

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права

УДК 004.9; 004.75

РЕШЕТНЯК

Александр Витальевич

**СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И
РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА В ИНФРАСТРУКТУРУ
ЦИФРОВЫХ УСЛУГ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 –

Системный анализ, управление и обработка информации

Минск, 2025

Научная работа выполнена в Белорусском государственном университете

Научный руководитель –

Дравица Виктор Иванович,
кандидат физико-математических наук,
доцент, директор НИРУП «Межотраслевой
научно-практический центр систем
идентификации и электронных деловых
операций»

Официальные оппоненты:

Сморodin Виктор Сергеевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой математических
проблем управления и информатики
учреждения образования «Гомельский
государственный университет имени
Франциска Скорины»

Олизарович Евгений Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
начальник информационно-аналитического
центра учреждения образования
«Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы»

Оппонирующая организация –

Учреждение образования «Белорусская
государственная академия связи»

Защита состоится 30 мая 2025 г. в 12.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.02 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская 8, корпус юридического факультета, ауд. 407.

Телефон ученого секретаря: 209- 55-58; e-mail: kochyn@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «18» апреля 2025 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



В.П. Кочин

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение и развитие современных цифровых платформ является актуальным трендом эволюции современного общества, в том числе в системе образования, где формируется необходимость реализации межведомственных проектов и требуется развитие цифровых услуг для учащихся, количество которых в Республике Беларусь составляет около 1,5 млн (более 16 % населения страны).

Активное взаимодействие системы образования с другими сферами экономики формируют необходимость реализации межведомственных проектов, интеграции ведомственных автоматизированных систем, предоставления комплексных цифровых услуг гражданам, формирования отчетной и прогнозной информации, что в свою очередь требует применения новых подходов.

Проблемы информатизации образования широко рассмотрены в работах отечественных и зарубежных ученых: Абламейко С. В., Воротницкого Ю. И., Кочина В. П., Курбацкого А. Н., Листопада Н. И., Паньшина Б. Н., Садовниченко В. А. Возможные пути применения технологии блокчейн для модернизации управления электронным документооборотом в системе образования Республики Беларусь рассмотрены в диссертационной работе Качана Д. А. В работах указанных авторов не раскрыты вопросы аутентификации пользователей цифровых услуг, предоставляемых в системе образования и на межведомственном уровне. Не рассматриваются проблемы взаимодействия разнородных автоматизированных систем с автоматизированными системами учреждений образования, недостаточно глубоко рассмотрены вопросы сквозной аутентификации пользователей цифровых услуг, реализуемых на межведомственном уровне при взаимодействии по принципу «система-система».

В рамках диссертации исследуется системная интеграция технологий радиочастотной идентификации и распределенного реестра для создания цифровой платформы развития цифровых услуг на примере инфраструктуры сферы образования, обеспечивающей унификацию подходов к интеграции информационных систем независимо от уровня их технической зрелости, а также внедрение новых цифровых инструментов оценки критериев качества предоставляемых услуг и развития цифровой платформы.

В работе предложены подходы, которые позволяют создавать цифровые платформы и совершенствовать методологию развития электронных услуг, а также предоставляют возможность сохранения независимости корпоративного периметра информационно-технической инфраструктуры сторонних автоматизированных информационных систем, ориентированных на внедрение

электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами.

Диссертационная работа выполнена на кафедре технологий программирования факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета и апробирована в рамках следующих программ и заданий, выполненных Государственным предприятием «Центр систем идентификации»:

- Задание 1.8.1 «Методология создания умных контрактов для систем прослеживаемости цепей поставок с применением технологий семантического WEB, EPCIS/CBV, DLT/BLOCKCHAIN и разработка соответствующего API для интеграции учетных систем предприятий-участников» Государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 годы, подпрограмма 1 «Цифровые технологии и космическая информатика» (2021–2023);

- Задание 1.2.11 «Исследование и разработка прототипа информационной системы цифрового мониторинга маркированных RFID-метками объектов на основе технологий распределенных реестров (DLT/blockchain)» Государственной программы научных исследований «Информатика, космос и безопасность» на 2016–2020 годы (2019–2020);

- Инновационный проект «Развитие электронных сервисов для предоставления услуг учащимся города Минска на основе многофункциональных интеллектуальных документов» (2017–2018);

- Инновационный проект «Разработать и ввести в эксплуатацию комплексную автоматизированную систему централизованного использования интеллектуальных документов в системе образования Республики Беларусь на базе RFID-технологий» (2012–2013).

Цель, задачи, объект и предмет исследования. Целью исследования является разработка цифровой платформы с использованием технологий радиочастотной идентификации, Интернета вещей и распределенного реестра для интеграции разнородных информационных систем, предоставляющих электронные услуги обучающимся.

В соответствии с целью диссертации необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ современного развития электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов и сформулировать оптимизированные подходы к организации цифровой платформы,

ориентированной на развитие электронных услуг, предоставляемых сторонними автоматизированными информационными системами. Разработать структуру цифровой платформы, обеспечивающую бесшовную интеграцию с другими информационными системами независимо от уровня их технической зрелости с целью обеспечения возможности предоставления электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся.

2. Разработать алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии и организаций-поставщиков электронных услуг для обеспечения функционирования цифровой платформы предоставления электронных услуг в системе образования и в других сферах экономики.

3. Разработать модели оценки рейтинга поставщика цифровой услуги, качества цифровой услуги и развития комплекса услуг, предоставляемых цифровой платформой с использованием многофункциональных электронных документов обучающихся.

Объектом исследования являются цифровые услуги, предоставляемые обучающимся, на примере многофункциональных электронных документов.

Предметом исследования является цифровая платформа на основе технологий радиочастотной идентификации, Интернета вещей и распределенного реестра для интеграции разнородных информационных систем, предоставляющих электронные услуги обучающимся.

Научная новизна:

1. Разработана структура цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов и ее программная реализация, отличающиеся от существующих возможностями бесшовной интеграции со сторонними автоматизированными информационными системами за счет применения модели цифрового мониторинга радиочастотных меток, использования централизованной системы эмиссии этих документов, а также международных идентификаторов, что в совокупности позволило снизить затраты на внедрение новых электронных услуг до 3 раз.

2. Разработаны алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов и организаций-поставщиков электронных услуг на основе новейших технологий, реализующие преимущества централизованной и децентрализованной систем управления оборотом многофункциональных документов обучающихся и отличающиеся тем, что использование логического пространства бесконтактных смарт-карт, применение международных стандартов идентификации и мониторинга объектов, маркированных радиочастотными метками, использование преимуществ комбинированного блокчейна, в совокупности позволило

реализовать качественно новые возможности для создания и развития цифровых платформ такого рода.

3. Разработаны модели оценки рейтинга поставщика электронной услуги и качества цифровой услуги, базирующиеся на регистрации достоверных событий, в том числе фиксируемых по результатам выполнения смарт-контрактов, что позволило сформировать новые инструменты оценки взаимодействия организаций-поставщиков электронных услуг с пользователями этих услуг, исключить возможность формирования «заказных отзывов» о предоставляемых услугах и обеспечить более высокий уровень защиты учащихся от противоправных действий.

4. Разработана модель оценки степени развития цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов, использующая неизменяемые данные, формируемые независимо от поставщика или пользователя электронных услуг по результатам фиксации реальных событий, а также по результатам выполнения смарт-контрактов, что обеспечило повышение эффективности управления цифровой платформой предоставления электронных услуг обучающимся на основе данных о зарегистрированных системой событиях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Цифровая платформа предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов, отличающаяся от существующих возможностями бесшовной интеграции со сторонними автоматизированными информационными системами за счет применения цифрового мониторинга радиочастотных меток, использования централизованной системы эмиссии документов, а также международных идентификаторов, которая позволяет снизить затраты на разработку и внедрение новых электронных услуг в различные сферы деятельности до 3 раз.

2. Алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов и организаций-поставщиков электронных услуг на основе новейших технологий, реализующие преимущества централизованной и децентрализованной систем управления оборотом многофункциональных электронных документов обучающихся и отличающиеся тем, что за счет использования логического пространства бесконтактных смарт-карт, применения международных стандартов идентификации и мониторинга объектов, маркированных радиочастотными метками, использования возможностей комбинированного блокчейна, обеспечивается расширение научно-методической базы для создания информационных систем такого рода.

3. Модель оценки рейтинга поставщика цифровой услуги, отличающаяся тем, что предложенные в ней подходы позволяют исключить возможность

формирования «заказных отзывов» о предоставляемых услугах и создать дополнительные барьеры для недобросовестных поставщиков электронных услуг за счет использования в расчетах неизменяемых данных, формируемых независимо от поставщика или пользователя электронных услуг.

4. Модель оценки степени развития цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов, включающую оценку качества самой цифровой услуги, что позволяет расширить взаимодействие организаций-поставщиков электронных услуг с пользователями этих услуг, а также обеспечивает повышение эффективности управления цифровой платформой предоставления электронных услуг обучающимся на основе данных о зарегистрированных системой событиях.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации.

Основные результаты, приведенные в диссертации, получены автором лично. В статьях в соавторстве с научным руководителем Дравицей В. И. последнему принадлежит обсуждение постановки задач, возможных подходов к их решению и полученных результатов.

Решетняк А. В. участвовал в совместной разработке Комплексной автоматизированной системы централизованного использования интеллектуальных документов (свидетельство о регистрации компьютерной программы от 05.12.2018 № 1116). Решетняком А. В. разработаны концепция и архитектура системы, модели взаимодействия участников проекта для предоставления электронных услуг учащимся, техническая документация, осуществлено общее руководство разработкой, внедрением, сопровождением и развитием проекта. Совместно с Дравицей В. И. и Агафоновым А. В. сформулирована постановка задачи, согласованы применяемые модели и методы проектирования, обсуждены полученные результаты. Войтович В. И., Лазовик В. А., Равин И. А., Астапович В. И., Блатун А. В., Скляр П. А. выполнили разработку программного обеспечения.

В диссертационную работу не включены результаты, которые были получены другими соавторами или с другими соавторами.

Автором лично сформулированы все положения, выносимые на защиту, а также практически значимые результаты, в частности:

- программное обеспечение цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов;

- алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов и организаций-поставщиков электронных услуг для обеспечения функционирования многофункциональных

электронных документов обучающихся в системе образования и в других сферах экономики;

- модель оценки рейтинга поставщика цифровой услуги;

- модель оценки развития цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов, включающая в себя модель оценки качества цифровой услуги, предоставляемой с использованием многофункциональных электронных документов.

В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Результаты диссертационной работы апробированы в рамках разработок Национальной академии наук Беларуси и Государственного предприятия «Центр систем идентификации».

Получены акты и свидетельство о регистрации компьютерной программы, подтверждающие научную и практическую значимость, экономическую и социальную ценность диссертации:

1) акт от 20.09.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы в разработках, выполненных по заказу Национальной академии наук Беларуси в области информационно-коммуникационных технологий;

2) акт от 04.10.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы Государственным предприятием «Центр систем идентификации» в научно-исследовательской работе по заданию 1.2.11 «Исследование и разработка прототипа информационной системы цифрового мониторинга маркированных RFID-метками объектов на основе технологий распределенных реестров (DLT/blockchain)» Государственной программы научных исследований «Информатика, космос и безопасность» на 2016–2020 гг.;

3) акт от 04.10.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы Государственным предприятием «Центр систем идентификации» в научно-исследовательской работе по заданию 1.8.1 «Методология создания умных контрактов для систем прослеживаемости цепей поставок с применением технологий семантического WEB, EPCIS/CBV, DLT/BLOCKCHAIN и разработка соответствующего API для интеграции учетных систем предприятий-участников» Государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 гг., подпрограмма 1 «Цифровые технологии и космическая информатика»;

4) свидетельство о регистрации компьютерной программы от 05.12.2018 № 1116, выданное Национальным центром интеллектуальной собственности.

Результаты диссертационного исследования внедрены в образовательный процесс в следующих учреждениях высшего образования:

1) Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (акт о внедрении от 20.12.2024);

2) Белорусский государственный университет (акт о внедрении от 29.10.2024).

Автор диссертации (Решетняк А. В.) является соавтором Евразийского патента № 037560 «Способ комплексного контроля товара», который является научным заданием для модели оценки качества цифровых услуг, представленной в диссертации соискателя.

Основные результаты диссертации были представлены на международных научных и научно-практических конференциях:

1) Международная научно-практическая конференция «Современные технологии автоматической идентификации и электронного бизнеса. Состояние и перспективы развития ID COMPETENCE 2011» (Минск, 2011 г.);

2) IV Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов (Минск, 2012 г.);

3) Международная научно-практическая конференция «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2014 г.);

4) Международная научно-техническая конференция «РИНТИ» (Минск, 2015, 2019, 2020, 2022 гг.);

5) IV Открытая Международная научно-практическая конференция «Дорожная карта информатизации: от цели к результату» (Минск 2017 г.);

6) EURO mini-conference Logistics Analytics 2018 (Minsk, 2018);

7) Международный научный конгресс по информатике (Минск, 2022 г.).

Опубликованность результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 26 научных работах, из них: 5 статей (2,8 авторского листа) в научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 7 статей в других научно-технических изданиях, 14 статей в сборниках материалов научных конференций, а также в 1 учебно-методическом пособии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из перечня терминов и определений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и четырех приложений. Полный объем диссертации составляет 138 страниц, включая 4 приложения на 10 страницах, 27 рисунков на 20 страницах, 11 таблиц на 7 страницах. Библиографический список содержит 174 наименования, включая 27 публикаций соискателя, на 16 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе проведен анализ современных подходов к развитию электронных услуг.

В разделе 1.1. рассмотрены системы предоставления услуг на основе технологий Интернета вещей. Основной ценностью IoT является обеспечение ускоренного внедрения электронных услуг, в которых взаимосвязи могут быть организованы по следующим моделям: человек – «умные вещи», человек – «умные вещи» – человек, «умные вещи» – «умные вещи». При этом одним из важных современных трендов внедрения IoT является концепция «Умного города». Реализация персонифицированных услуг на основе этих решений без использования унифицированных решений затруднена.

В разделе 1.2. выполнен анализ систем предоставления услуг на основе технологии распределенного реестра (DLT). В DLT возможно хранить данные практически о любых объектах и связанных с ними событиях: права собственности, реестры государственных документов финансовые операции, информацию о достоверных событиях и транзакциях, в том числе осуществляемых на основе стандарта EPCIS и EDI-обмена между участниками цепочки поставок. Современные технологии позволяют создавать системы на основе гибридного или комбинированного блокчейна, когда критически важная информация, подлежащая защите, обрабатывается и хранится в закрытом блокчейне, а в открытый блокчейн передаются только общедоступные данные, не требующие специальных мероприятий по защите. Традиционные алгоритмы консенсуса, применяемые в популярных блокчейнах, не пригодны для фиксации событий, связанных с маркированными объектами в Интернете вещей. Примером использования оптимизированных алгоритмов консенсуса является построение блокчейн-сети на основе направленного ациклического графа.

В разделе 1.3 выполнен обзор наиболее известных направлений работ и проектов на основе технологий Интернета вещей и распределенного реестра. Крупные международные предприятия и торговые сети с целью оптимизации затрат и ускорения товарооборота активно внедряют RFID-технологии в своих бизнес-процессах. Научно-технический задел, а также готовые технологические решения на базе DLT и IoT-технологий, которыми располагает Центр систем идентификации, применяются в различных сферах: производство потребительских товаров и продуктов питания, прослеживаемость маркированных товаров, торговля, транспортная и складская логистика, системы контроля качества и происхождения товаров, интеллектуальные документы в системе образования, автоматизация библиотек.

В разделе 1.4 рассмотрены платформы предоставления электронных услуг в Республике Беларусь.

Технологии интеграции киберпространства и реального мира в части электронных услуг в настоящее время проработаны недостаточно глубоко. На стадии развития находится реализация систем, обеспечивающих достоверную идентификацию и авторизацию пользователя электронных услуг в среде IoT, не решены вопросы ответственности за действия, выполненные в среде IoT, для повышения уровня достоверности информации в этой среде требуются значительные затраты ресурсов. В DLT возможно хранить данные практически о любых объектах и связанных с ними достоверных событиях и транзакциях, в том числе осуществляемых на основе стандарта EPCIS и EDI-обмена между участниками цепочки поставок.

Вторая глава посвящена разработке архитектуры цифровой платформы предоставления электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся.

В разделе 2.1. рассмотрены требования к архитектуре цифровой платформы.

В разделе 2.2. рассмотрена схема взаимодействия участников жизненного цикла системы изготовления, выдачи и сопровождения многофункциональных электронных документов обучающихся.

В разделе 2.3. сформированы требования к идентификации пользователей. В рамках настоящей работы рассматривается использование в качестве носителя многофункциональных электронных документов обучающихся смарт-карт как наиболее оптимального решения.

В разделе 2.4. сформированы требования к идентификации поставщиков электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся. Автоматизированная информационная система эмитента должна обеспечивать идентификацию многофункциональных электронных документов обучающихся в соответствии с требованиями международных стандартов серии ISO/IEC 7812, при этом международная система идентификация услуг базируется на основе стандартов системы GS1, и автоматизированная система поставщика электронной услуги может не поддерживать взаимодействие с системой идентификации ISO/IEC 7812. Таким образом, для организации взаимодействия поставщиков электронных услуг с пользователями посредством пластиковых или виртуальных карт цифровая платформа предоставления электронных услуг должна обеспечивать интеграцию с обеими системами идентификации. Идентификационные карточки (пластиковые или виртуальные) могут служить носителями, с помощью которых в процессе предоставления услуг обеспечивается автоматический сбор данных в соответствии с базовыми принципами построения IoT сетей.

В разделе 2.5. описана разработанная система изготовления и сопровождения многофункциональных электронных документов обучающихся. для развития электронных услуг, реализуемых с использованием многофункциональных электронных документов обучающихся, наиболее эффективной является централизованная схема эмиссии, которая наряду с корпоративными сервисами позволяет развивать межведомственные цифровые услуги за счет реализации взаимодействия на уровне «система – система». С использованием UML-инструментов для моделирования бизнес-процессов программного комплекса «Visual Paradigm» разработана модель эмиссии карт учащихся, реализованная в Республике Беларусь на основе централизованной схемы (рисунок 1). Разработаны алгоритм изготовления, выдачи и сопровождения многофункциональных электронных документов обучающихся, а также алгоритм предоставления услуги.

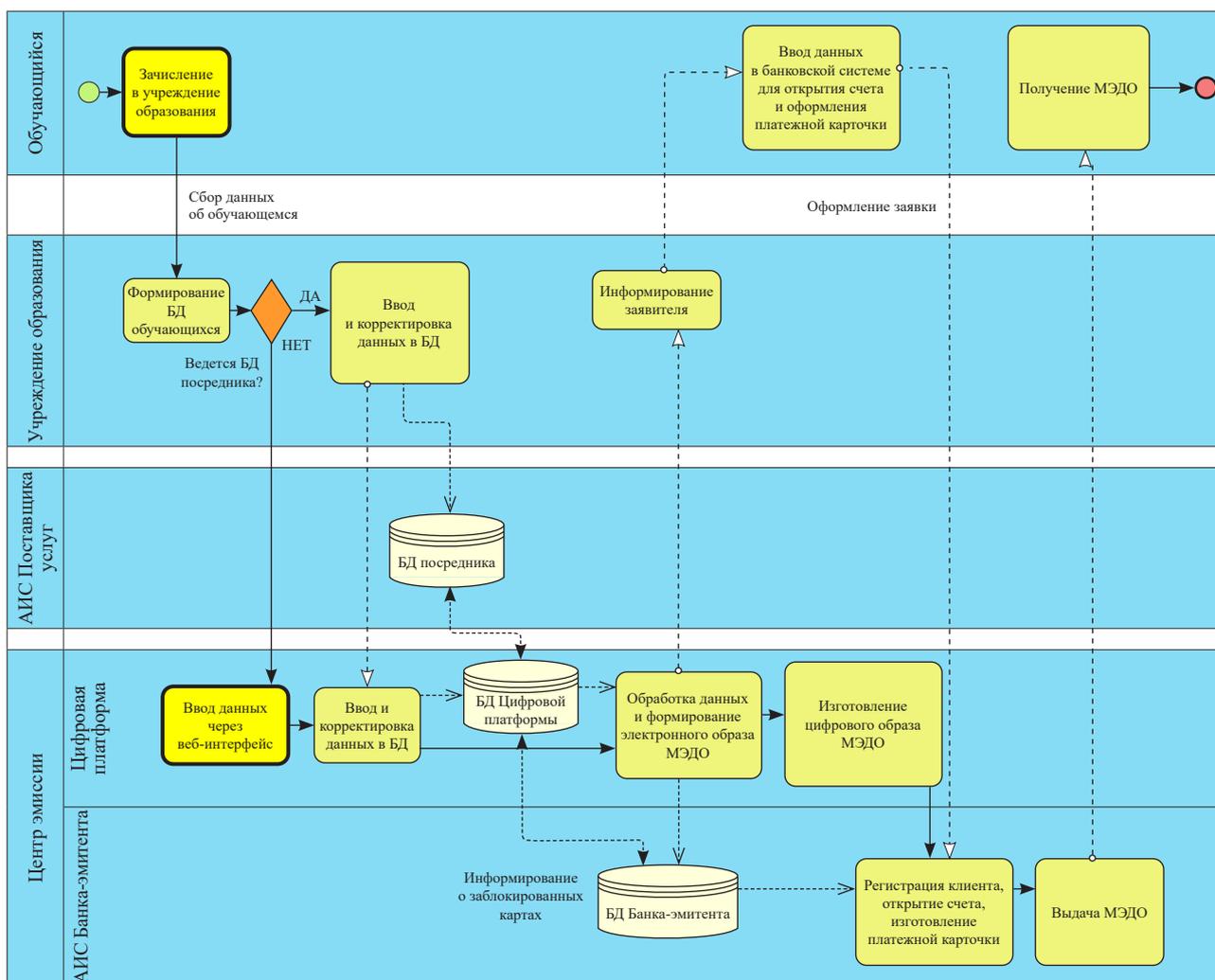


Рисунок 1 – Модель эмиссии карт учащихся в Республике Беларусь

В разделе 2.6. описана модель эмиссии многофункциональных электронных документов обучающихся с использованием технологий распределенного реестра. Предложена схема взаимодействия между пользователями, учреждениями образования, эмитентами, поставщиками услуг, Центром эмиссии, которые функционируют в зоне закрытого блокчейна (Private blockchain), а также системами поставщиков услуг, заинтересованных в упрощенном порядке подключения электронных услуг, – в зоне открытого блокчейна (Public blockchain). Предложенная DLT-схема эмиссии многофункциональных электронных документов обучающихся позволит привлекать большое количество эмитентов и поставщиков услуг на базе открытых унифицированных решений, что является новым подходом к реализации подобных систем в сфере образования.

В разделе 2.7. рассмотрены вопросы интеграции технологий IoT и DLT для создания цифровой платформы предоставления электронных услуг. Учет событий, генерируемых в IoT, будет иметь экспоненциальный характер, соответственно, потребует высокой вычислительной производительности всей системы, включая DLT-сеть, которая имеет определенные ограничения. Следовательно, применяемые IoT-решения также должны предусматривать реализацию наиболее оптимальных алгоритмов регулирования трафика, генерируемого за счет передачи данных о событиях, связанных с объектами IoT. Каждая транзакция формирует свой «вес», который зависит от количества подтверждений и пропорционален объему работы, которую узел затратил на нее.

Расчет весов производится по следующей формуле:

$$W(N_0, N_m) = \sum_i^m w_i, \quad (1)$$

где N_0 – родительский нод;

N_m – заданный нод, до которого выполняется расчет пути;

w_i – вес i -й транзакции.

Для поиска оптимального пути от родительского нода до заданного необходимо решить следующую оптимизационную задачу:

$$W_{opt}(N_0, N_m) = \min(W(N_0, N_m)). \quad (2)$$

Технологии, базирующиеся на построении цепочки блоков в направленном ациклическом графе, значительно увеличивают скорость обработки и не требуют консенсуса.

Третья глава посвящена разработке алгоритма и модели взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов

и организаций-поставщиков электронных услуг.

В разделе 3.1. описана разработанная IoT-DLT модель изготовления и выдачи многофункциональных электронных документов обучающихся. Центр эмиссии обеспечивает гибкое взаимодействие всех актеров системы, обеспечивает формирование единых организационно-технических подходов, правил и протоколов обмена данными в процессе эмиссии и сопровождения, а также сквозной учет выданных (действующих) многофункциональных электронных документов обучающихся на всем жизненном цикле. Участие в Private Blockchain незарегистрированных по установленным правилам нод не допускается.

В разделе 3.2 описан разработанный алгоритм взаимодействия участников цифровой платформы (рисунок 2). Предлагается реализовать систему контроля предоставляемых электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся. предлагается реализовать систему контроля предоставляемых электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся. Такая система на основе сравнения ранее зафиксированных данных о поставщиках и непосредственно электронных услугах, будет обеспечивать доступ пользователям только к зарегистрированным в установленном порядке услугам. Данные о выполненных смарт-контрактах фиксируются и могут быть использованы для анализа качества работы поставщика услуг, а также непосредственно предоставленной пользователю услуги.

Отличительной особенностью предлагаемой системы контроля предоставляемых электронных услуг является обеспечение одновременной проверки легальности многофункциональных электронных документов обучающихся и цифровой услуги с использованием DLT. Предложенный алгоритм взаимодействия предоставляет инструменты, позволяющие исключить доступ к фишинговым ресурсам, сформировать дополнительные барьеры на пути недобросовестного предоставления услуг, а также обеспечить повышение качества контроля при предварительном выборе цифровой услуги. В разделе 3.3 описана разработанная IoT-DLT модель взаимодействия цифровой платформы с поставщиками электронных услуг. Private Blockchain содержит распределенный реестр данных и событий, формируемый учреждениями образования, Центром эмиссии и эмитентами. Взаимодействие между Private Blockchain и Public Blockchain осуществляется по заранее установленным правилам и предполагает реализацию смарт-контрактов в области интероперабельности – Hybrid Blockchain или Consortium Chain (гибридный, интероперабельный блокчейн) (рисунок 3). Взаимодействие, связанное с реализацией смарт-контрактов, осуществляется в слое Hybrid Blockchain, контролируемом Центром эмиссии.

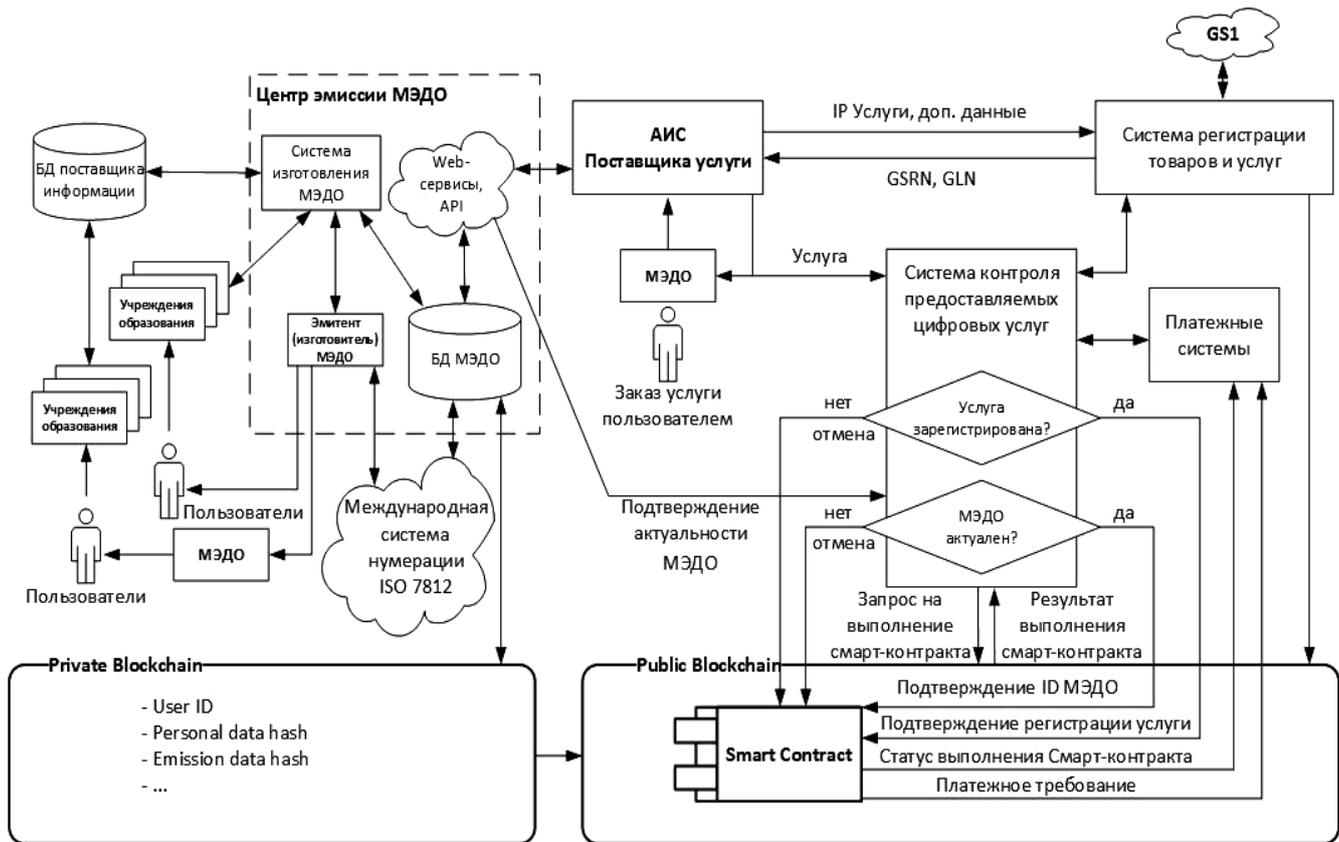


Рисунок 2 – Алгоритм взаимодействия участников цифровой платформы

В разделе 3.4 описана разработанная модель оценки рейтинга поставщика услуги. Запишем весовой коэффициент $W_{u,v}$ для поставщика услуг в следующем виде.

$$W_{u,v} = \frac{S_{u,v}}{\sum_{u=1, v=1}^{n,m} S_{u,v}} P_v, \quad (3)$$

где $S_{u,v}$ – число, показывающее, сколько раз поставщик v выполнял заказываемую услугу для u клиентов;

P_v – некоторое выражение (в простейшем виде число), подтверждающее надежность поставщика. P_v может быть представлено отношением числового показателя количества успешно выполненных смарт-контрактов к общему количеству заключенных им сделок.

Тогда общая оценка рейтинга поставщика услуги $R(v)$ может быть представлена формулой:

$$R(v) = \sum_{u=1}^n W_{u,v}. \quad (4)$$

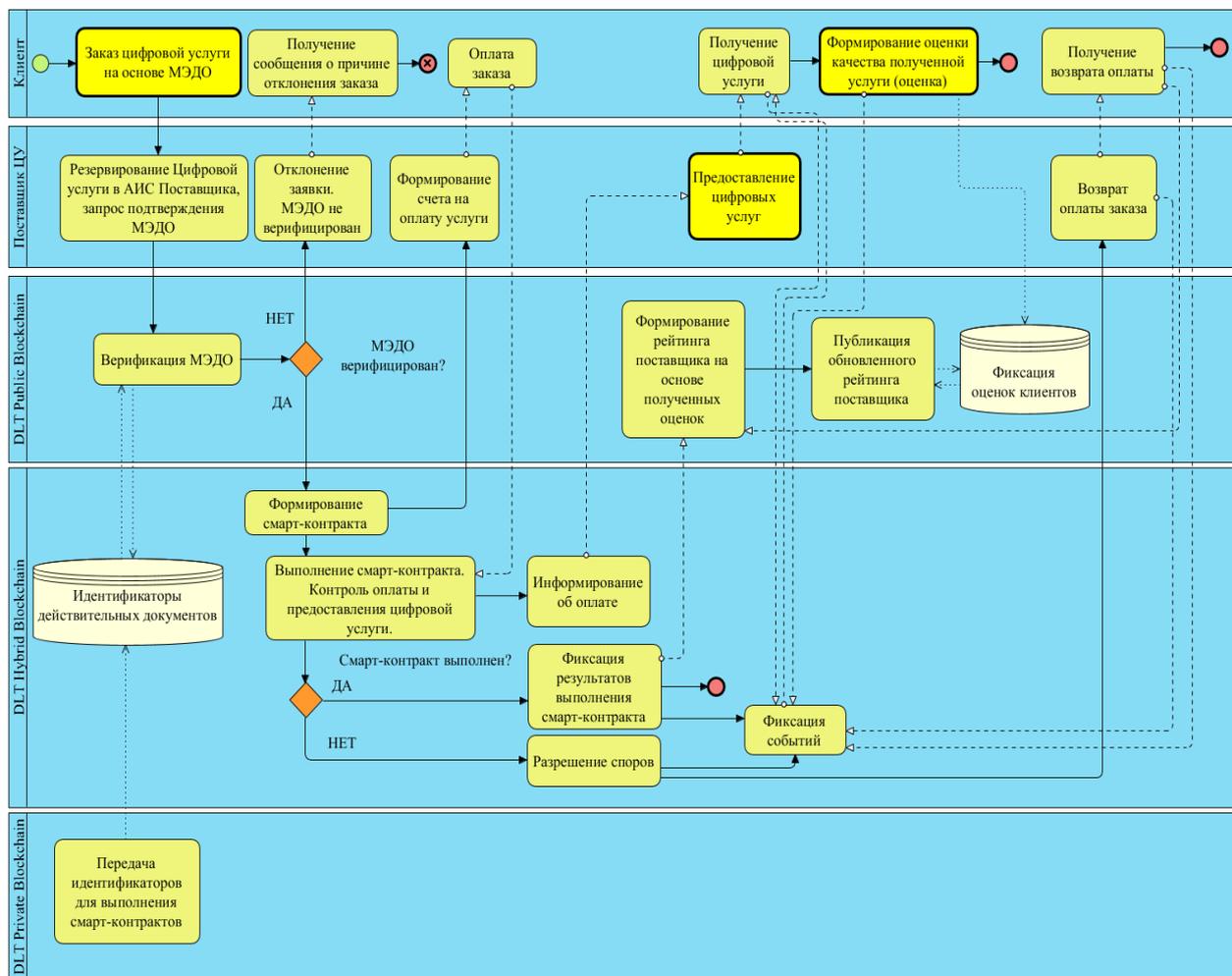


Рисунок 3 – Модель взаимодействия цифровой платформы с поставщиками услуг

Оценка рейтинга поставщика электронной услуги в общем случае зависит от специфики и характера самой услуги. Если принять количество полученных поставщиком v активов по результатам выполнения смарт-контрактов за x , а количество обязательств по смарт-контрактам за y , целевая функция, связывающая x и y , будет выглядеть следующим образом:

$$f(x, y) = (x + y) \exp \left[-2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \operatorname{atan} \left(\frac{y}{x} \right) \right) \right]. \quad (5)$$

Наибольшее значение $f(x, y)$ принимает при $x = y$, т. е. минимальным требованием при оценке рейтинга поставщика является равенство числа поступивших от клиента заказов числу выполненных поставщиком электронных услуг. Таким образом, функция $f(x, y)$ является по сути функцией полезности или надежности поставщика. Функция $f(x, y)$ нелинейная, и только при больших значениях x и y наблюдается некоторая линеаризация – вблизи от максимума $f(x, y)$.

В разделе 3.5 описана модель оценки качества цифровой услуги, включающей в себя реализацию оценки качества услуги по методике «SERVQUAL» с использованием предложенной выше IoT-DLT-модели эмиссии многофункциональных электронных документов обучающихся, что, в отличие от традиционных моделей, сводит к минимуму использование органолептических и субъективных оценок пользователя. Качество услуги может быть оценено с использованием следующих расчетов:

$$SQ = 4 * K_5 - \sum K_{i(1-4)} , \quad (6)$$

где SQ – оценка качества услуги по модели «SERVQUAL»;
 $\sum K_i$ – сумма показателей $K_1 - K_4$.

Предложенные выше модели сбора данных и реализации алгоритмов оценки рейтинга поставщика и качества услуг коррелируют с моделью оценки на основе адаптивной многофакторной аутентификации товаров и услуг. В этом случае формируется визуализация по принципу трехмерной модели с позиционной привязкой и взаимосвязью клеток на всех плоскостях куба в единой системе нумерации, которая синхронна с нумерацией комплексных чисел, входящих в состав обобщенной математической модели, а скалярные значения комплексных чисел $\langle Ci \rangle$, соответствующие оценке услуги по заданному критерию, размещаются в клетках одной из плоскостей трехмерной модели, где скалярные значения комплексных чисел $\langle Ci \rangle$, соответствующие оценке услуги по заданному критерию, размещаются в клетках одной из плоскостей куба.

Графически алгоритм попарного сравнения соответствующих комплексных чисел из двух множеств и применения правила «Вето» можно представить как процедуру «попадания, либо не попадания» значений точек комплексных чисел ($C_{покуп}$) в ограниченный прямоугольный участок (называемый «Двумерное окно допустимых ограничений») на комплексной плоскости, предварительно размеченной на прямоугольные участки значениями комплексных чисел ($C_{эксперт}$) из эталонной модели, которая хранится в автоматизированной информационной системе Центра эмиссии (рисунок 4).

Полученные оценки качества цифровых услуг являются критериями для расчета оценки развития системы предоставления услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся в целом с использованием алгоритма анализа характеристик услуг на основе модели адаптивной аутентификации, который в данном применении является развитием

алгоритма оценки товара, описанного в Евразийском патенте № 037560 «Способ комплексного контроля товара».

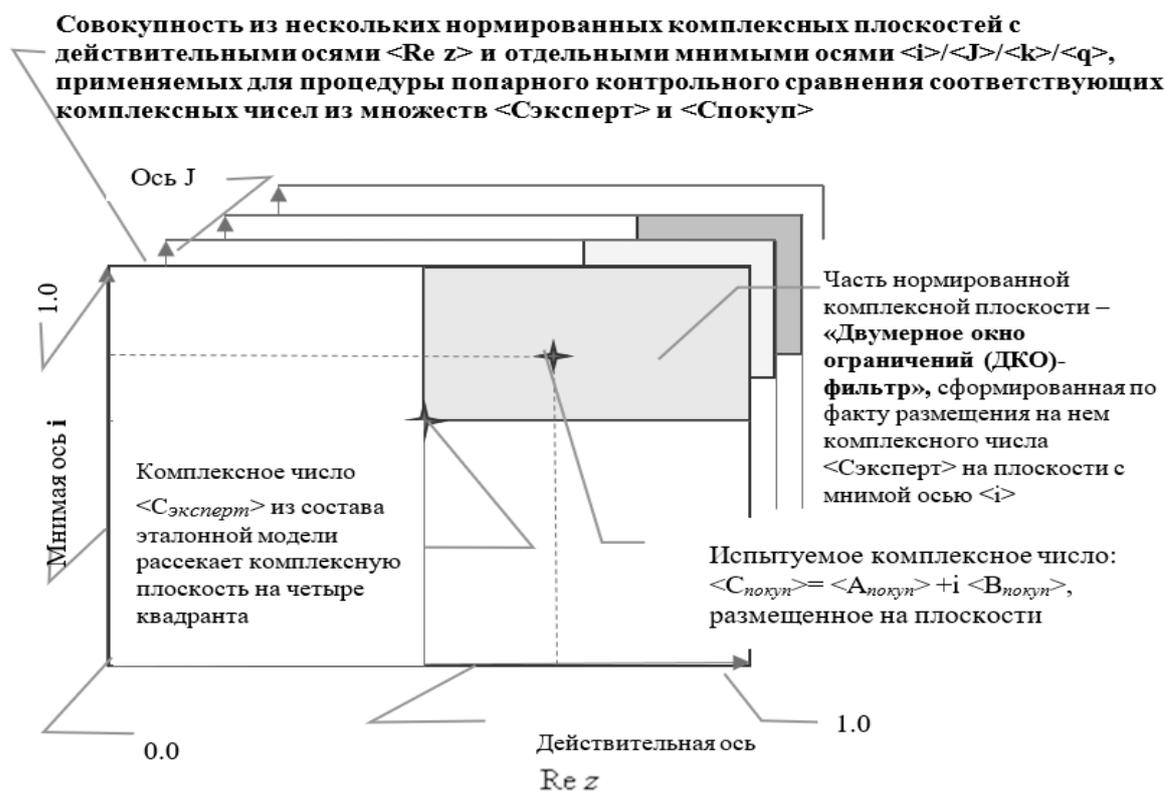


Рисунок 4 – Пример сформированного «Двумерного окна допустимых ограничений» для испытуемых комплексных чисел

Важным отличием от способа контроля товара, описанного в указанном патенте, является то, что предложенная в диссертации модель оценки применяется для виртуальных объектов – электронных услуг.

В четвертой главе описана программная реализация и внедрение цифровой платформы предоставления электронных услуг на основе многофункциональных электронных документов обучающихся. Предложенная архитектура цифровой платформы применена в процессе реализации инновационных проектов (акт от 20.09.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы в разработках, выполненных по заказу Национальной академии наук Беларуси в области информационно-коммуникационных технологий). В рамках указанных выше проектов впервые в Республике Беларусь на базе многофункциональных электронных документов обучающихся, совмещенных с банковской платежной карточкой, внедрены комплексные решения, которые позволили реализовать локальные и межведомственные электронные услуги. По результатам внедрения цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов обучающихся получено

свидетельство о регистрации компьютерной программы от 05.12.2018 № 1116, выданное Национальным центром интеллектуальной собственности.

В рамках научно-исследовательской работы по заданию 1.2.11 «Исследование и разработка прототипа информационной системы цифрового мониторинга маркированных RFID-метками объектов на основе технологий распределенных реестров (DLT/blockchain)» Государственной программы научных исследований «Информатика, космос и безопасность» на 2016–2020 годы (№ госрегистрации 20190288 от 26.03.2019, ответственный исполнитель – Решетняк А. В.) подходы, представленные в Главе 3, применены в разработке алгоритмической модели и архитектурных решений на основе технологий распределенных реестров для создания прототипа информационной системы цифрового мониторинга объектов, маркированных RFID-метками (акт от 04.10.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы Государственным предприятием «Центр систем идентификации»).

В рамках научно-исследовательской работы по заданию 1.8.1 «Методология создания умных контрактов для систем прослеживаемости цепей поставок с применением технологий семантического WEB, EPCIS/CBV, DLT/BLOCKCHAIN и разработка соответствующего API для интеграции учетных систем предприятий-участников» Государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 годы, подпрограмма 1 «Цифровые технологии и космическая информатика» (№ госрегистрации 20210653 от 13.04.2021) подходы, представленные в Главе 3, применены в процессе выполнения анализа существующих подходов и формулировки методологических основ создания умных контрактов для прикладной области мониторинга цепочек поставки объектов, маркированных радиочастотными метками (акт от 04.10.2024 о практическом использовании результатов диссертационной работы Государственным предприятием «Центр систем идентификации»).

В рамках работы по развитию белорусской информационной сети на основе технологии блокчейн с участием автора настоящей диссертации выполнен анализ существующих DLT-платформ для выбора наиболее оптимальной платформы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

1. Разработана архитектура цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов и ее программная реализация, отличающаяся от существующих возможностями бесшовной интеграции со сторонними

автоматизированными информационными системами за счет применения модели цифрового мониторинга радиочастотных меток, использования централизованной системы эмиссии этих документов, а также международных идентификаторов, которые позволяют снизить затраты на внедрение новых электронных услуг до 3 раз [2–А–8–А; 10–А; 14–А –16–А; 22–А–24–А; 27–А].

2. Разработан алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов и организаций-поставщиков электронных услуг на основе новейших технологий, реализующие преимущества централизованной и децентрализованной систем управления оборотом многофункциональных документов обучающихся и отличающиеся тем, что за счет использования логического пространства бесконтактных смарт-карт, применения международных стандартов идентификации и мониторинга объектов, маркированных радиочастотными метками, использования преимуществ комбинированного блокчейна, которые позволяют реализовать качественно новые возможности для создания и развития цифровых платформ такого рода [1–А–3–А; 5–А; 6–А; 11–А–24–А; 26–А; 27–А].

3. Разработана модель оценки рейтинга поставщика цифровой услуги, отличающаяся тем, что предложенные в ней подходы позволяют исключить возможность формирования «заказных отзывов» о предоставляемых услугах и создать дополнительные барьеры для недобросовестных поставщиков электронных услуг за счет использования в расчетах неизменяемых данных, формируемых независимо от поставщика или пользователя электронных услуг [3–А; 5–А].

4. Разработана модель оценки степени развития цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов, включающие в себя оценку качества цифровой услуги, отличающаяся тем, что используют неизменяемые данные, формируемые независимо от поставщика или пользователя электронных услуг по результатам фиксации реальных событий, а также по результатам выполнения смарт-контрактов и позволяют сформировать новые инструменты оценки взаимодействия организаций-поставщиков электронных услуг с пользователями этих услуг, а также повысить эффективность управления цифровой платформой предоставления электронных услуг обучающимся на основе данных о зарегистрированных системой событиях [5–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Имеющийся опыт внедрения многофункциональных электронных документов в системе образования, а также сформированный в Республике Беларусь научно-технический задел в части развития технологий Интернета вещей и распределенных реестров позволяет реализовать качественно новые решения для ускоренного развития электронных услуг. Результаты апробации

многофункциональных электронных документов в системе образования, в том числе полученные в рамках внедрения студенческих билетов нового образца, а также «Карты учащегося», демонстрируют широкие возможности развития электронных услуг на основе принципов государственно-частного партнерства.

Предложенные в настоящей диссертации алгоритмы и модели обладают значительными преимуществами по отношению к существующим решениям в части развития многофункциональных электронных документов в системе образования Республики Беларусь, а также значительно упрощают интеграцию разнородных сложных информационных систем за счет применения новой схемы взаимодействия с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, в том числе позволяют реализовать взаимодействие разнородных сложных автоматизированных систем различного уровня технической зрелости, не раскрывая периметра данных каждого из участников такой модели, формировать единое информационное пространство для реализации электронных услуг в различных сферах экономики. Предложенные подходы значительно упрощают организацию межведомственного взаимодействия на уровне «система – система».

Предложенная цифровая платформа предоставления электронных услуг обучающимся с использованием технологий радиочастотной идентификации, Интернета вещей и распределенных реестров может быть использована для реализации системы идентификации и аутентификации пользователей Республиканской информационно-образовательной среды.

Создаваемая на базе цифровой платформы инфраструктура позволяет в короткие сроки сформировать комплекс электронных услуг, предоставляемых обучающимся на основе многофункциональных электронных документов в различных сферах: образование, культура, спорт, здоровье, развлечения. Количество таких услуг, предоставляемых на основе предложенных в настоящей работе подходов, практически не ограничено, их внедрение и масштабирование имеет модульный характер.

Предлагаемые в настоящей работе подходы позволяют в течение 2–3 лет внедрить многофункциональных электронных документов обучающихся и систему реализации электронных услуг, обеспечивая при этом снижение затрат учреждений образования на изготовление и сопровождение документов, выдаваемых обучающимся (студенческие билеты, справки) [3-А-5А; 11-А; 13-А; 15-А; 19-А; 20-А; 24-А].

Результаты диссертационной работы апробированы в рамках разработок Национальной академии наук Беларуси и Государственного предприятия «Центр систем идентификации», а также внедрены в образовательный процесс в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники и в Белорусском государственном университете.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

*Статьи в научных изданиях в соответствии с п. 19 Положения
о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий*

1–А. Вопросы развития электронных услуг на основе многофункциональных смарт-карт / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, В. И. Астапович, Н. И. Листопад // Веснік сувязі. – 2018. – № 5(151). – С. 62–64.

2–А. Дравица, В. И. Основы цифрового мониторинга маркированных RFID-метками объектов / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, Е. А. Якушкин // Проблемы физики, математики и техники. – 2019 – № 2(39). – С. 105–108.

3–А. Решетняк, А. В. Комплексное использование технологий идентификации распределенных ресурсов для развития электронных услуг на основе многофункциональных интеллектуальных документов / А. В. Решетняк, В. И. Дравица // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 110–116.

4–А. Решетняк, А. В. Использование многофункциональных идентификационных карт в системе образования Республики Беларусь / А. В. Решетняк, В. И. Дравица, А. Н. Курбацкий, Ю. И. Воротницкий, В. П. Кочин // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1(14). – С. 46–52.

5–А. Решетняк, А. В. Модели цифровых услуг, предоставляемых посредством многофункциональных электронных документов в системе образования на основе DLT-технологий / А. В. Решетняк // Веснік сувязі. – 2024. – № 4(186). – С. 49–56.

Статьи в других научно-технических изданиях

6–А. Дравица, В. И. Радиочастотная идентификация: развитие в Беларуси / В. И. Дравица, А. В. Решетняк // Наука и инновации. – 2012. – № 8(114). – С. 13–15.

7–А. Астапович, В. И., Использование бесконтактных смарт-карт mifare ultralight, mifare classic и mifare plus в системах контроля доступа / В. И. Астапович, В. И. Войтович, И. А. Равин, А. В. Решетняк // Информационные компьютерные технологии: проектирование, разработка, применение : сб. науч. статей / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. М. Кадан (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – 378 с. – С. 90–92.

8–А. Электронные услуги в образовательном и управленческом процессе учреждений образования г. Минска: результаты и перспективы (рекомендации для руководителей) // О. А. Минич, Т. О. Пучковская, Е. Л. Сергейчик, Н. В. Соколова, А. В. Решетняк, П. А. Лис // Вестник МГИРО. – 2014. – № 1. – С. 60–79.

9–А. Дравица, В. И. О развитии возможностей RFID-систем / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, И. А. Равин // Наука и инновации. – 2015. – № 4(146). – С. 8–12.

10–А. Дравица, В. И. Система нумерации эмитентов идентификационных карточек / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, Г. Л. Комлик // Стандартизация. – 2016. – № 5. – С. 13–15.

11–А. Кочин, В. Где «ключи» идентификации жителей умного города / В. Кочин, А. Решетняк // Веснік сувязі. – 2021. – № 12. – С. 26–29.

12–А. Дравица, В. И. Контроль параметров маркированного объекта на основе принципов адаптивной аутентификации / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, А. В. Старцев // Новости науки и технологий. – 2022. – № 1(60). – С. 37–46.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

13–А. Дравица, В. И. О применении интеллектуальных документов учащихся системы образования Беларуси в системах библиотечного учета / В. И. Дравица, А. В. Решетняк // Библиотека и общество: история, реальность, перспективы взаимодействия : материалы IV Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов, Минск, 1–2 нояб. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. науч. б-ка им. Якуба Коласа ; [ред. кол.: Л. А. Авгуль, Н. Ю. Берёзкина (отв. ред.), О. М. Дрозд, М. П. Лазерко, А. В. Стефанович, Н. А. Яцевич ; библиогр. ред.: И. П. Городко, О. В. Пирогова ; ред. М. М. Лис ; рец.: Ю. А. Переверзева, В. Н. Венгеро́в]. – Электрон. дан. – Минск : Ковчег, 2012. – 1 электрон. опт. диск CD ROM, 2012. – С. 51–54.

14–А. Молчан, Ж. М. Технология радиочастотной идентификации (RFID) в библиотеках / Ж. М. Молчан, А. В. Решетняк, В. И. Войтович // Библиотека и общество: история, реальность, перспективы взаимодействия : материалы IV Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов, Минск, 1–2 нояб. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. науч. б-ка им. Якуба Коласа ; [ред. кол.: Л. А. Авгуль, Н. Ю. Берёзкина (отв. ред.), О. М. Дрозд, М. П. Лазерко, А. В. Стефанович, Н. А. Яцевич ; библиогр. ред.: И. П. Городко, О. В. Пирогова ; ред. М. М. Лис ; рец.: Ю. А. Переверзева, В. Н. Венгеро́в]. – Электрон. дан. – Минск : Ковчег, 2012. – 1 электрон. опт. диск CD ROM, 2012. – С. 123–126.

15–А. Развитие современных электронных сервисов на основе RFID-технологий в системе образования Республики Беларусь / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, Г. Л. Комлик, О. В. Линич, Д. Г. Дубовик // Управление информационными ресурсами : Материалы XI Междунар. конф., Минск, 12 дек. 2014 г. – Минск : Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2014. – С. 263–265.

16–А. Оказание электронных услуг для населения и бизнеса / Г. Е. Волнистый, И. А. Равин, К. С. Романовский, А. В. Козачек, Е. А. Якушкин,

А. В. Решетняк // РИНТИ-2015 : доклады XIV Междунар. конф., Минск, 19 нояб. 2015 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2015. – С. 58–62.

17–А. Автоматизированная система приема, обработки, хранения и рассылки информации об объектах и документах, маркированных уникальными идентификационными ключами GS1 (АС ONSIDS) / В. А. Лазовик, В. И. Дравица, А. В. Решетняк, В. И. Войтович, И. А. Равин, В. И. Астапович // РИНТИ-2015 : доклады XIV Междунар. конф., Минск, 19 нояб. 2015 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2015. – С. 267–271.

18–А. О реализации мультифункционального электронного документа в Беларуси на основе смарт-карт стандарта MIFARE / И. А. Равин, К. С. Романовский, А. В. Козачек, В. И. Астапович, А. В. Решетняк // РИНТИ-2015 : доклады XIV Междунар. конф., Минск, 19 нояб. 2015 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2015. – С. 281–285.

19–А. Дравица, В. И. Интеллектуальные документы учащихся как инструмент для развития электронных услуг / В. И. Дравица, А. В. Решетняк // Дорожная карта информатизации: от цели к результату : тезисы докладов IV Междунар. конф., Минск, 16–17 фев. 2017 г. – Минск : МГИРО, 2017. – С. 85–86.

20–А. Dravitca, V. Logistics of Support for Multi-Functional Student Documents and the Development of Electronic Services / V. Dravitca, A. Reshetniak // EURO mini-conference Logistics Analytics 2018. Minsk, 18–19 June. – Minsk, 2018. – P. 6.

21–А. Дравица, В. И. Технологии идентификации и прослеживаемости товарных потоков на рынке ЕАЭС / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, Е. А. Якушкин // II Съезд ученых Республики Беларусь, Минск, 12–13 дек. 2017 г. : сборник материалов / Национальная академия наук Беларуси ; редкол.: В. И. Семашко [и др.]. – Минск : Белорусская наука, 2018. – С. 188–194.

22–А. Цифровой мониторинг RFID-объектов / В. И. Дравица, Г. Е. Волнистый, А. В. Решетняк, Е. А. Якушкин // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2019) : доклады XVIII Междунар. конф., Минск, 21 нояб. 2019 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2019. – С. 242–247.

23–А. Решетняк, А. В. Оценка современных подходов к реализации технологии распределенных реестров для интеграции с технологиями интернета вещей / А. В. Решетняк // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2020) : доклады XIX Междунар. конф., Минск, 19 нояб. 2020 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2020. – С. 263–267.

24–А. Кочин, В. П. Основные тенденции применения смарт-карт для идентификации и аутентификации пользователей и опыт внедрения в системе

образования Беларуси / В. П. Кочин, А. В. Решетняк // Развитие информатизации и гос. системы науч.-тех. информ. (РИНТИ-2020) : докл. XIX Междунар. конф., г. Минск, 19 нояб. 2020 г. ; редкол.: А. В. Тузиков [и др.]. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2020. – С. 258 – 262.

25–А.Решетняк, А. В. Интеграция образования со сторонними информационными системами – основное условие развития цифровых услуг / А. В. Решетняк, В. П. Кочин // Информационные системы и технологии: материалы междунар. науч. конгресса по информатике. – В 3 ч. Ч 3. – Респ. Беларусь, Минск, 27–28 окт. 2022 г. / Белорус. Гос. Ун-т ; редкол.: С. М. Абламейко (гл.ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 117–121.

26–А.Дравица, В. И. Вопросы идентификации и прослеживаемости услуг / В. И. Дравица, А. В. Решетняк, Г. Л. Комлик // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2022) : доклады XIX Междунар. конф., Минск, 17 нояб. 2022 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 105–107.

Учебно-методические пособия

27–А.Основы технологий Интернета вещей : учеб.-метод. пособие / В. И. Дравица, А. Н. Курбацкий, А. В. Решетняк, А. В. Старцев, А. А. Андрушевич, И. С. Войтешенко. – Минск : РИВШ, 2022. – 108 с.

РЭЗІЮМЭ

Рэшэтняк Аляксандр Вітальевіч

Сістэмная інтэграцыя тэхналогій радыёчастотнай ідэнтыфікацыі і размеркаванага рээстра ў інфраструктуру лічбавых паслуг у сферы адукацыі

Ключавыя словы: сістэмны аналіз, лічбавая платформа, электронныя паслугі, шматфункцыянальныя электронныя дакументы, тэхналогіі радыёчастотнай ідэнтыфікацыі, Інтэрнэт рэчаў, размеркаваны рээстр, блокчэйн, пастаўшчыкі электронных паслуг.

Мэта працы: распрацоўка лічбавай платформы з выкарыстаннем тэхналогій радыёчастотнай ідэнтыфікацыі, Інтэрнэту рэчаў і размеркаванага рээстра для інтэграцыі разнастайных інфармацыйных сістэм, якія прадстаўляюць электронныя паслугі навучэнцам.

Метады даследавання: метады сістэмнага аналізу, алгарытмізацыі і рэінжынірыngu, метады мадэлявання з выкарыстаннем уніфікаванай мовы мадэлявання (Unified Modeling Language) для бізнес-працэсаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

Распрацавана структура лічбавай платформы прадастаўлення электронных паслуг навучэнцам на аснове шматфункцыянальных электронных дакументаў і яе праграмная рэалізацыя. Распрацаваны алгарытм і мадэль узаемадзеяння ўдзельнікаў працэсу эмісіі шматфункцыянальных электронных дакументаў і арганізацый-пастаўшчыкоў электронных паслуг на аснове найноўшых тэхналогій. Распрацавана мадэль ацэнкі ступені развіцця лічбавай платформы аказання электронных паслуг.

Рэкамендацыі па выкарыстанні:

Інфраструктура, якая ствараецца на базе лічбавай платформы, дазваляе ў кароткія тэрміны сфарміраваць комплекс электронных паслуг, якія прадстаўляюцца навучэнцам на аснове шматфункцыянальных электронных дакументаў у розных сферах: адукацыя, культура, спорт, здароўе, забавы. Колькасць такіх паслуг, якія прадстаўляюцца на аснове прапанаваных у гэтай працы падыходаў, практычна не абмежавана, іх укараненне і маштабаванне мае модульны характар.

Вобласць ужывання:

Прапанаваныя падыходы, алгарытмы і мадэлі могуць выкарыстоўвацца ў розных сферах эканомікі для стварэння і развіцця інфраструктуры электронных паслуг, якія прадстаўляюцца шырокаму колу карыстальнікаў. Асобныя рашэнні могуць быць выкарыстаны для рэалізацыі сістэмы ідэнтыфікацыі і аўтэнтыфікацыі карыстальнікаў Рэспубліканскага інфармацыйна-адукацыйнага асяроддзя сістэмы адукацыі Рэспублікі Беларусь.

РЕЗЮМЕ

Решетняк Александр Витальевич

Системная интеграция технологий радиочастотной идентификации и распределенного реестра в инфраструктуру цифровых услуг в сфере образования

Ключевые слова: системный анализ, цифровая платформа, электронные услуги, многофункциональные электронные документы, технологии радиочастотной идентификации, Интернет вещей, распределенный реестр, блокчейн, поставщики электронных услуг.

Цель работы: разработка цифровой платформы с использованием технологий радиочастотной идентификации, Интернета вещей и распределенного реестра для интеграции разнородных информационных систем, предоставляющих электронные услуги обучающимся.

Методы исследования: методы системного анализа, алгоритмизации и реинжиниринга, методы моделирования с использованием унифицированного языка моделирования (Unified Modeling Language) для бизнес-процессов.

Полученные результаты и их новизна:

Разработана структура цифровой платформы предоставления электронных услуг обучающимся на основе многофункциональных электронных документов и ее программная реализация. Разработаны алгоритм и модель взаимодействия участников процесса эмиссии многофункциональных электронных документов и организаций-поставщиков электронных услуг на основе новейших технологий. Разработана модель оценки степени развития цифровой платформы предоставления электронных услуг.

Рекомендации по использованию:

Создаваемая на базе цифровой платформы инфраструктура позволяет в короткие сроки сформировать комплекс электронных услуг, предоставляемых обучающимся на основе многофункциональных электронных документов в различных сферах: образование, культура, спорт, здоровье, развлечения. Количество таких услуг, предоставляемых на основе предложенных в настоящей работе подходов, практически не ограничено, их внедрение и масштабирование имеет модульный характер.

Область применения:

Предложенные подходы, алгоритмы и модели могут использоваться в различных сферах экономики для создания и развития инфраструктуры электронных услуг, предоставляемых широкому кругу пользователей. Отдельные решения могут быть использованы для реализации системы идентификации и аутентификации пользователей Республиканской информационно-образовательной среды системы образования Республики Беларусь.

SUMMARY

Reshetniak Aliaksandr Vitalievich

System integration of radio frequency identification and distributed ledger technologies into the infrastructure of digital services in the field of education

Keywords: systems analysis, digital platform, electronic services, multifunctional electronic documents, radio frequency identification technologies, Internet of things, distributed ledger, blockchain, electronic service providers.

Research objective: to develop a digital platform using radio frequency identification technologies, the Internet of things and a distributed ledger for the integration of heterogeneous information systems that provide electronic services to students.

Research methods: methods of system analysis, algorithmization and reengineering, modeling methods using a unified modeling language (Unified Modeling Language) for business processes.

The obtained results and their novelty:

The structure of a digital platform for providing electronic services to students based on multifunctional electronic documents and its software implementation have been developed. An algorithm and a model for interaction between participants in the process of issuing multifunctional electronic documents and organizations that provide electronic services based on the latest technologies have been developed. A model for assessing the degree of development of a digital platform for providing electronic services has been developed.

Recommendations for use:

The infrastructure created on the basis of the digital platform allows to form in a short time a complex of electronic services provided to students on the basis of multifunctional electronic documents in various areas: education, culture, sports, health, entertainment. The number of such services provided on the basis of the approaches proposed in this work is practically unlimited, their implementation and scaling is modular.

Application area:

The proposed approaches, algorithms and models can be used in various areas of the economy to create and develop the infrastructure of electronic services provided to a wide range of users. Individual solutions can be used to implement the identification and authentication system for users of the Republican information and educational environment of the education system of the Republic of Belarus.



Подписано в печать 16.04.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75.
Тираж 60 экз. Заказ 59.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика
в республиканском унитарном предприятии
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.