и структурную адаптацию интерфейса, что необходимо предусматривать на этапе проектирования и реализовывать в специализированных CASE-средствах сквозной поддержки ЖЦ МП для данной категории пользователей;

3) выявлены связи между характеристиками пользователей с ИН и требованиями к параметрической и структурной адаптации интерфейса МП, что дало возможность разработать модель ЖЦ МП для пользователей с ИН, отражающую специфику такой категории МП и предложить способ формализации проектных и технологических процедур этапов ЖЦ МП для пользователей с ИН, обеспечивающий сквозную поддержку этапов проектирования, реализации, адаптации и эксплуатации;

4) предложен шаблон проектирования МП, позволяющий снизить трудоемкость проектирования МП и повысить качество проектных решений;

5) предложен метод проектирования интерфейсов МП, позволяющий адаптировать шаблонный интерфейс под конечного пользователя на этапе эксплуатации без изменения программного кода;

6) предложенный метод автоматизированного проектирования МП реализован в специализированной CASE-системе, обеспечивающей сквозную поддержку этапов проектирования, реализации и эксплуатации ЖЦ МП;

7) проведена апробация CASE-системы на разработке 4-х МП для пользователей с ИН (квалификация разработчиков – студенты 2-4 курсов бакалавриата). Разработка МП с применением системы позволила снизить трудоёмкость процесса проектирования МП в среднем в 2 раза;

8) проведено тестирование CASE-системы в режиме настройки интерфейсов разработанных МП под конечных пользователей с В. тестировании участвовали 4 сотрудника Волгоградского психоневрологического интерната (<https://442fz.volganet.ru/025001/>) и 3 сотрудника медицинского центра MPI Oosterlo, Бельгия (<https://www.mpi-oosterlo.be/>), специализирующиеся на работе с людьми с ИН. Тестирование показало, что все сотрудники успешно смогли настроить интерфейсы для своих подопечных с учетом их возможностей и ограничений;

9) проведено тестирование МП, разработанных с применением CASE-системы, с 6-ю пользователями с ИН. Тестирование показало, что адаптация интерфейсов МП под каждого пользователя с учетом его возможностей и ограничений обеспечила доступность МП для всех пользователей, участвующих в тестировании.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Гурьев В.В., Шабалина О.А., Садовникова Н.П., Воронина А.А. Разработка модели жизненного цикла мобильных приложений для людей с ограниченными интеллектуальными возможностями // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. № 4. С. 573–581. DOI: 10.15827/0236-235X.142.573-581

2. Гурьев В.В., Шабалина О.А., Садовникова Н.П., Воронина А.А., Косяков С.В., Дмитриев Н.М. Технология сквозной разработки мобильных приложений для людей с ограниченными интеллектуальными возможностями // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №2(52). С.230-242. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-2-230-242

3. Гурьев В. В., Шабалина О. А., Садовникова Н. П., Воронина А. А., Мальков А. Н. Автоматизация разработки мобильных приложений для людей с ограниченными интеллектуальными возможностями // Информационные технологии. — 2025. — Т. 31. — С. 271–280. — DOI: 10.17587/it.31.271-280.

Публикации, проиндексированные в Scopus и Web of Science

4. Shabalina O., Guriev V., Kosyakov S., Voronina A., Moffat D. Adaptable Mobile Software for Supporting Daily Activities of People with Intellectual Disabilities // Communications in Computer and Information Science. 2019. P. 474-484. DOI:10.1007/978-3-030-29750-3_37

5. Shabalina O., Guriev V., Kosyakov S., Dmitriev N., Davtian A. MADM System for the Development of Adaptable Mobile Applications for People with Intellectual Disabilities // Proceedings of the 11th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications. (15–17 July. 2020 Piraeus, Greece). 2020. P.1-8, DOI: 10.1109/IISA50023.2020.9284409.

6. Guriev V., Voronina A., Kataev A., Petrova T. System for Management of Adaptable Mobile Applications for People with Intellectual Disabilities // Creativity in

Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2023. Communications in Computer and Information Science, vol 1909. Springer, Cham. 2019. P.474-484. DOI:10.1007/978-3-031-44615-3_33.

7. Voronina A., Guriev V.,Moffat D., Molodtsova I. Models and Methods for Processing Heterogeneous Data for Assessing the State of a Human / // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2023. Communications in Computer and Information Science, Springer. 2023. P. 488-499. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-44615-3_34.

Публикации в сборниках трудов конференции

8. Гурьев В.В., Косяков С.В., Сквасников Д.Е., Шабалина О.А. Web система адаптации интерфейсов мобильных приложений для людей с ограниченными интеллектуальными возможностями // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. V междунар. науч. конф. (17-21 декабря 2018 г.). В 2 ч. Ч. 2 / редкол.: О. Г. Берестнева [и др.] ; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т», ФГБОУ ВО «Томский гос. педагогический ун-т». - Томск, 2018. - С. 187-191.

9. Косяков С.В., Гурьев В.В., Шабалина О.А. Технологии модуляризации мобильных приложений // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. V междунар. науч. конф. (17-21 декабря 2018 г.). В 2 ч. Ч. 1 / редкол.: О. Г. Берестнева [и др.]; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т», ФГБОУ ВО «Томский гос. педагогический ун-т». - Томск, 2018. - С. 297-302.

10. Гурьев В.В., Шабалина О.А., Воронина А.А. Модель адаптируемого интерфейса для разработки доступных мобильных приложений // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 3. С. 93-96

11. Воронина А.А., Шабалина О.А., Садовникова Н.П., Гурьев В.В. Модели и методы автоматизированной оценки функционального состояния человека // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 3. С. 23-26.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

12. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023618672 от 27 апреля 2023 г. РФ. Система поддержки разработки и эксплуатации мобильных приложений / Н. П. Садовникова, О. А. Шабалина, В. В. Гурьев, А. А. Воронина; ВолгГТУ. - 2023.

13. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023618692 от 27 апреля 2023 г. РФ. Модуль оценки вовлеченности пользователей ПО / Н. П. Садовникова, О. А. Шабалина, В. В. Гурьев, А. А. Воронина; ВолгГТУ. - 2023.

Автор выражает благодарность:

Шабалиной Ольге Аркадьевне, кандидату технических наук, доценту кафедры «САПР и ПК» ВолгГТУ, за консультации в ходе выполнения диссертационной работы.

Подписано в печать 15 октября 2025 г. Заказ № 79. Тираж 70 экз. Усл. печ. л. 1,0

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Типография ИАИС ВолгГТУ

400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1