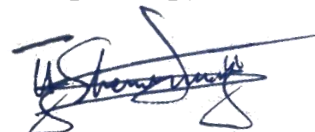


Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого»
Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи



Агбозо Эбенезер

**Развитие веб-инструментария управления
сетевыми организационными системами
с учетом его адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту**

2.3.4. Управление в организационных системах

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена на базовой кафедре аналитики больших данных и методов видеоанализа Института радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Медведев Александр Николаевич

Официальные оппоненты:

Тарасьев Александр Михайлович,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник, ФГБУН Институт математики
и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения
Российской академии наук, г. Екатеринбург,
главный научный сотрудник;

Часовских Виктор Петрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический
университет», г. Екатеринбург, профессор кафедры
шахматного искусства и компьютерной математики;

Бакаев Максим Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический
университет», заведующий кафедрой систем сбора и
обработки данных.

Защита диссертации состоится «28» января 2025 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета УрФУ 2.3.13.35 по адресу: 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=6773>

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Папуловская Наталья Владимировна

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Веб-инструментарий пользователя информационной системы играет решающую роль в оперативном и стратегическом управлении сетевыми организационными системами в современной цифровой экономике. Пользовательский интерфейс информационной системы управления служит промежуточным звеном между пользователями и бизнес-ресурсами, обеспечивая контроль выполнения задач пользователей в рамках бизнес-процессов, и предоставляя средства визуализации для поддержки принятия решений. При оценке эффективности работы каждого пользователя сетевых организационных систем необходимо учитывать веб-инструментарий и совершенствование пользовательского интерфейса (UI - user interface, ГОСТ Р ИСО 9241-2016). Российские и зарубежные исследования подтверждают, что качество пользовательского интерфейса оказывает существенное влияние на способность пользователей эффективно применять веб-инструменты, что непосредственно влияет на их производительность труда.

В сетевых организационных системах пользователи веб-инструментария могут работать удаленно, иметь различные уровни квалификации и трудовые функции, которые могут изменяться с течением времени. Поэтому один из ключевых подходов к развитию веб-инструментария предполагает сегментацию пользователей по должностным обязанностям и решаемым задачам. Сегментация пользователей позволяет компаниям разрабатывать пользовательские интерфейсы и рабочие процессы, которые интуитивно понятны и удобны для соответствующей группы пользователей. Однако, это не исчерпывающий перечень признаков, по которым возможна сегментация пользователей, в частности к важной характеристике относится пользовательский опыт (UX - user experience - восприятие пользователем ГОСТ Р ИСО 9241-210—2016). Учет пользовательского опыта, который существенно влияет на восприятие пользовательского интерфейса и производительность труда пользователей, представляет собой не решенную актуальную задачу в сфере совершенствовании веб-инструментария.

При постоянном использовании веб-инструментария пользовательский опыт достаточно быстро изменяется, что приводит к изменению оценки качества пользовательского интерфейса. Поэтому поддержание уровня качества пользовательского интерфейса на основе его постоянного мониторинга и оценки с целью учета изменений пользовательского опыта, также представляет собой актуальную задачу, которая требует решения для повышения общей производительности труда в сетевой организационной системе.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью развития веб-инструментария управления сетевыми организационными системами с учетом его адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту.

Степень разработанности темы исследования. Общие вопросы управления сетевыми организационными системами рассмотрены в работах Faulkner D., Слонманской М.А., Дубко Н.А., Смординской Н. В., Давыдович А. Р., Алейнова А.А., Тельнова Ю.Ф., Казакова В.А., Данилова А.В., Денисов А. А., Желтенкова А.В. Сюзева О.В., Болгова М.А.

Результаты исследования отдельных вопросов управления в организационных системах представлены широким кругом публикаций по ряду направлений. В частности, Шторба О. исследовала цифровую трансформацию сетевой розничной торговли. Вопросы управления человеческими ресурсами в сетевых компаниях рассматривались Матвеевой Л.Г., Черновой О.А. и Хусейном А.А. В области архитектуры предприятия и реструктуризации ценностного предложения вклад внесли Файштейн Е.М. и Кувшинова В.В. Факторы, влияющие на устойчивые инновации на предприятиях изучались в работах Thongsri N., Chang A.K.

Для индивидуальной оценки пользовательского опыта Speicher M., Malaka R., Maab S., Boll-Westermann S. и Gaedke M. использовали показатель юзабилити (usability - пригодность использования, ГОСТ Р ИСО 9241-2016) с подтверждающим факторным анализом. Ваён-Gomis A., Tomás-Miquel J.-V. и Ехрósито-Langa M. провели эвристическую оценку системы с использованием шкалы юзабилити (SUS). Fatta H. A. и Mukti B. оценивали пользовательские интерфейсы, используя модель простоты использования (USE), а Supriadi O. A. применил принципы пользовательского интерфейса и золотое правило Шнайдермана.

Использование индивидуализированных интерфейсов веб-инструментов представляется наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения эффективности работы пользователей, но в настоящее время подобный подход слабо реализуем, в первую очередь ввиду его высокой стоимости.

Поэтому в рамках оценки качества пользовательского интерфейса с целью его адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту целесообразно применять групповые подходы, которые представлены двумя основными направлениями. Первое использует отдельные критерии юзабилити, а второе уделяет основное внимание анализу поведения пользователей.

Для групповой оценки пользовательского опыта Kous K., Pušnik M., Heričko M. и Polančič G. использовали непараметрический тест Крускала-Уоллиса. Для оценки доступности пользовательского интерфейса Casare A., Basso T., Guimarães da Silva C. и Moraes R. предложили модель надежности интерфейса (QM). Перминов Н. и Бакаев М. оценивали пользовательский интерфейс на основе онтологий, а Soui M., Chouchane M., Mkaouer M.W., Kessentini M. и Ghedira K. - на основе эволюционных алгоритмов. Zhang Y., Tennekes M., de Jong T., Curier L., Coecke B. и Chen M. разработали метод моделирования обеспечения качества (QA) на основе многоцелевой оптимизации. Бакаев М., Хворостов В., Heil S. и Gaedke M.

рассматривали оценку пользовательского интерфейса с помощью машинного обучения на основе ряда показателей визуальной сложности. Анализ пользовательского интерфейса на основе изображений с использованием функциональных нейронных сетей был проведен Бакаевым М., Чирковым Л., Хворостовым В., Heil S. и Gaedke M. Автоматизированная оценка пользовательского интерфейса на основе извлечения признаков с помощью глубокого обучения представлена в работах Soui M., Haddad Z., Trabelsi R., Srinivasan K.

Charfi S., Ezzedine H. провели анализ поведения пользователей как ключевого элемента пользовательского опыта. Бутковская Г.В. исследовала соответствие жизненного цикла продукта и пользовательского опыта. Sikorski M. выделил юзабилити как средство улучшения пользовательского опыта, показывая его решающую роль в проектировании и разработке информационных продуктов. Акишин В. А. исследовал управление клиентским опытом и его взаимосвязь с пользовательским опытом, подчеркнув важность ориентированных на пользователя подходов. Павелешек И., Polzehl T., Cao Y., Carmona V. I. S., Liu X., Hu C., Iskender N., Beyer A., Möller S. представили обзор методов сегментации пользователей и её применения на онлайн-платформах, подчеркивая значение адаптации продуктов к конкретным группам пользователей. Raizudeen S., Kumar K., Aras R. A. показали ценность сегментации пользователей в поддержке принятия управленческих решений.

Данные исследования используют групповые оценки по одному или нескольким отдельным параметрам. Задача интегральной групповой оценки пользовательского опыта в этих исследованиях не ставилась. Кроме того, изменение пользовательского опыта представляет собой изменение восприятия пользователем информационной системы, что приводит к изменению оценки качества пользовательского интерфейса со стороны пользователя при неизменности самого пользовательского интерфейса, как части веб-инструментария. Задача интеграции результатов анализа пользовательского опыта в оценку качества пользовательского интерфейса также ранее никем не решалась.

Объект исследования – пользовательский веб-инструментарий управления в сетевых организационных системах.

Предмет исследования – методы и алгоритмы оценки качества пользовательского интерфейса с учетом изменяющегося пользовательского опыта.

Цель исследования – развитие пользовательского веб-инструментария управления в сетевых организационных системах с учетом его адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать методический подход к развитию пользовательского веб-инструментария управления в сетевых организационных системах с

учетом его адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту на основе результатов оценки качества пользовательского интерфейса.

2. Разработать комплексную модель оценки качества пользовательского интерфейса, включающую совокупность параметров (удобство использования, производительность, доступность), с учетом распределения пользователей по уровню пользовательского опыта при оценке удобства использования.
3. Разработать метод групповой оценки пользовательского опыта на основе экспертных оценок с кластеризацией пользователей с помощью машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, а также с учетом расширенного набора компонентов удобства использования (обучаемости, полезности, эстетичности и анализа настроений).
4. Разработать программную реализацию предложенной модели и алгоритмов развития веб-инструментария управления в сетевых организационных системах с учетом адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту и опробовать её на практике.

Научная новизна исследования:

1. Предложен методический подход к разработке веб-инструментов управления сетевыми организационными системами, включающий механизм управления с обратной связью по результатам оценки качества пользовательского интерфейса, отличающийся адаптацией к изменяющемуся опыту пользователя и позволяющий определить направления развития данного веб-инструмента. (п. 9 паспорта специальности 2.3.4).

2. Разработана комплексная модель оценки качества пользовательского интерфейса по совокупности параметров, отличающаяся тем, что совокупность параметров является полной (удобство использования, производительность, доступность), а удобство использования оценивается с учетом распределения пользователей по уровню опыта использования, что позволяет принимать обоснованные решения по разработке веб-инструментов для управления сетевыми организационными системами (п. 5 паспорта специальности 2.3.4).

3. Предложен метод групповой оценки пользовательского опыта на основе экспертных оценок, отличающийся кластеризацией пользователей на базе машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, а также использованием расширенного набора компонентов юзабилити (обучаемость, полезность, эстетичность и анализ настроений), что позволяет более точно оценивать качество пользовательского интерфейса для управления сетевыми организационными системами, повышая эффективность работы пользователей, улучшая адаптацию веб-инструментария к пользовательскому опыту, обеспечивая более обоснованные решения по обновлениям информационной системы и

улучшениям функций для повышения эффективности управления сетевой организационной системой (п. 5 паспорта специальности 2.3.4).

Теоретическая значимость. Теоретическая значимость исследования заключается в развитии подходов к оценке качества пользовательского веб-инструментария управления в сетевых организационных системах, с учетом пользовательского опыта.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в разработке инструментов для оценки качества пользовательского веб-интерфейса на основе экспертного, пользовательского и автоматизированного подходов; метода и алгоритма интерпретации результатов кластеризации пользователей для определения критериев повышения качества веб-интерфейса для различных групп пользователей; программного обеспечения для использования в системе контроля качества пользовательского интерфейса.

Методология и методы исследований. В работе использована методология системных исследований. При проведении исследований применялись методы системного анализа, многокритериального принятия решений, машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, положения теории социотехнических систем и теории управления.

Основной эмпирической базой послужили данные, полученные автором в результате опросов экспертов и пользователей, а также применения методов автоматизированного тестирования веб-интерфейсов информационных систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложенный методический подход к разработке веб-инструментария управления сетевыми организационными системами, включающий механизм управления с обратной связью по результатам оценки качества пользовательского интерфейса, отличающийся его адаптацией к изменяющемуся пользовательскому опыту и позволяет обеспечить направления развития данного веб-инструмента.

2. Разработанная комплексная модель оценки качества пользовательского интерфейса по совокупности параметров, отличающаяся тем, что используемая совокупность параметров является полной (удобство использования, производительность, доступность), а удобство использования оценивается с учетом распределения пользователей по уровню пользовательского опыта, позволяет принимать обоснованные решения по разработке веб-инструментов управления сетевыми организационными системами.

3. Предложенный метод групповой оценки пользовательского опыта на основе экспертных оценок, отличающийся кластеризацией пользователей на базе машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, а также использованием расширенного набора компонентов юзабилити (обучаемость, полезность, эстетичность и анализ настроений), позволяет более точно оценивать качество пользовательского интерфейса для управления сетевыми

организационными системами, повышать эффективность работы пользователей, улучшать адаптацию веб-инструментария к пользовательскому опыту, обеспечивать более обоснованные решения по обновлениям информационной системы и улучшениям функций для повышения эффективности управления сетевой организационной системой.

Достоверность научных результатов. Достоверность результатов обеспечивается корректным применением методов исследования, использованием для разработки модели и алгоритмов реальных наборов данных, результатами опробования созданного программного продукта.

Личный вклад. Автор сформулировал постановку задачи, провел анализ состояния предметной области, сформулировал цели и задачи исследования, собрал и обработал необходимые данные, разработал гибридные математические модели, выполнил необходимые расчеты, разработал программную реализацию предложенных методов и алгоритмов и выполнил её экспериментальную проверку на реальных данных.

Апробация результатов. Основные результаты представлены на международных научных конференциях: Second International Conference on Recent Trends in Computing (ICRTC-2023) (Сандживани, Индия, 2023 г.); Международная конференция по технологиям электронного бизнеса (Белград, Сербия, 2023 г.); IEEE Уральско-Сибирская конференция по биомедицинской инженерии, радиоэлектронике и информационным технологиям USBEREIT (Екатеринбург, Россия, 2023 г.); Европейская, средиземноморская и ближневосточная конференция по информационным системам (EMCIS-2023) (Дубай, Объединенные Арабские Эмираты, 2023 г.); Конференция «Технологии будущего» (Ванкувер, Канада, 2021 г.); International Conference on Data Analytics for Business and Industry: Way Towards a Sustainable Economy (ICDABI-2020) (Сахир, Бахрейн, 2020 г.); 12-я Международная конференция по теории и практике электронного управления (ICEGOV-2019) (Мельбурн, Австралия, 2019 г.); Бизнес-инжиниринг сложных систем: модели, технологии, инновации (Донецк, 2019 г.); Весенние дни науки ВШЭМ (Екатеринбург, Россия, 2018 г.); Международная научная конференция "Цифровая трансформация общества, экономики, менеджмента и образования" (Екатеринбург, Россия, 2018 г.); 11-я Международная конференция по теории и практике электронного управления (ICEGOV-2028) (Голуэй, Ирландия, 2018 г.); Международная конференция по информационным технологиям (IVUS-2018) (Каунас, Литва, 2018 г.); 17-я Европейская конференция по цифровому правительству (ECDG-2017) (Лиссабон, Португалия, 2017 г.).

Внедрение результатов диссертационного исследования. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе в курсе "Инновации в бизнесе и информационные технологии (Акт внедрения от 27 июня 2024 г.), а также в ООО Мебельная компания «Альтерна» (Акт внедрения от 14 мая 2024 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 14 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 11 статей в изданиях, индексируемых в международной цитатно-аналитической базе Scopus; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы – 149 страниц. Работа содержит 45 рисунков, 41 формулу, 10 таблиц. Общее количество цитируемых автором литературных источников — 275.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Методический подход к разработке веб-инструментария управления сетевыми организационными системами, включающий механизм управления с обратной связью по результатам оценки качества пользовательского интерфейса, отличающийся его адаптацией к изменяющемуся пользовательскому опыту, позволяет обеспечить направления развития данного веб-инструмента.

В первой главе диссертации представлен методический подход к развитию веб-инструментария управления сетевыми организационными системами.

Сетевую компанию, как организационную систему, можно формально представить, как:

$$C = \langle \{U\}; \{S\}; R \rangle, \quad (1)$$

где $\{U\}$ – множество сотрудников компании, которые являются пользователями;

$\{S\}$ – множество ИТ-инструментов, включая веб-инструменты;

R – матрица связей между множествами.

В контексте настоящей работы множество $\{U\}$ характеризуется интегральным показателем пользовательский опыт UX , который складывается из индивидуальных значений UX_i , а множество $\{S\}$ характеризуется интегральным показателем качества - пользовательского интерфейса Q . Тогда состояние системы можно записать в виде:

$$C = \langle \{U\}; \{S\}; Q; UX; R \rangle. \quad (2)$$

Согласно работе Гарматина и Готская (2018)¹, Huang и т.д. (2018)², Miya и Govender (2022)³, Ma и т.д. (2023)⁴, Goosen (2023)⁵, Нурмухамедов (2024)⁶, качество пользовательского интерфейса Q есть функция многих переменных, в том числе пользовательского опыта UX . При прочих равных условиях, можно записать, что:

$$Q = f(UX). \quad (3)$$

В тоже время, значение UX - величина переменная во времени, то есть:

$$UX = f(t). \quad (4)$$

Такими образом, качество пользовательского интерфейса Q также становится функцией времени:

$$Q = f(UX(t)), \quad (5)$$

даже в том случае, когда пользовательский интерфейс остается неизменным.

Таким образом, состояние системы:

$$C = \{\{U\}; \{S\}; Q(UX(t)); UX(t); R\}. \quad (6)$$

Одним из параметров управления организационными системами является качество используемых информационных инструментов, в том числе, веб-инструментария. Поэтому, качество пользовательского интерфейса Q также становится одним из параметров управления.

Традиционно, значение Q является интегральной характеристикой, объединяющей критерии производительности (P), доступности (A) и удобства использования (юзабилити – USE):

$$Q = f(P, A, USE), \quad (7)$$

однако, согласно (5) значение Q меняется со временем ввиду своей зависимости от пользовательского опыта $UX(t)$, тогда:

$$Q = f(P, A, USE, UX(t)). \quad (8)$$

¹ Гарматина И. А., Готская И. Б. ВЛИЯНИЕ АНИМАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОВ НА UX ВЕБ-САЙТОВ //Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. – 2018. – С. 104-107.

² Huang H. C. et al. Who intends to play exergames? The flow-theoretic perspective //Journal of Electronic Commerce Research. – 2018. – Т. 19. – №. 2. – С. 154-163.

³ Miya T. K., Govender I. UX/UI design of online learning platforms and their impact on learning: A review //International Journal of Research in Business and Social Science (2147-4478). – 2022. – Т. 11. – №. 10. – С. 316-327.

⁴ Ma K. et al. Research on Influencing Factors of Elderly User Experience of Smart Home Social Software Based on Grounded Theory //International Conference on Human-Computer Interaction. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. – С. 17-30.

⁵ Goosen W. Curated eLearning in South Africa: A user burgeoning perspective //American Journal of Online and Distance Learning. – 2023. – Т. 5. – №. 1. – С. 1-24.

⁶ Нурмухамедов А. Я. ВЛИЯНИЕ ДИЗАЙНА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ЮЗАБИЛИТИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ //Вестник науки. – 2024. – Т. 3. – №. 5 (74). – С. 1146-1149.

Оценка качества пользовательского интерфейса Q в зависимости от пользовательского опыта $UX(t)$, которая изменяется со временем ввиду изменения $UX(t)$, представляет собой авторский методический подход.

Пользовательский опыт $UX(t)$ также является интегральным параметром, объединяющим индивидуальные оценки $UX_i(t)$ каждого i -го пользователя. В любой организационной системе имеет место широкое распределение сотрудников по значению UX , поэтому предлагается кластеризация пользователей по уровню UX с последующей взвешенной оценкой интегрального значения UX .

Цикл развития веб-инструментария управления сетевыми организационными системами на основе результатов оценки качества пользовательского интерфейса представлен на рисунке 1.

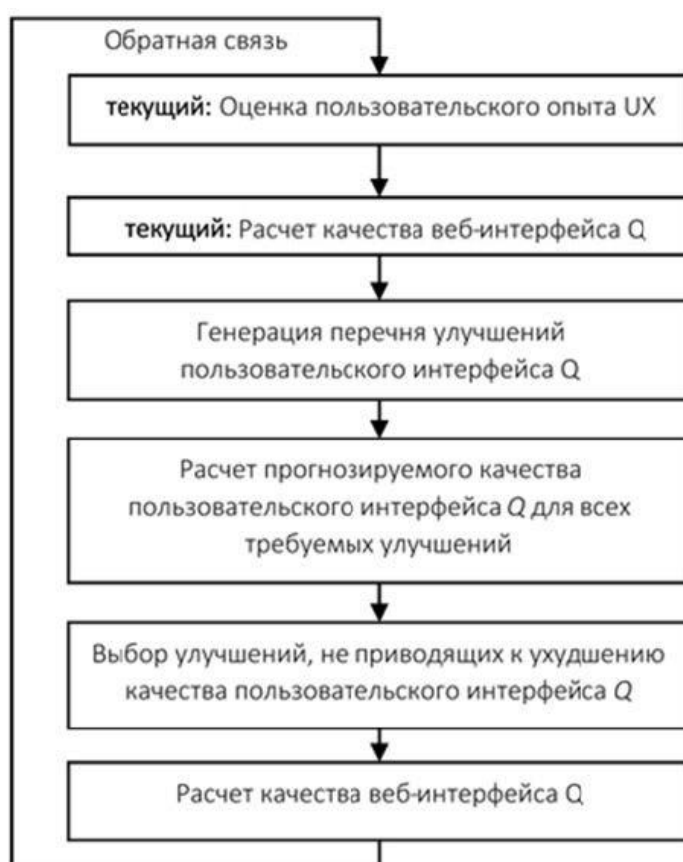


Рис. 1. Цикл развития веб-инструментария управления сетевыми организационными системами на основе результатов оценки качества пользовательского интерфейса

2. Комплексная модель оценки качества пользовательского интерфейса по совокупности параметров, отличающаяся тем, что используемая совокупность параметров является полной (удобство использования, производительность, доступность), а удобство использования оценивается с учетом распределения пользователей по уровню пользовательского опыта, **позволяет принимать обоснованные решения по разработке веб-инструментов управления сетевыми организационными системами.**

В рамках представленного в главе 1 диссертации методического подхода предложена комплексная модель оценки качества пользовательского интерфейса. Цель оценки качества веб-интерфейса пользователя — оптимизация и повышение интерактивности, эффективности и производительности системы с учетом требований пользователей. Для достижения этого важно обеспечить согласование оценки интерфейса с меняющимися ожиданиями пользователей и возможностями системы. Интеграция динамических методов оценки и адаптивных моделей позволяет создать комплексную структуру для обеспечения того, чтобы веб-инструменты оставались эффективными и ориентированными на пользователя.

Для создания модели, более ориентированной на пользователя, в случае с N пользователями предлагается метрика качества пользовательского интерфейса (Q_t) в момент времени t , полученная из линейной комбинации независимых переменных, представляющих набор показателей качества пользовательского интерфейса, измеренных с течением времени: $Q_t = \sum_{\{t \in \mathbb{Z} \mid t \leq 1\}} a_1 X_1^t + a_2 X_2^t + \dots + a_n X_n^t$, где X_n^t — независимые переменные, характеризующие качество пользовательского интерфейса в момент времени t , a_n — коэффициенты, представляющие веса каждой переменной.

Чтобы учесть распределение пользователей по опыту работы с системой X_{Ui} , для каждого пользователя измеряется переменная метрики удобства использования (i). Можно классифицировать пользователей по дискретным уровням, установленным менеджером по продукту X_{Ui} , можно назначать различные значения в зависимости от уровня опыта пользователя. Кроме того, функция распределения может использоваться для расчета вероятности того, что пользователю будет присвоено определенное значение L , и X_{Ui} принадлежат определенному сегменту пользователей (полученному на основе алгоритма сегментации). На базовом уровне пользователи также могут быть сгруппированы по их уровню. Эти формы сегментации (базовая или сложная алгоритмическая) можно использовать для понимания распределения пользовательского опыта (представленного качеством пользовательского интерфейса) и того, как систему можно улучшить с учетом его разных уровней (итеративно для: $t+1$).

В результате исследования предложено использовать интегративную модель оценки качества веб-интерфейса (Q). Она основана на трёх показателях: юзабилити, производительности и доступности. Для определения Q применяется математическое моделирование с использованием многокритериального принятия решений (MCDM), аналитического иерархического процесса (АИП) и статистического анализа. В исследовании АИП используется для ранжирования показателей качества веб-интерфейса на основе экспертного опроса (рисунок 2). В качестве экспертов выступают участники веб-платформы, разбирающиеся в веб-дизайне, разработке, UI/UX и обеспечении качества UI/UX (рисунок 3).

Эксперт проводит серию парных сравнений альтернатив на одном уровне, оценивая их относительную важность.

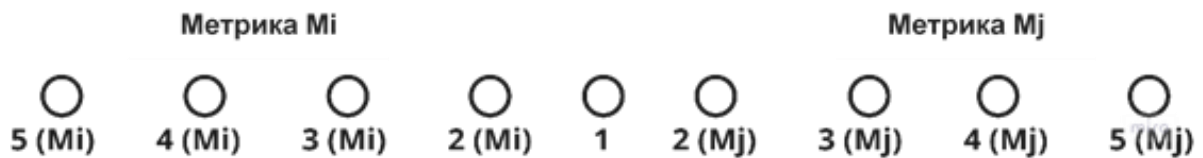


Рис. 2. Пример парного сравнения показателей в опросе

Метод собственных векторов Саати используется для оценки приоритетов в матрице суждений АНР:

$$M = \begin{bmatrix} m_{P,P} & m_{P,A} & m_{P,USE} \\ m_{A,P} & m_{A,A} & m_{A,USE} \\ m_{USE,P} & m_{USE,A} & m_{USE,USE} \end{bmatrix} \quad (9)$$

где: M – Матрица попарного сравнения;

P – показатель производительности;

A – показатель доступности;

USE – показатель юзабилити.

$$m_{ij} > 0, m_{ij} = (m_{ji})^{-1}, m_{ii} = 1, \text{ and } i, j = P, A, USE. \quad (10)$$

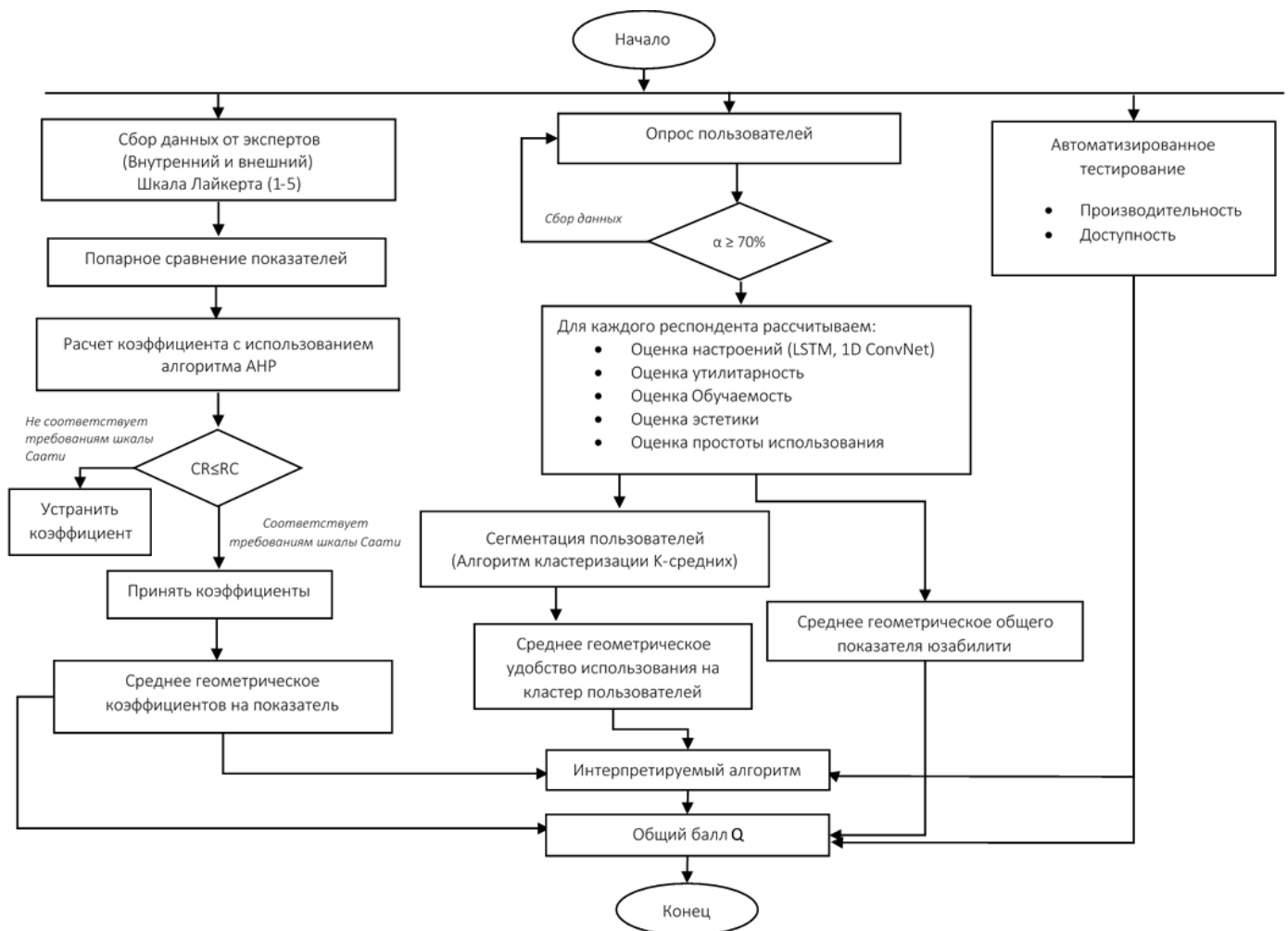


Рис. 3. Модель оценки качества веб-интерфейса

На следующем этапе проводится нормализация матрицы попарного сравнения на основе суммы столбцов:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{m_{P,P}}{\sum m_{iP}} & \frac{m_{P,A}}{\sum m_{iA}} & \frac{m_{P,USE}}{\sum m_{iUSE}} \\ \frac{m_{A,P}}{\sum m_{iP}} & \frac{m_{A,A}}{\sum m_{iA}} & \frac{m_{A,USE}}{\sum m_{iUSE}} \\ \frac{m_{USE,P}}{\sum m_{iP}} & \frac{m_{USE,A}}{\sum m_{iA}} & \frac{m_{USE,USE}}{\sum m_{iUSE}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Далее следует суммирование нормализованных элементов, деленное на общее число сравниваемых факторов ($n=3$), для получения локального веса альтернатив:

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_P \\ \omega_A \\ \omega_{USE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{m_{P,P}}{\sum m_{iP}/n} + \frac{m_{P,A}}{\sum m_{iA}/n} + \frac{m_{P,USE}}{\sum m_{iUSE}/n} \\ \frac{m_{A,P}}{\sum m_{iP}/n} + \frac{m_{A,A}}{\sum m_{iA}/n} + \frac{m_{A,USE}}{\sum m_{iUSE}/n} \\ \frac{m_{USE,P}}{\sum m_{iP}/n} + \frac{m_{USE,A}}{\sum m_{iA}/n} + \frac{m_{USE,USE}}{\sum m_{iUSE}/n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

где ω — набор глобальных весов для $n = 3$ альтернатив $\omega = \{\omega_P, \omega_A, \omega_{USE}\}$.

Вектор согласованности рассчитывается (матрица $M \times \omega$) для контроля согласованности весовых значений (ω) и получения наилучшего приближения собственного вектора:

$$M \times \omega = \begin{bmatrix} m_{P,P} & m_{P,A} & m_{P,USE} \\ m_{A,P} & m_{A,A} & m_{A,USE} \\ m_{USE,P} & m_{USE,A} & m_{USE,USE} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \omega_P \\ \omega_A \\ \omega_{USE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_P \\ x_A \\ x_{USE} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\lambda_{max} = \sum_{i=\{P,A,USE\}}^n \frac{x_i}{\omega_i} \quad (14)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, CR = \begin{cases} < 0.1, & \text{приемлемо} \\ \geq 0.1, & \text{неприемлемо} \end{cases} \quad (16)$$

где: λ_{max} — максимальное число матрицы парных сравнений;

CI — индекс согласованности;

CR — отношение согласованности;

RI — средние соглашения.

RI пропорционален размеру матрицы ($n \times n$). CR не должен превышать 0,1 (10%), поскольку $CR > 0,1$ указывает на противоречивые результаты, поэтому процедуру необходимо повторить, а данные этих сравнений исключить.

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\infty} (P_i \omega_P) + (A_i \omega_A) + (USE_i \omega_{USE}) \quad (17)$$

$$USE_i = \left(\prod_{j=1}^n \check{u}_j \right)_i^{\frac{1}{n}} \quad (18)$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\infty} (P_i \omega_P) + (A_i \omega_A) + \left(\left(\prod_{j=1}^n \check{u}_j \right)_i^{\frac{1}{n}} \omega_{USE} \right) \quad (19)$$

где: Q - показатель качества веб-интерфейса;

t - время (в месяцах/годах);

ω_A - коэффициент доступности веб-интерфейса;

A_i - оценка доступности веб-интерфейса;

ω_P - коэффициент производительности веб-интерфейса;

P_i - оценка производительности веб-интерфейса;

ω_{USE} - коэффициент юзабилити веб-интерфейса;

USE_i - оценка юзабилити веб-интерфейса.

Для опробования предложенной комплексной модели используются данные, полученные от участников рынка невзаимозаменяемых токенов (NFT) Web 3.0 – AtomicHub.

1. Определение коэффициента основано на парном сравнении, проведенном 11 экспертами, а именно: одним дизайнером пользовательского интерфейса, четырьмя разработчиками Fullstack, двумя тестировщиками приложений и четырьмя менеджерами ИТ-проектов: $\omega_P=0,36$ $\omega_A=0,27$ $\omega_U =0,37$. Результат указывает на то, что участники рынка придают большее значение удобству использования веб-инструмента, чем его производительности и доступности.

2. Автоматическая оценка с помощью инструмента Google Lighthouse дала следующие результаты:

- оценка веб-производительности (P_1) = 25 %;
- оценка веб-доступности (A_1) = 97 %.

3. Оценка на основе опроса пользователей с участием 112 респондентов. Результаты, полученные по формуле расширенного вопросника SUS, следующие:

- оценка юзабилити веб-сайта (USE_1) = 61,84%;
- общий показатель качества веб-интерфейса:

$$Q_1=(0,25 \times 0,36)+(0,97 \times 0,27)+(0,6184 \times 0,37) \approx 0,58=58\%.$$

Оценка качества *UI* составила 58% (для итерации $t = 1$), что является плохим результатом, но выше среднего. Веб-инструмент нуждается в улучшении. После улучшения будет проведён новый автоматизированный тест и тест на удобство использования для итерации $t = 2$, согласно циклу, представленному на рисунке 1.

3. Метод групповой оценки пользовательского опыта на основе экспертных оценок, отличающийся кластеризацией пользователей на базе машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, а также использованием расширенного набора компонентов юзабилити (обучаемость, полезность, эстетичность и анализ настроений), **позволяет более точно оценивать качество пользовательского интерфейса для управления сетевыми организационными системами, повышать эффективность работы пользователей, улучшать адаптацию веб-инструментария к пользовательскому опыту, обеспечивать более обоснованные решения по обновлениям информационной системы и улучшениям функций для повышения эффективности управления сетевой организационной системой.**

Сегментация пользователей по уровням опыта даёт лицам, принимающим решения, представление о потребностях и проблемах пользователей в системе. Поэтому внедрение предлагаемой методики ведёт к повышению эффективности веб-инструментов, посредством их адаптации под разнообразные потребности пользователей, что достигается с помощью алгоритма кластеризации k -средних. Расчет проводится следующим образом. Используя алгоритм кластеризации, этот подход учитывает разнообразные взаимодействия пользователя с пользовательским интерфейсом с целью улучшения его качества. Подход поддерживает итеративные обновления, адаптированные к различным группам пользователей, способствуя созданию адаптивной системы, которая остается актуальной и эффективной (рисунок 4). Набор данных (в данном случае данные пользовательского тестирования из психометрического исследования юзабилити) представлен как $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в евклидовом пространстве (d -мерном) \mathbb{R}^d . Центры кластеров (c), представлены как $A = \{a_1, a_2, \dots, a_c\}$. Кроме того, пусть $z = [z_{ik}]_{n \times c}$, где z_{ik} – двоичная переменная ($z_{ik} \in \{0, 1\}$), представляющая точку данных x_i , принадлежит кластеру k ($k = \{1, \dots, c\}$). Таким образом, целевая функция алгоритма k -средних представляется как $J(z, A) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c z_{ik} \|x_i - a_k\|^2$. Алгоритм повторяется, чтобы минимизировать целевую функцию $J(z, A)$ путем обновления центров кластера и точек данных его членов соответственно, как:

$$a_k = \sum_{i=1}^n z_{ik} x_{ij} / \sum_{i=1}^n z_{ik} \quad (20)$$

$$z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } \|x_i - a_k\|^2 = \min_{1 \leq k \leq c} \|x_i - a_k\|^2 \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (21)$$

В работе предложено применить метод объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ) - SHAP (аддитивные объяснения Шепли) - к модели кластеризации пользователей для улучшения её надёжности, а также для

интерпретации функций, влияющих на классификацию. Значение Шепли получает на вход заданную функцию $2^M \rightarrow R$, производит определения Φ_i для каждого пользователя $i \in M$, которые в сумме составляют $f_x(M)$:

$$\Phi_i(f, x) = \sum_{z' \subseteq x'} \frac{|z'|!(M-|z'|-1)!}{M} [f_x(z') - f_x(z' \setminus i)], \quad (22)$$

где n – количество пользователей;

M – количество участников коалиции z' (все возможные подмножества).

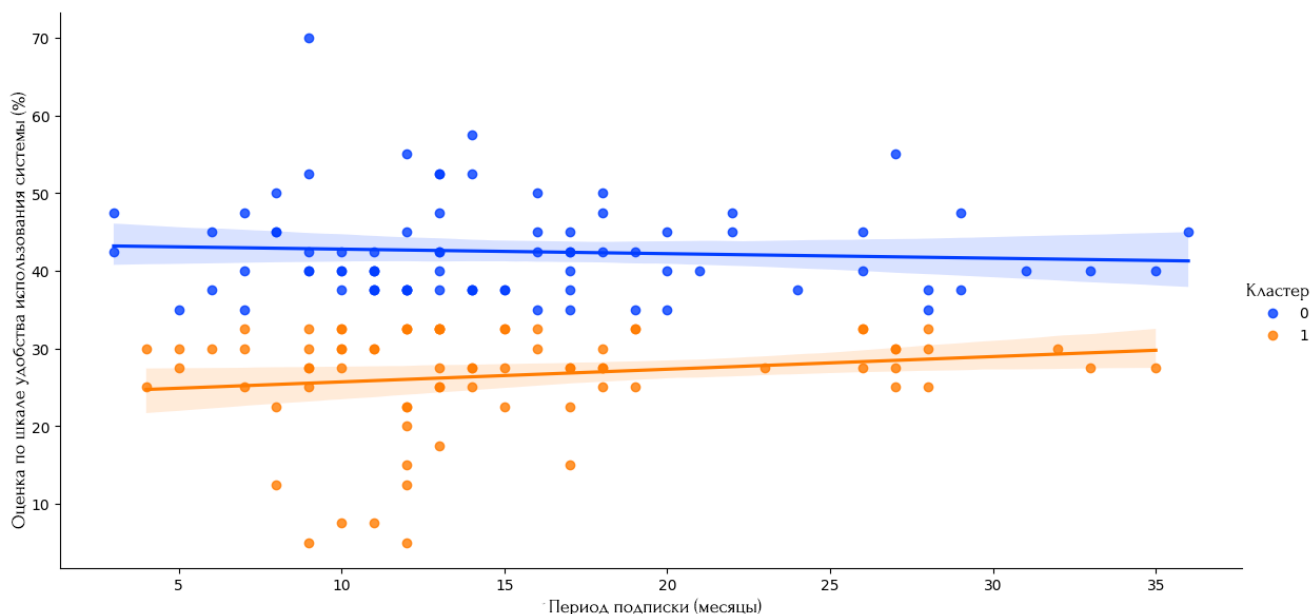


Рис. 4. Результаты применения метода кластеризации пользователей по уровню пользовательского опыта

В работе предложено применить метод объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ) - SHAP (аддитивные объяснения Шепли) - к модели кластеризации пользователей для улучшения её надёжности, а также для интерпретации функций, влияющих на классификацию. Значение Шепли получает на вход заданную функцию $2^M \rightarrow R$, производит определения Φ_i для каждого пользователя $i \in M$, которые в сумме составляют $f_x(M)$:

$$\Phi_i(f, x) = \sum_{z' \subseteq x'} \frac{|z'|!(M-|z'|-1)!}{M} [f_x(z') - f_x(z' \setminus i)], \quad (23)$$

где n – количество пользователей;

M – количество участников коалиции z' (все возможные подмножества).

Выражение выше выводит значение Шепли (Φ) для конкретной функции (i), например, полезности системы, эстетики, технического уровня пользователя или продолжительности занятости пользователя для модели сегментации (f).

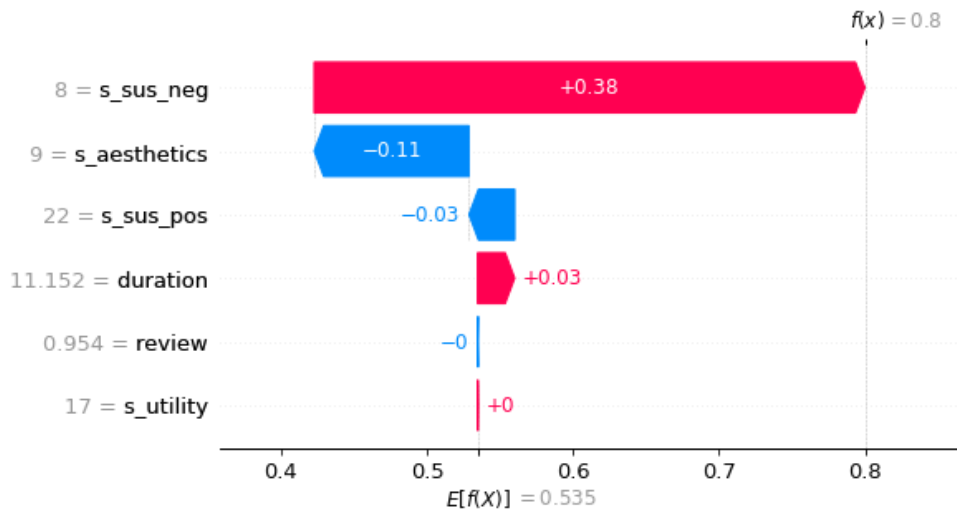


Рис. 5. Вклад пользовательских параметров в кластеры (кластер 0)

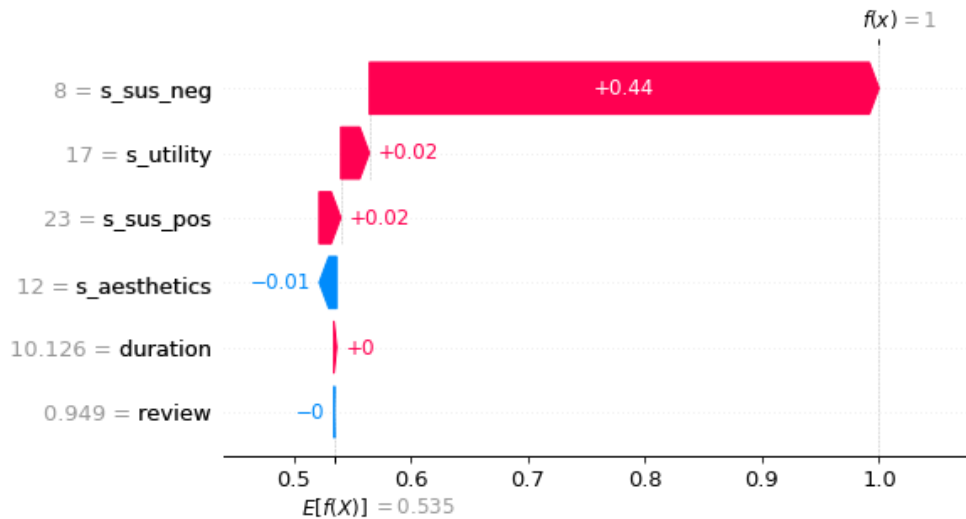


Рис.6. Вклад пользовательских параметров в кластеры (кластер 1)

На рисунках 5 и 6 показаны функции, которые влияют на выходные данные модели: характеристики, повышающие прогноз, показаны красным, а ухудшающие — синим. В упомянутом выше примере опробования метода ожидаемое значение $E[f(X)] = 0,535$, отрицательные компоненты шкалы юзабилити системы внесли вклад в оба кластера, при этом продолжительность использования системы не является способствующим фактором для кластера 1, тогда как для кластера 0 — наоборот. Параметры упорядочены по их важности; в порядке убывания. Функции/параметры включают в себя: оценку удобства использования системы (отрицательные вопросы (s_sus_neg) и положительно сформулированные вопросы (s_sus_pos)); субметрика эстетики ($s_aesthetics$); субметрика утилитарность ($s_utility$); период подписки пользователя ($duration$); оценка настроений ($review$). Благодаря механизму обратной связи, лица, принимающие решения своевременно получают информацию для улучшения веб-инструментария, что способствует повышению общей эффективности работы организационной системы.

Программная реализация предложенной модели и алгоритмов развития веб-инструментария управления сетевыми организационными системами с учетом адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту. Исследования были сосредоточены на разработке и внедрении программного обеспечения для сетевых организационных систем на основе предложенной модели.

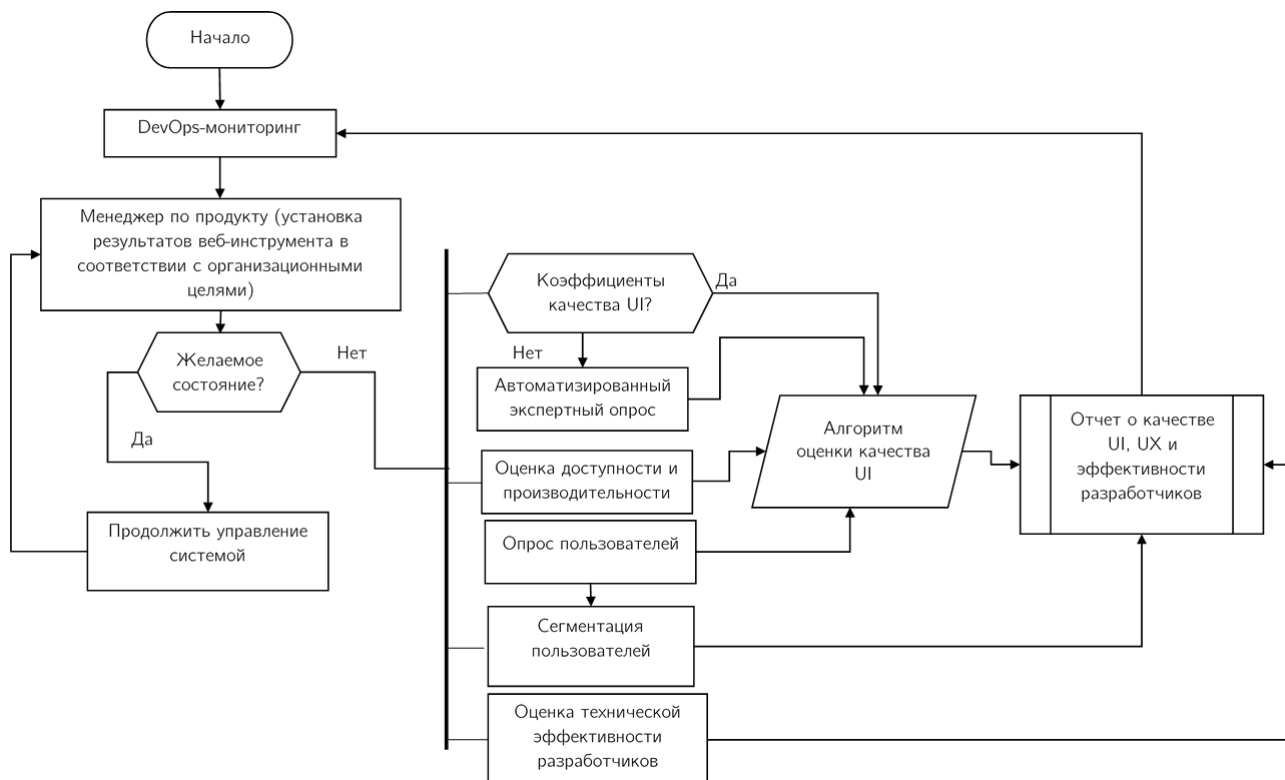


Рис. 7. Алгоритм совершенствования веб-инструментария управления сетевыми организационными системами с учетом адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту

На рисунке 7 представлен алгоритм совершенствования веб-инструментария управления в сетевых организационных системах с учетом адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту. Он состоит из комбинации всех алгоритмов и методов, предложенных в исследовании. Этот процесс происходит после развертывания и начинается с мониторинга процесса DevOps, который переходит в параллельный процесс оценки качества пользовательского интерфейса (в зависимости от опроса пользователей и экспертов), сегментации пользователей и технической эффективности разработчика.

Такой структурированный подход гарантирует, что пользовательский интерфейс постоянно оценивается и совершенствуется на основе комплексных показателей и данных сегментации пользователей, что в итоге направлено на улучшение пользовательского опыта. Для реализации программы используется стек программирования MERN, основанный на архитектуре Модель-Представление-Контроллер (MVC). Разработанный программный комплекс HybridUIEval направлен на управление организационными системами с учётом меняющихся требований пользователей (рисунок 8).

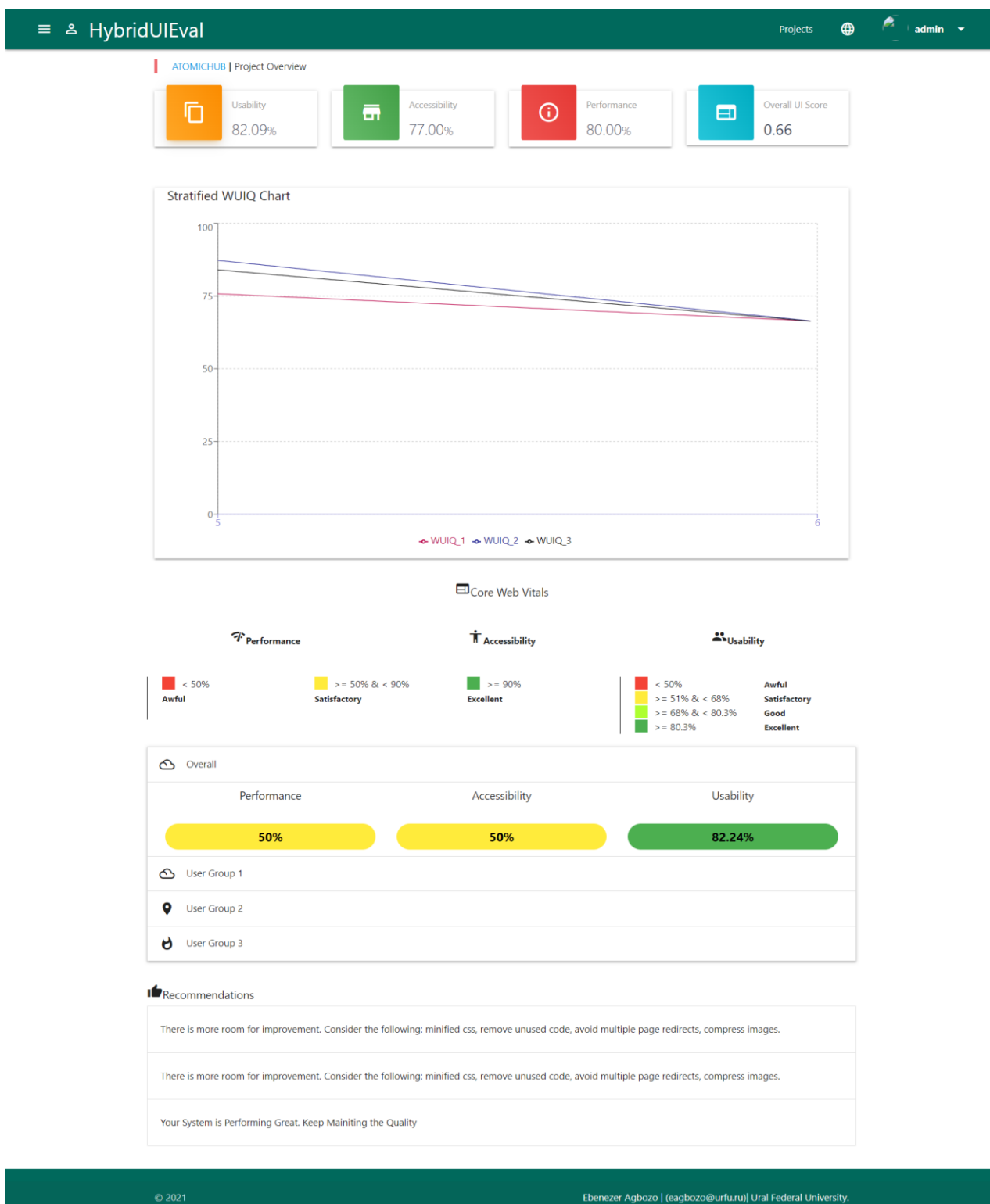


Рис. 8. Панель пользовательского интерфейса для оценки веб-инструментария

С помощью таких показателей, как время завершения проверки кода, скорость реализации функций и уровень разрешения ошибок, команды могут определить области для улучшения, выявить узкие места и оптимизировать рабочие процессы для создания более совершенных и удобных для пользователя интерфейсов. В исследовании для измерения эффективности агентов в системе и итеративного совершенствования методов использовался метод анализа оболочки

данных data envelopment analysis (DEA). Метод основан на линейном программировании и позволяет проводить сравнение нескольких блоков принятия решений на основе их эффективности. Подмножество оценки эффективности в отношении DEA, техническая эффективность (TE), измеряет, насколько хорошо несколько DMU (модули принятия решений) получают максимальный выход на основе заданных входных данных. На рисунке 9 представлена схема, которую используется для оценки технической эффективности команды разработчиков, она представляет собой набор DMU $\{1, \dots, N\}$, которые получают набор входных ресурсов (x_i) для выполнения набора управляющих действий (K_n^T где $n \geq 1, T$ – время) в информационной веб-системе.

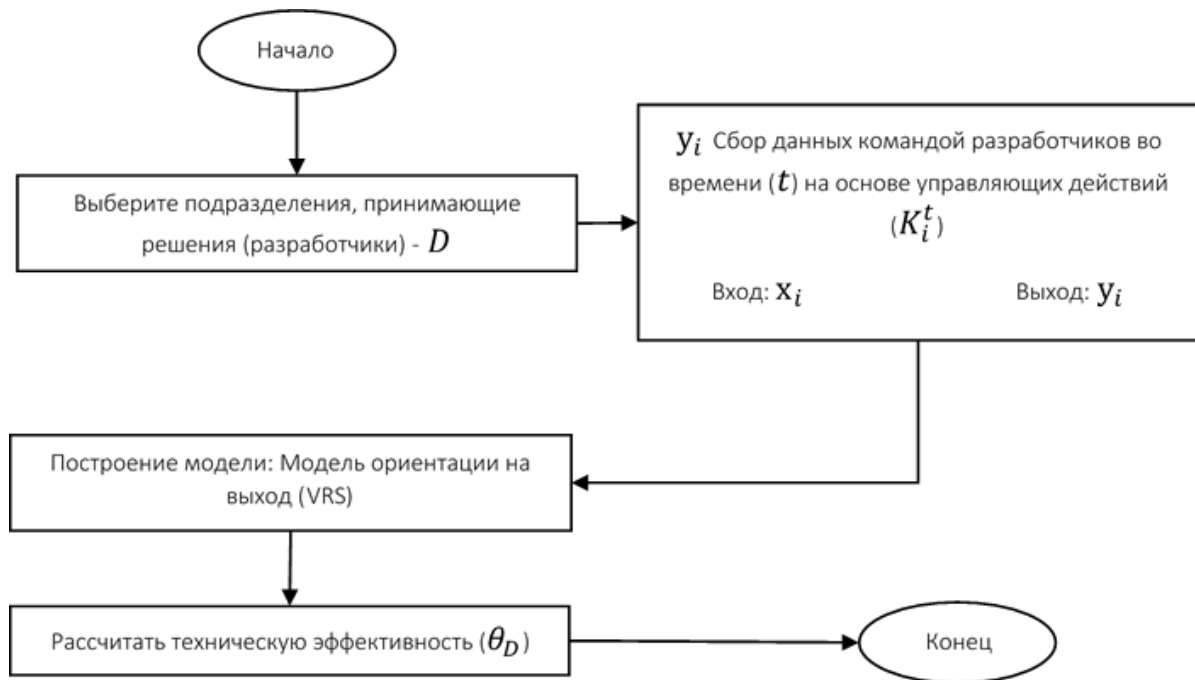


Рис. 9. Алгоритм оценки технической эффективности команды разработчиков

Пользователи внутри сетевой организационной системы взаимодействуют с веб-инструментами, и со временем (T) применяется цикл оценки качества пользовательского веб-интерфейса (рисунк 1). Кроме того, в результате управляющих воздействий разработчиков (K_n^T) и оценки пользовательских метрик (y_i) получается набор измеримых выходных метрик (Q_T) развития информационной системы. Таким образом, DEA используется для оценки разработчиков (DMU - модули принятия решений) с целью улучшения веб-инструментария и соответственно повышения эффективности сетевой организационной системы в целом.

Таким образом, цель использования DEA в этом контексте состоит в том, чтобы принять модель, ориентированную на результат, где будет предоставлена ценная информация о том, насколько эффективно DMU (т. е. разработчики) могут преобразовать свои доступные ресурсы (входы) в желаемые результаты (выходы). Принимая метрики из DevOps Research and Assessment (DORA), учитывая набор разработчиков $\{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5\}$ с их индивидуальными метриками ввода и

вывода, следующие метрики используются в качестве показателей ввода и вывода и могут быть получены из современных экосистем разработки, таких как децентрализованные репозитории.

Входная метрика (x_n): x_1 - частота утвержденного развертывания $f_{deploy} = \frac{|D|}{t_n - t_0}$.

Выходные показатели (y_n): y_1 – обратное время выполнения изменений $LTFC = \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} t$, y_2 – обратный коэффициент отказов при изменении $CFR = \frac{|D_u|}{|D|}$.

В DEA, ориентированном на результат, основное внимание уделяется максимизации результатов при сохранении постоянных затрат. В контексте оценки эффективности разработчиков с использованием выходных данных (обратный LTFC и обратный CFR) и входных данных (частота утвержденных развертываний) DEA, ориентированный на результат, направлен на определение того, насколько эффективно разработчики используют свои входные ресурсы для получения желаемых результатов.

В заключении представлены основные результаты, полученные в ходе исследования, сделаны выводы и обозначены перспективы работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании изучения современного состояния экспериментальных исследований, технических и программных средств предложен методический подход к разработке веб-инструментария управления сетевыми организационными системами, включающий механизм управления с обратной связью по результатам оценки качества пользовательского интерфейса, отличающийся его адаптацией к изменяющемуся пользовательскому опыту и позволяющий определять направления развития данного веб-инструмента.

2. Разработана комплексная модель оценки качества пользовательского интерфейса по совокупности параметров, отличающаяся тем, что используемая совокупность параметров является полной (удобство использования, производительность, доступность), а удобство использования оценивается с учетом распределения пользователей по уровню пользовательского опыта, что позволяет принимать обоснованные решения по разработке веб-инструментов управления сетевыми организационными системами.

3. Предложен метод групповой оценки пользовательского опыта на основе экспертных оценок, отличающийся кластеризацией пользователей на базе машинного обучения и интерпретируемого искусственного интеллекта, а также использованием расширенного набора компонентов юзабилити (обучаемость, полезность, эстетичность и анализ настроений), что позволяет более точно оценивать качество пользовательского интерфейса для управления сетевыми организационными системами, повышать эффективность работы пользователей, улучшать адаптацию веб-инструментария к пользовательскому опыту, обеспечивать более обоснованные решения по обновлениям информационной системы и улучшениям функций для повышения эффективности управления сетевой организационной системой.

4. Разработана программная реализация предложенной модели и алгоритмов развития веб-инструментария управления сетевыми организационными системами с учетом адаптации к изменяющемуся пользовательскому опыту и опробована на практическом примере.

Перспективы дальнейшего развития темы исследования. Предполагается сосредоточить внимание на интеграции генеративных моделей искусственного интеллекта для улучшения качества пользовательского интерфейса, а также на расширении метрик DORA (исследования и оценка DevOps) с целью включения автоматизированного сбора метрик для улучшения модели адаптации к пользовательскому опыту.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. **Agbozo E.** Developing a digital government framework for Sub-Saharan Africa / Agbozo E. // The Proceedings of 17th European Conference on Digital Government ECDG. – 2017. – pp. 294-305. 0,92 п.л. (Scopus).
2. **Agbozo E.** Evaluating Metropolitan Assembly Web Sites in Ghana: Accessibility, Compatibility and Usability / Agbozo E., Spassov K. // Webology. – 2018. – Vol. 15. – №. 1. (1,73 п.л. / 0,97 п.л.). (Scopus).
3. **Agbozo E.** Establishing efficient governance through data-driven e-government / Agbozo E., Spassov K. // Proceedings of the 11th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. – 2018. – pp. 662-664. 0,35 п.л. (Scopus).
4. **Agbozo E.** Enhancing e-Participation via gamification of e-Government platforms: A possible solution to Sub-Saharan African e-Government initiatives / Agbozo E., Chepurov E. // CEUR Workshop Proceedings. – CEUR-WS, 2018. – Vol. 2145. – pp. 83-86. (0,58 п.л. / 0,46 п.л.). (Scopus).
5. **Agbozo E.** Factors influencing adoption of eHealth technologies in Ghana / Kesse-Tachi A., Asmah A. E., Agbozo E. // Digital health. – 2019. – Vol. 5. 2055207619871425. (1,96 п.л. / 1,38 п.л.). (Scopus).
6. **Agbozo E.** Data-driven E-Government: Exploring the Socio-Economic Ramifications / Agbozo E., Asamoah B. K. // JeDEM-eJournal of eDemocracy and Open Government. – 2019. – Vol. 11. – №. 1. – pp. 81-90. (1,16 п.л. / 0,73 п.л.). (Scopus).
7. **Agbozo E.** Applying Apriori Rules Mining in Evaluating Digital Government Services Patronization by a Younger Generation of Users in Russia / Agbozo E. // TEM Journal. – 2019. – Vol. 8. – №. 4. – pp. 1207-1212. 0,69 п.л. (Scopus).
8. **Agbozo E.** A cognitive computing conceptual model for agile e-government design / Agbozo E., Medvedev A. N. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2020. – №. 3. – С. 51-60. (0,70 п.л. / 0,52 п.л.).

9. **Agbozo E.** Leveraging Context Awareness in Designing Mobile E-Government / Agbozo E., Medvedev A. N. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2020. – №. 4 (133). – С. 4-21. (1,85 п.л. / 1,42 п.л.).
10. **Агбозо Э.** О многоканальной модели предоставления услуг в управляемом данными государственном секторе / Агбозо Э., Медведев А. Н. // Бизнес-информатика. – 2020. – Т. 14. – №. 1. – С. 41-50. (0,70 п.л. / 0,52 п.л.).
11. **Agbozo E.** A Bibliometric Perspective of Digital Economy Research in Russia / Agbozo E. // Digital Transformation and New Challenges. – Springer, Cham, 2020. – pp. 25-36. 1,04 п.л. (Scopus).
12. **Agbozo E.** An Analysis of the Persuasive Technology Design Features that Support Behavioural Change / Asmah A., Ofoeda J., Agbozo E. // Proceedings of the Future Technologies Conference. – Springer, Cham, 2021. – pp. 726-737. (1,73 п.л. / 0,88 п.л.). (Scopus).
13. **Agbozo E.** Web Usability Segmentation-Appling K-Means Clustering to the System Usability Scale / Agbozo E. // 2023 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), Yekaterinburg, 15–17.05.2023. – Yekaterinburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – pp. 206-209. 0,58 п.л. (Scopus).
14. **Agbozo E.** Using Computational Knowledge Extraction Approach to Assess Three Decades of Health Management Information Systems for Informed Actions / Kuika Watat J., Agbozo E. // European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference on Information Systems. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – pp. 248-260. (1,62 п.л. / 0,96 п.л.). (Scopus).

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617723 RU. «HybridUIEval» / Агбозо Э. – № 2022617723, дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 25.04.2022.

Другие публикации:

16. **Agbozo E.** Gamification of Educational Payment Systems in Learning Environments / Cherpurov E., Agbozo E. // Весенние дни науки ВШЭМ. – 2018. – С. 262-267. (0,81 п.л. / 0,41 п.л.).
17. **Agbozo E.** Applying Multi-Criteria Decision Making to Prioritization of Web 3.0 Development Factors / Agbozo E., Kumar A., Awad A. S. S. // E-business technologies conference proceedings. – 2023. – Vol. 3. – №. 1. – pp. 229-232. (0,46 п.л. / 0,21 п.л.).