

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Объект авторского права
УДК [005.92:378]:004.7

КАЧАН
Дмитрий Александрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ
ДОКУМЕНТООБОРОТОМ В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙН**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Вишняков Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Листопад Николай Измайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кочин Виктор Павлович, кандидат технических наук, доцент, начальник Центра информационных технологий Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация **Белорусский национальный технический университет**

Защита состоится «23» марта 2023 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « 21 » февраля 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



В. А. Рыбак

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция развития интеллектуальных и инфокоммуникационных технологий показывает, что модели и средства обработки информации получают все большее развитие и распространение в информационном управлении отраслями экономики. Особый интерес представляет информационное управление в образовании, использующее электронные библиотеки и образовательные порталы и включающее процессы маркетинга образовательных услуг, управления учебным заведением, документооборотом, персоналом, образовательным контентом, учебно-образовательным процессом и др.

При большом многообразии работ в области информационного управления в образовании актуальным является развитие моделей и алгоритмов управления на основе технологии распределенных реестров (блокчейн) и оценка эффективности новых моделей. Использование блокчейн в большей степени характерно для финансовой сферы (fintech), в системе образования использование блокчейн находится в стадии разработки, поэтому тема исследований является актуальной.

Особый интерес представляют модели использования технологии, оценка влияния на общую эффективность управления, связь с показателями эффективности работы системы в целом, алгоритмы применения, которые и обуславливают актуальность исследований, представленных в диссертационной работе.

Информационно-технологические тренды порождают угрозы, одной из них является рост количества поддельных документов об образовании. Другой проблемой является отставание возможностей системы образования и запросов потребителей образовательных услуг, прежде всего выражаемое в несбалансированности подготовки специалистов в вузах и потребности экономики в условиях развития цифровизации.

Степень разработанности темы обусловлена использованием научных трудов и практических исследований ученых: П. Р. Атутова, В. С. Ильина, К. Мацуура, П. Друкера, И. Д. Зверева, В. П. Максимова, М. Н. Скаткина, Т. М. Шамсутдиновой и др.

В связи с этим приобретает актуальность разработка моделей и алгоритмов управления документооборотом в системе образования с использованием технологии блокчейн, а также «умных» контрактов (смарт-контрактов), обеспечивающих поддержку подтверждения достоверности документов об образовании и балансирующих процесс взаимодействия учреждений образования с потребителями образовательных услуг.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований

Республики Беларусь.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках научно-исследовательских работ: «Новые технологии в информационном управлении и электронном маркетинге предприятий» от 22.04.2016 № ГР 0162078; «Изучение современных методологий реализации пилотных проектов, разработка предложений по совершенствованию правового регулирования реализации пилотных проектов» от 07.04.2022 № ГР 20220858; «Научное обоснование построения «цифрового государства»» от 21.03.2022 № ГР 20220792.

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель диссертационной работы – разработать модели, алгоритмы и программную реализацию для управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ методов и средств управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

2. Разработать модели управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

3. Разработать алгоритмы управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

4. Разработать программную реализацию управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

5. Апробировать модели, алгоритмы и программную систему управления электронным документооборотом в образовании с использованием блокчейн и оценить эффективность ее влияния на основные факторы системы образования.

Объект исследования – система информационного управления в образовании.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы совершенствования управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

Научная новизна

Основными научными результатами диссертационной работы являются разработанные структуры, модели и алгоритмы управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн с поддержкой процессов умными контрактами, применением интеллектуальных агентов и OID-идентификаторов.

1. Разработана на базе теории множеств модель информационного управления в образовании с использованием технологии блокчейн (на основе автомата с проверкой состояний при выполнении переходов), включающая

подтверждение достоверности документов об образовании и сбалансированность выпуска специалистов под потребности цифрового развития экономики, отличающаяся повышением надежности документов об образовании, оперативным изменением выпуска ИТ-специалистов и позволяющая реализовать политику в области цифрового развития.

2. Разработаны алгоритмы генерации цифрового документа и подтверждения его достоверности об образовании с применением блокчейн (с введением криптографического автомата, где переходы из одного состояние в другое выполняются на основе криптографической проверки), минимизирующие возможность подделки документов, которые в отличие от известных подходов позволяют в качестве доверенной третьей стороны использовать OID-идентификатор.

3. Разработаны структура интернет-маркетинга и алгоритмы для интеллектуальной многоагентной системы с использованием блокчейн (транзакции в сети блокчейн для хранения дайджестов в создаваемых блоках, размещение умных контрактов), удовлетворяющие запросы предприятий на ИТ-специалистов, которые, в отличие от известных решений балансируют процессы подготовки выпускников для цифровой экономики и реализуют контроль за исполнением соглашений с использованием умного контракта.

4. Разработана на основе экспертной информации графическая структура взаимосвязи блокчейн и девяти базисных факторов системы образования, отличающаяся от известных решений комплексным подходом, исследование которой в процессе когнитивного моделирования показало, что с использованием технологии блокчейн значения показателей улучшаются в среднем до 5 %.

5. Реализовано и апробировано специальное программное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов, что в отличие от известных решений повышает эффективность информационного управления в образовании и показывает перспективность использования технологии блокчейн в нефинансовых областях экономики.

Положения, выносимые на защиту

1. Процессная модель информационного управления в образовании (на основе нового типа автомата с проверкой состояний при выполнении переходов), обеспечивающая подтверждение достоверности документов об образовании и отличающаяся балансировкой выпуска специалистов под потребности цифровой экономики.

2. Алгоритмы подтверждения достоверности документа об образовании на основе блокчейн (с введением криптографического автомата), которые в отличие от известных подходов позволяют в качестве доверенной третьей стороны использовать OID-идентификатор, минимизирующие возможности подделки документов.

3. Алгоритмы интернет-маркетинга и интеграции запросов предприятий на специалистов, отчетов учреждений образования об их подготовке с детализацией транзакций в блокчейн, отличающиеся балансировкой

процессов выпуска специалистов, и которые реализуют контроль за исполнением соглашений с использованием умного контракта, что повышает показатели системы образования до 5 %.

4. Графическая структура модели взаимосвязи блокчейн и девяти базисных факторов системы образования, отличающаяся от известных комплексным подходом и позволяющая в процессе когнитивного моделирования показать увеличение условных показателей системы образования на 3–5 %.

5. Специальное программное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов, которое в отличие от известных решений повышает эффективность информационного управления в образовании, показывающее перспективность использования блокчейн в нефинансовых областях.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации с отграничением их от соавторов совместных исследований и публикаций

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании цели и задач исследования, разработке моделей и алгоритмов применения технологии блокчейн в информационном управлении в образовании, участие в проведении экспериментов по их исследованию, а также в обработке, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке основных выводов. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов. Основным соавтором публикаций является научный руководитель – доктор технических наук, профессор В. А. Вишняков, который осуществлял уточнение цели и постановку задач исследований, обсуждение результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: II Международная конференция «Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности», 7–9 февраля 2019 г., г. Москва; Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» г. Минск, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР) 2020 г.; XXIII–XXV, XXVII Международные конференции «Современные средства связи», г. Минск, Белорусская государственная академия связи (БГАС), 2018–2020, 2022; IV Международная научная конференция «Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании», 6–9 октября 2020 г., г. Красноярск; Международная научно-практическая конференция «Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях» г. Минск, БГУИР 2021 г.; V, VI Международные научные конференции «Информатизация образования

и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании», 22–24 сентября 2021 г., 20–23 сентября 2022 г., г. Красноярск.

Результаты диссертационной работы использованы при реализации электронного документооборота в БГУИР, БГАС и ОАО «Гипросвязь».

Опубликованность результатов диссертации

По результатам выполненных исследований, представленных в диссертации, опубликовано 18 научных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов научных исследований, 2 статьи в научных журналах, 10 статей в сборниках материалов докладов научных конференций. Общий объем публикаций по теме диссертации, составляет 5,1 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников и приложений.

Полный объем диссертационной работы составляет 204 страницы, из них 91 страница текста, 48 рисунков на 30 страницах, 20 таблиц на 18 страницах, библиографический список (78 источников на 7 страницах), собственные публикации автора (18 наименований на 2 страницах), 10 приложений на 56 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, которая обуславливается необходимостью ее комплексного научного изучения и практического исследования, определена и рассмотрена степень изученности проблемы, рассматриваемой в диссертационном исследовании.

В **первой главе** проведен анализ информационного управления в образовании, рассмотрены основные направления цифрового развития и выделены основные тренды. Рассмотрен отечественный опыт информационного управления в образовании: интеграция имеющихся в секторе образования информационных ресурсов в единую информационную систему управления, а также использование блокчейн в образовании на примере отдельных российских вузов [1–А – 3–А].

Проанализирован опыт Республики Эстония по созданию информационной системы в секторе образования Eesti Hariduse Infosüsteem (EHIS). В информационной системе размещается информация об учреждениях образования, обучающихся, педагогических работниках, документах об образовании, учебных материалах и образовательных программах. Вопросы использования персональных данных и информации, содержащейся в EHIS, закреплены законодательно и определены в методических материалах системы и подсистем.

Рассмотрена проблематика создания комплексной системы управления в образовании. Определены первичные направления применения блокчейн для системы образования – сбалансированность подготовки, связанная с прогнозированием потребности в кадрах, и электронный документооборот с подтверждением достоверности документов.

Дана общая оценка блокчейн, включая рассмотрение стадии развития технологии, особенности технологии, возможностей умных контрактов, проведено общее сравнение блокчейн-сетей Bitcoin и Ethereum. Приведены общие сведения об особенностях работы блокчейн-сети Ethereum, на основе которой будут проводиться дальнейшие исследования.

Определено применение блокчейн в образовании на основе анализа существующих проблем – подтверждение достоверности документов об образовании и обеспечение сбалансированности выпуска специалистов.

Проведен анализ способов оценки эффективности внедрения блокчейн. Установлено, что эффективность блокчейн на основе анализа эмпирического опыта составляет до 15 % (подтвержденные данные на основе использования блокчейн-сети Hyperledger от компании IBM). Для практической оценки эффективности определено использование методов когнитивного моделирования на базе упрощенной EFQM-модели (European Foundation for Quality Management) системы образования. На основе проведенного анализа определена цель диссертационного исследования.

Во **второй главе** представлена обобщенная модель информационного управления в образовании с использованием блокчейн.

В контексте предлагаемой информационной системы в образовании (ИСвО) решались две задачи [4–А, 5–А, 12–А – 14–А]:

- разработка и детализация технологии для обеспечения подтверждения достоверности документов об образовании на основе модели блокчейн с использованием умных контрактов;

- разработка структуры интернет-маркетинга сбалансированности потребности предприятий в современных специалистах и выпускниках учреждений образования с поддержкой блокчейн.

Обобщенная модель модуля (подсистемы) информационной поддержки в образовании с использованием блокчейн (ИПвОБ) M_{mse} для ИСвО имеет вид

$$M_{mse} = \{M_{edd}, M_{sdd}, M_{ebe}\}, \quad (1)$$

где M_{edd} – модель генерации цифрового документа в образовании;
 M_{sdd} – модель подтверждения цифрового документа в образовании;
 M_{ebe} – модель обеспечения сбалансированного состояния потребностей экономики и выпуска специалистов в образовании.

Модель позволяет реализовать элементы автоматизации, относимой к четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0).

Публикация документов в сети блокчейн выполняется на основе умных контрактов. Формальное представление умного контракта может быть отражено в виде модели конечного автомата, имеющего один вход, один

выход и в каждый момент времени находящегося в одном состоянии из множества возможных:

$$M = \{Q, \Sigma, \delta, s_0, F\}, \quad (2)$$

где Q – конечное множество всех возможных состояний умного контракта; Σ – набор всех входных событий умного контракта; δ – множество переходных функций умного контракта; $\delta : Q \cdot \Sigma \rightarrow Q$ – конечное состояние умного контракта; F – конечное состояние умного контракта, $F \in Q$; s_0 – начальное состояние умного контракта, $s_0 \in Q$.

Обозначив начальное состояние блокчейн-сети σ , получаем переход сети в новое состояние σ_{t+1} при условии совершения успешной транзакции (введение криптографического автомата, где переходы из одного состояние в другое выполняются на основе криптографической проверки). Новое состояние блокчейн-сети влияет в разной степени на многие учетные записи в сети, а также на другие умные контракты, которые в свою очередь оказывают влияние на данные в цепочке блоков, добавляемых далее. Достоверные транзакции отражают допустимый переход состояния блокчейн-сети (нового типа автомата с проверкой состояний при выполнении переходов). Функция перехода состояния может быть выражена следующим образом:

$$\sigma_{t+1} \equiv Y(\sigma_t, T), \quad (3)$$

где σ_{t+1} – новое состояние сети; Y – функция перехода состояния блокчейн-сети; T – достоверные транзакции в блокчейн-сети.

σ отражает достоверное состояние блокчейн-сети, т. е. состояние всех балансов, загруженных и вызванных умный контрактов.

Все достоверные транзакции объединяются в блоки, которые объединяются в цепочку с использованием дайджеста (криптографического хэша) в качестве ссылки на предыдущие достоверные состояния блокчейн-сети. Блоки формируются как реестр записей, дописывая серию транзакций вместе с предыдущим блоком и идентификатором (дайджестом) конечного состояния. Дополнительно осуществляется дописывание транзакций, касающихся компенсации расходов вычислительных узлов (процесс «оплаты» услуг вычислительным узлом условно называется «чеканкой»). Формальное математическое представление блокчейн-сети:

$$\sigma_{t+1} \equiv \Pi(\sigma_t, B), \quad (4)$$

где σ_{t+1} – новое состояние сети; Π – функция перехода состояния блока, отражающая принятые правила формирования блоков; σ_t – текущее состояние сети; B – блок, включающий в себя серию достоверных транзакций, обеспечивающих переход состояния блокчейн-сети, включая дополнительные компоненты, необходимые для работы блокчейн-сети.

$$B \equiv (\dots, (T_0, T_1, \dots), \dots), \quad (5)$$

где B – блок, включающий в себя серию достоверных транзакций, обеспечивающих переход состояния блокчейн-сети, включая дополнительные компоненты, необходимые для работы блокчейн-сети; T_0, T_1 – достоверные транзакции в блокчейн-сети.

$$\Pi(\sigma, B) \equiv \Omega(B, Y(Y(\sigma, T_0), T_1) \dots), \quad (6)$$

где Ω – функция добавления блока в цепь блоков блокчейн-сети с переходом сети в новое состояние и перечислением вознаграждения вычислительным узлам за проделанные вычисления.

Уравнения (3) – (6) отражают парадигму децентрализованных транзакционных систем блокчейн, основанных на механизмах консенсуса.

Блокчейн позволяет осуществлять подтверждение достоверности дайджеста интересующего документа, существующего в виде записи к транзакции. Это позволяет построить сервис для сравнения дайджеста предоставленного документа с дайджестом, хранимым в сети блокчейн, не нарушая конфиденциальность данных – сами документы в сеть не попадают, сравнение осуществляется только на основе дайджестов.

Предложен подход применения технологии блокчейн для подтверждения достоверности документов об образовании, состоящий из двух этапов: эмиссия цифрового документа об образовании и его проверка. Алгоритм эмиссии представлен на рисунке 1 [4–А]. Установлена роль доверенной третьей стороны в процессе эмиссии и проверки – для целей доверенной третьей стороны предложено использование OID-идентификаторов [8–А – 10–А].

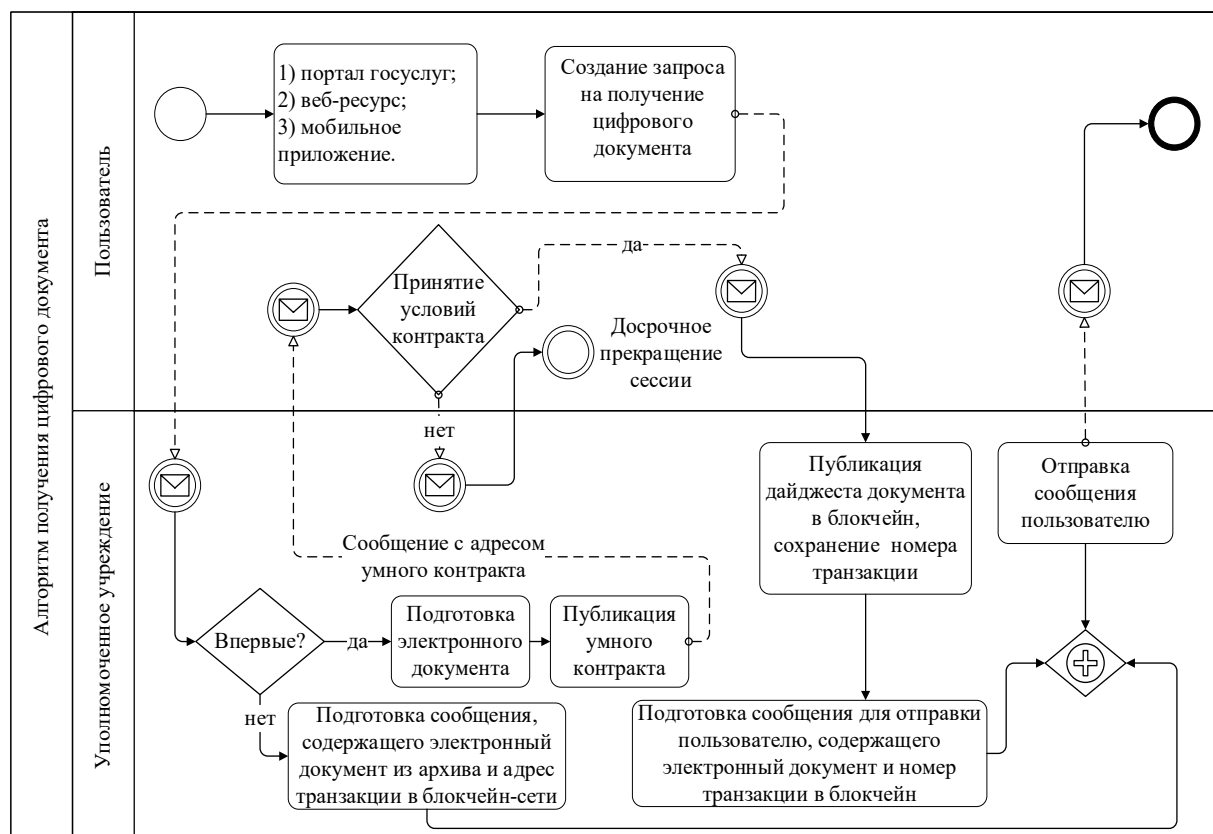


Рисунок 1 – Алгоритм процесса получения цифрового документа

Принцип публикации документа следующий – производится вычисление значения дайджеста документа, проводится транзакция в сети блокчейн, направленная на выполнение предварительно загруженного в сеть умного контракта, содержащая вычисленный дайджест документа.

Загружаемый дайджест имеет длину данных в 32 байта в соответствии с используемым алгоритмом вычисления дайджеста SHA-256. При этом, используя блокчейн-сеть Ethereum, транзакция может сопровождаться размещением дополнительных данных в сети блокчейн при необходимости. В сети Bitcoin для хранения дайджеста используется функция OP_RETURN, которая имеет ограничение на длину размещаемых данных в 40 байт.

В основе модели лежит использование пользователем программных средств (мобильное приложение, веб-приложение, веб-ресурс, портал государственных услуг). После успешной авторизации (при необходимости) пользователь принимает решение об оформлении электронного запроса на получение цифрового документа об образовании.

В случае наличия данных пользователя в существующих базах данных дальнейшие шаги осуществляются автоматически на основании заданных в программном обеспечении последовательностей действий: осуществляется проверка более ранних обращений пользователя, при которых процедура подготовки цифрового документа и публикации его дайджеста в сети блокчейн уже осуществлялась. В случае отсутствия записей о ранних обращениях происходит автоматическое формирование цифрового документа в pdf-формате по установленной форме и осуществляется публикация умного контракта между пользователем и учреждением по размещению данных документа (дайджеста) в блокчейн-сети.

Пользователь получает извещение о предложении заключения умного контракта и в случае положительного решения происходит следующая последовательность действий: вычисляется дайджест сформированного электронного документа pdf-формата с использованием криптографического алгоритма (SHA-256) и формируется сообщение, состоящее из электронного документа и номера транзакции в сети блокчейн, необходимое для последующего предъявления для подтверждения достоверности.

Сообщение направляется пользователю любым доступным способом – через специализированное мобильное приложение, чат-бот, электронное письмо посредством автоматической рассылки либо через портал государственных услуг (наиболее целесообразный вариант). Если в базе данных сервиса выдачи электронных документов содержится информация о предыдущих обращениях по данному документу, сообщение может быть направлено без дополнительного размещения в блокчейн данных.

Алгоритм проверки электронного документа об образовании представлен на рисунке 2 [4–А].

Процедура проверки достоверности документа об образовании осуществляется по алгоритму: проверяющей стороной вычисляется дайджест представленной соискателем при трудоустройстве электронной версии документа, используя любой доступный онлайн-сервис, и сравнивается

полученное значение со значением, указанным в транзакции публикации данных в блокчейн. Далее осуществляется сверка данных адреса автора транзакции и данных OID-идентификатора на предмет совпадения и наличия у учреждения полномочий на выдачу документов. На основании сравнения принимается решение о достоверности данного документа [4–А, 9–А].

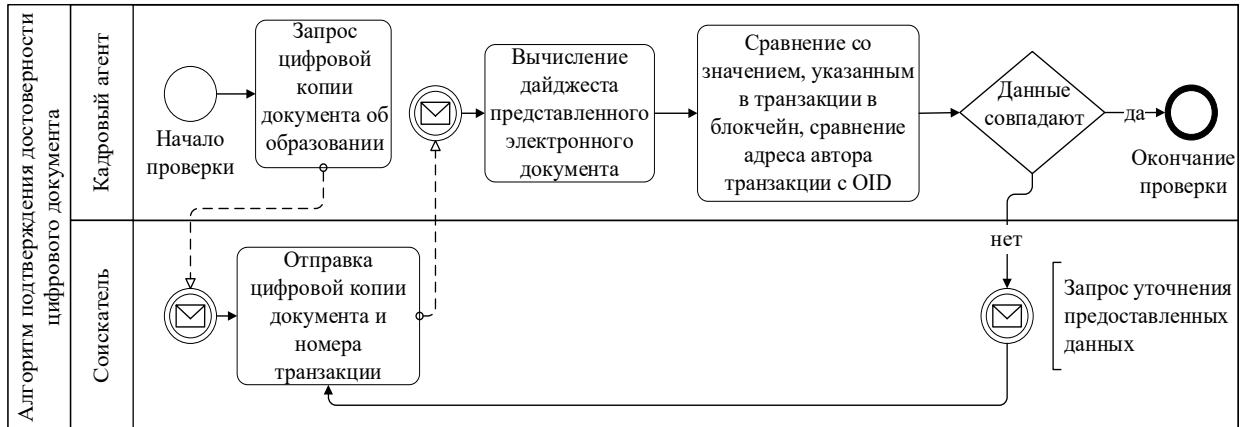


Рисунок 2 – Алгоритм подтверждения достоверности документа

Разработана модель интернет-маркетинга для интеллектуальной интеграции запросов предприятий на специалистов и отчетов учреждений образования об их подготовке с поддержкой блокчейн, которая оптимизирует процессы выпуска и контроля за исполнением [5–А]. Пусть R – множество потребностей экономики в специалистах, S – множество подготавливаемых специалистов учреждениями образования. Интеллектуальный агент (IA_i) реализует минимизацию функции $F(|R-S|) \rightarrow \min$.

Рассмотрим структуру распределенной интеллектуальной маркетинговой информационной системы (ИМИС) с использованием портала системы образования (ПСО) для удовлетворения потребностей в кадрах для отраслей экономики, которая работает с поддержкой интеллектуальных агентов и применением блокчейн (рисунок 3) [5–А].

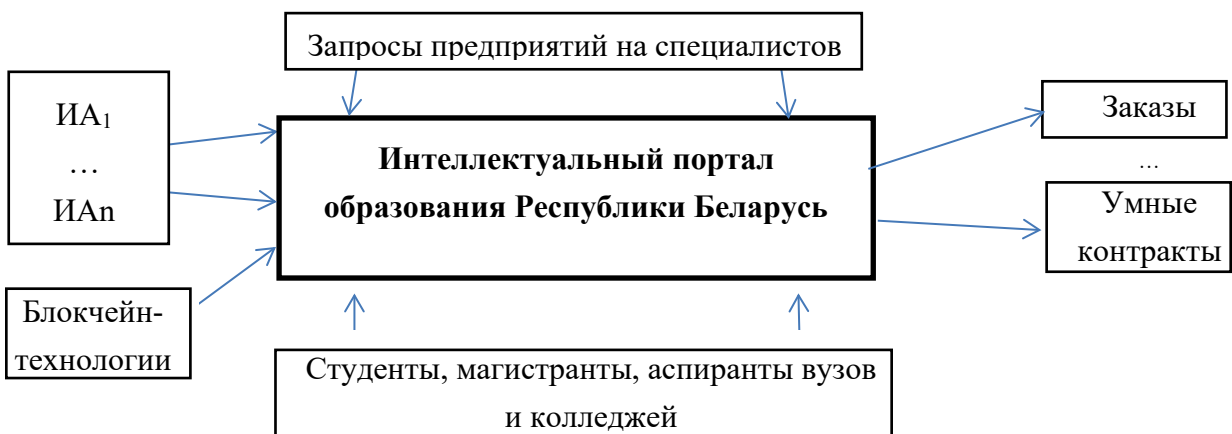


Рисунок 3 – Структура системы интернет-маркетинга в образовании

ПСО в своем составе имеет базу знаний с алгоритмом самообучения и редактором, интеллектуальный решатель, подсистему объяснений, интерфейс $IA_1...IA_N$, подсистему подтверждения достоверности на основе блокчейн.

Интеллектуальные агенты $ИА_1...ИА_N$ сканируют сайты предприятий (для определения потребностей в специалистах) и сайты учреждений образования (данные о выпускниках) и формируют базу знаний портала для работодателей. Решатель находит совпадения и выдает предложения для требуемого персонала (включая прогнозные потребности), объединяя интересы предприятий и учебных заведений.

В результате переговоров формируются умные контракты, которые поддерживаются блокчейн. Эта технология гарантирует достоверность документов об образовании, а также подтверждение юридически значимых действий.

В **третьей главе** на основе полученных моделей информационного управления в сфере образования представлены структуры и алгоритмы для реализации. Определены изменения уровней иерархии информационной системы управления в образовании с использованием блокчейн (рисунок 4).



Рисунок 4 – Стратификация интегрированной информационной системы по уровням информационного управления в образовании

Разработан и представлен ряд алгоритмов [13–А – 16–А, 18–А]:

– алгоритмы, выполняющие задачи ИУВО с использованием технологии блокчейн, которые учитывают информационные уровни интегрированной системы;

– алгоритм эмиссии и подтверждения достоверности документов об образовании, который позволяет осуществлять независимую проверку достоверности документа, а также восстановить утраченные. В качестве компонента, используемого при эмиссии цифровой копии документа, рассмотрен алгоритм применения умного контракта;

– алгоритм интеллектуального агента формирования запросов предприятий на ИТ-специалистов. Рассмотрен алгоритм работы интеллектуальных агентов предприятия и учреждения образования, объединенных единой информационной средой.

Для ИА предприятия рассмотрен алгоритм анализа кадрового потенциала, на основании которого принимается управленческое решение и происходит взаимодействие с ИА УО, а также алгоритм взаимодействия ИА с обучающимся на примере заключения умного контракта на последующее трудоустройство.

Формирование запросов предприятий на ИТ-специалистов осуществляется двумя группами агентов: интеллектуальные агенты оценки кадрового потенциала предприятия (определение спроса рынка труда) и интеллектуальные агенты мониторинга образовательного процесса (подготовка специалистов).

Алгоритм работы ИА, осуществляющих оценку кадрового потенциала предприятия, на основании которого может происходить формирование заявки на выпускников учреждений образования, сформированный по результатам исследований в работе [14–А], включает шаги:

- 1) сбор и предварительная обработка данных;
- 2) выбор системы показателей с учетом имеющейся базы данных;
- 3) оценка состава, структуры, движения кадрового потенциала организации;
- 4) анализ факторов, влияющих на кадровый потенциал и эффективность его использования;
- 5) оценка кадрового потенциала по совокупности объектов исследования;
- 6) оценка эффективности управления потенциалом в организации;
- 7) решение о потребности предприятия в специалистах.

На этапе обмена данными интеллектуальными агентами предприятия и учреждения образования происходит сопоставление приобретаемых квалификаций обучающихся с потребностью предприятия. Для реализации алгоритмов ИА в сети блокчейн и целей последующей проверки использованы возможности умных контрактов. Структура мультиагентной системы представлена на рисунке 5.

Транзакции для решения задачи обеспечения сбалансированности выпуска специалистов под потребности цифровизации экономики поддерживают взаимодействие нанимателя и учреждения образования.

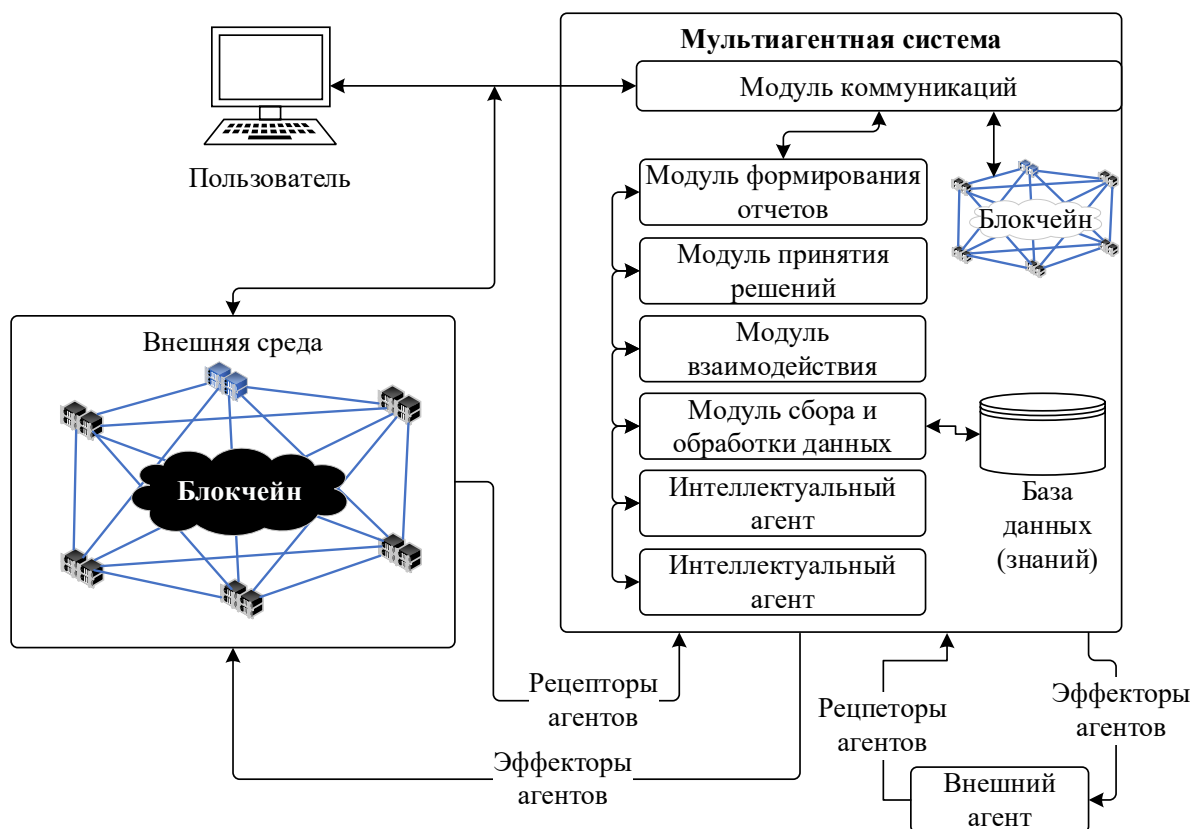


Рисунок 5 – Обобщенная структура мультиагентной системы

На рисунке 6 показан алгоритм обеспечения сбалансированного выпуска специалистов, включающий общие аспекты взаимодействия сторон.

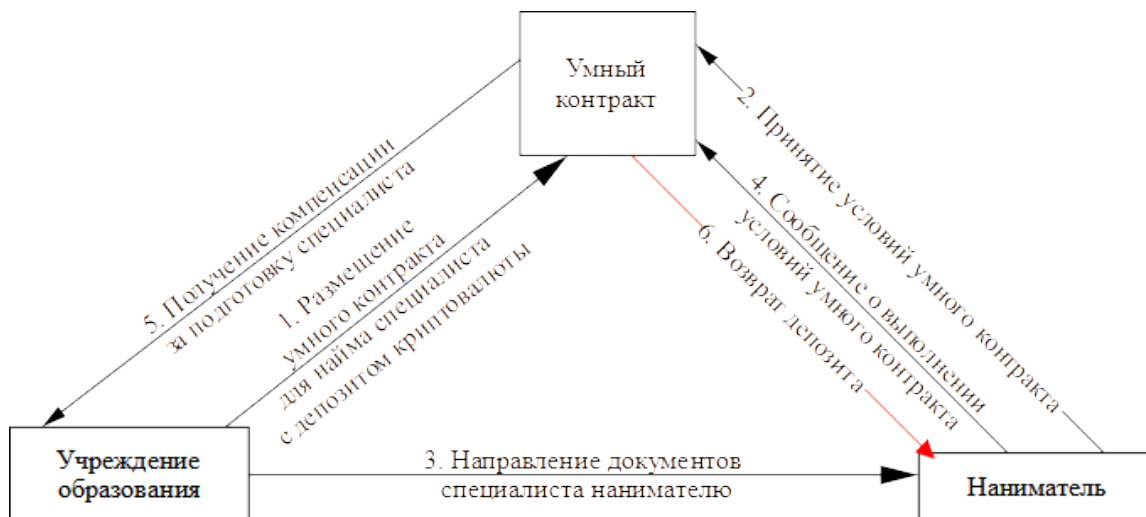


Рисунок 6 – Алгоритм выполнения умного контракта для обеспечения сбалансированности выпуска специалистов с механизмом защиты соискателя и учреждения образования

Алгоритм включает следующие шаги:

1) учреждение образования формирует и публикует умный контракт в блокчейн-сети с предложением о трудоустройстве специалиста с внесением залога в виде депозита на основе обмениваемых криптографических токенов (модель на основе токенов для трудоустройства позволяет построить достаточно гибкую форму взаимодействия участников);

2) потенциальный наниматель принимает условия умного контракта и вносит залог (вместе с оплатой при ее наличии);

3) учреждение образования направляет документы специалиста нанимателю для трудоустройства;

4) наниматель отправляет сообщение о получении документов и найме соискателя;

5) учреждение образования получает подтверждение и оплату;

6) наниматель автоматически получает на счет возврат депозита.

В работе [6–А] рассмотрено применение когнитивного моделирования для оценки влияния блокчейн на систему образования. Определена структурная модель взаимосвязи блокчейн и девяти ее факторов.

Система образования, являясь слабо структурированной системой, имеет значительное количество влияющих факторов с воздействиями разных весов. Для проведения анализа посредством когнитивного моделирования использовалась методика линейных динамических моделей. Процесс расчета является итеративным – после задания начальных состояний вершин значения состояний пересчитываются до тех пор, пока разница между текущими и предшествующими состояниями не окажется меньше некоторого значения.

Анализ результатов показывает, что при включении влияния фактора «блокчейн» значения показателей системы образования изменяются в среднем на 5 %, принимая во внимание минимальное влияние базисного фактора.

В **четвертой главе** приведено описание выполненной программной реализации для проверки и применения разработанных моделей и алгоритмов [А–13 – А–18]. Для реляционной базы данных (БД) разработана логическая и физическая модель данных. Нереляционная БД предназначена для хранения данных, подготовленных для загрузки в блокчейн-сеть. Ее структура включает в себя коллекции: документы, подготовленные к отправке в блокчейн на основании последующего выполнения умного контракта (по факту формирования записи осуществляется подготовка умного контракта); документы, отправленные ранее по запросу, дайджест которых был опубликован в блокчейн.

Каждая коллекция в структуре БД состоит из документов, содержащих записи, присутствующие в электронной версии документа об образовании. Документы, размещаемые в коллекции отправленных документов “Sent”, будут иметь дополнительные поля: адрес, с которого осуществлялась загрузка в сеть блокчейн, номер транзакции в сети блокчейн, дата отправки и данные подтверждения транзакции. Дополнительно коллекция позволяет сохранять информацию об OID-идентификаторе для оптимизации процесса проверки.

Решены следующие программно-информационные задачи:

– выполнен анализ данных, необходимых для формирования электронного документа об образовании;

– определена программная среда для разработки программного обеспечения. Построены логические и физические модели баз данных, на основании которых осуществляется формирование электронных документов

об образовании;

– детализирован OID-идентификатор с содержащимися данными, который является инструментом, позволяющим осуществлять подтверждение достоверности документов об образовании на основании использования обезличенной доверенной третьей стороны.

Варианты использования программных средств:

– подтверждение достоверности документов об образовании за счет эмиссии цифрового двойника документов и публикации его в блокчейн-сети;
– создание умных контрактов в сети Ethereum для применения организациями и учреждениями образования при балансировке подготовки специалистов.

Для разработки и тестирования умного контракта была использована тестовая блокчейн-сеть Ganache, обеспечивающая создание тестовой среды с 10 уникальными участниками. После публикации умного контракта в среде Remix он становится доступным для использования. По итогам выполнения алгоритма получены результаты:

– сформированный файл электронного документа об образовании установленного образца, содержащий необходимые данные – 1014598.pdf;

– дайджест электронного документа 1014598.pdf – 6d80deff635c5e3b4c6d1cbd491cd8c558027688;

– номер транзакции публикации дайджеста в сети блокчейн – 0x22a3057d8a4aba41720c54b246f50bc32af5d89c81eb63a7bc0e371eaab5c4a5;

– адрес отправителя – 0x3994Dac6f68A445Af612F8fDd2ff34c9a5c4a8D23.

Для проверки работы умного контракта, обеспечивающего сбалансированность выпуска специалистов, была использована тестовая блокчейн-сеть Goerli (контракт и транзакции доступны по ссылке <https://goerli.etherscan.io/tx/0x4f8a95806a8092b1ff99814d873c7de29c4848f21ac7bd3e0fec2c61ad0f216>). Приводится процедура проверки достоверности документа на примере случая трудовой миграции.

В приложениях приведены описания и проверки таблиц данных, текстов программ, результаты обработки тестовых данных, формирования электронных документов об образовании, идентификаторы Национальной системы образования, выполнение умных контрактов, акты внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основании анализа отечественного и зарубежного опыта управления в образовании разработана модель информационного управления документами и трудоустройством с блокчейн (введением нового типа автомата с проверкой состояний при выполнении переходов), включающая подтверждение достоверности документов и сбалансированность выпуска специалистов под потребности цифровой экономики, отличающаяся повышением надежности документов об образовании, оперативным изменением выпуска ИТ-специалистов и позволяющая реализовать элементы

автоматизации 4.0 [1–А, 2–А, 3–А, 7–А – 10–А].

2. Разработаны алгоритмы получения цифрового документа об образовании и подтверждения его достоверности на основе блокчейн (в виде автомата, где переходы из одного состояние в другое выполняются на основе криптографической проверки), которые в отличие от известных подходов позволяют в качестве третьей достоверной стороны использовать OID-идентификатор и исключить подделку документов [4–А, 11–А].

3. Разработаны структура интернет-маркетинга и алгоритмы для интеллектуальной многоагентной системы с использованием блокчейн (осуществление транзакций для хранения дайджестов в блоках и размещения умных контрактов), удовлетворяющие запросы предприятий на ИТ-специалистов, которые в отличие от известных решений балансируют процессы подготовки выпускников для цифровой экономики и реализуют контроль за исполнением соглашений с использованием умного контракта [5–А, 14–А].

4. Разработана на основе экспертной информации графическая структура взаимосвязи блокчейн и базисных факторов системы образования, исследование которой в процессе когнитивного моделирования показало, что благодаря использованию блокчейн значения базовых показателей управления качеством в системе образования улучшаются в среднем до 5 % [6–А].

5. Реализовано на языке программирования Python и апробировано специальное программное и информационное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов, что в отличие от известных решений повышает эффективность информационного управления в образовании и показывает перспективность использования технологии блокчейн в нефинансовых областях экономики [12–А – 18–А] для подтверждения достоверности документов и юридически значимых действий.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Исследованный в диссертации материал и сделанные на его основе выводы и предложения могут быть использованы:

1. В органах госуправления для развития направлений использования технологии блокчейн при подтверждении достоверности документов и установлении их авторства.

2. В организациях при проведении научных исследований – для дальнейшего развития концептуальных положений информационного управления с использованием технологии блокчейн.

3. В учебном процессе – для преподавания учебных дисциплин, использующих блокчейн, в вузах Республики Беларусь.

Разработанные модели, алгоритмы и средства управления в образовании с блокчейн переданы для использования в информационный центр БГУИР и БГАС, а также используются при разработке НИР в ОАО «Гипросвязь».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

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

1–А. Качан, Д. А. Развитие Республиканской информационно-образовательной среды / Д. А. Качан, П. А. Лис, М. В. Мирончик // Цифровая трансформация. – 2018. – № 2 (3). – С. 46–52.

2–А. Лис, П. А. Формирование информационной системы управления в секторе образования и развитие системы образования Беларуси на основе опыта Эстонии / П. А. Лис, Д. А. Качан, В. И. Слиж, А. Б. Бельский // Цифровая трансформация. – 2018. – № 4 (5). – С. 5–15.

3–А. Качан, Д. А. Технологии распределенных реестров и перспективы их использования в системе образования / Д. А. Качан // Цифровая трансформация. – 2018. – Т. 4, № 4 (5). – С. 44–55.

4–А. Вишняков, В. А. Управление интернет-маркетингом в системе образования с использованием блокчейн-технологий / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Доклады БГУИР. – 2020. – № 2. – С. 30–36.

5–А. Качан, Д. А. Подход и модели применения технологии распределенных реестров для подтверждения достоверности документов в образовании / Д. А. Качан, В. А. Вишняков // Доклады БГУИР. – 2020. – № 7. – С. 14–23.

6–А. Качан, Д. А. Оценка воздействия применения технологии распределенных реестров в системе образования с использованием когнитивного моделирования / Д. А. Качан, В. А. Вишняков // Проблемы ИК. – 2021. – № 1. – С. 35–40.

Статьи в научных журналах

7–А. Качан, Д. А. Открытые данные: анализ тенденций / Д. А. Качан // Цифровая трансформация. – 2018. – № 1 (2). – С. 72–78.

8–А. Интеграция информационных ресурсов открытого доступа для обеспечения научно-образовательного процесса в учреждениях высшего образования / Д. А. Качан, А. В. Богатко, И. Н. Богатко, С. В. Енин, В. Г. Кулаженко, В. С. Лазарев, П. А. Лис, А. В. Скалабан, И. В. Юрик // Открытое образование. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 53–63.

Статьи в сборниках и материалах научных конференций

9–А. Вишняков, В. А. Интеллектуальные и блокчейн-технологии в ИС безопасности / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Современные средства связи : материалы XXIII Междунар. науч. конф., Минск, 18–19 окт. 2018 г. / БГАС ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 194.

10–А. Качан, Д. А. Информатизация управления системой образования с использованием элементов технологии распределенных реестров /

Д. А. Качан, А. П. Москаленко // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности : тр. 2-й Междунар. конф., Москва, 7–8 февр. 2019 г. – М. : ИПМ им. М. В. Келдыша, 2019. – С. 207–214.

11–А. Вишняков, В. А. Интеллектуальные и блокчейн-технологии в системе управления образованием / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Современные средства связи : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–18 окт. 2019 г. / БГАС ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2019. – С. 129.

12–А. Вишняков, В. А. Модели и средства подтверждения документов об образовании с использованием технологии распределенных реестров / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании : материалы IV Междунар. науч. конф., Красноярск, 6–9 окт. 2020 г. : в 2 ч. / Сиб. федер. ун-т ; под общ. ред. Н. В. Носкова. – Красноярск, 2020. – Ч. 2. – С. 61–66.

13–А. Вишняков, В. А. Алгоритмы и реализация блокчейн-технологии в системе управления образованием / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Современные средства связи : материалы XXV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 окт. 2020 г. / БГАС ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2020. – С. 134

14–А. Качан, Д. А. Алгоритмы и реализация интеллектуальных агентов интеграции предприятий и учреждений образования / Д. А. Качан, В. А. Вишняков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных = Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security : материалы Междунар. науч.-техн. семинара (Республика Беларусь, Минск, ноябрь – декабрь 2020 г.) / редкол.: М. Н. Бобов [и др.]. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 12–15.

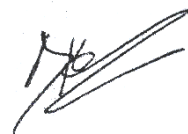
15–А. Качан, Д. А. Поддержка информационного управления в образовании с использованием блокчейн / Д. А. Качан, В. А. Вишняков // Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 19 апр. 2021 г.) / редкол.: В. К. Конопелько, В. Ю. Цветков, Л. А. Шичко. – Минск: БГУИР, 2021. – С. 19–22.

16–А. Вишняков, В. А. Алгоритмическое обеспечение для подтверждения достоверности документов об образовании на основе технологии распределенных реестров / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании : материалы V Междунар. науч. конф., Красноярск, 21–24 сент. 2021 г. : в 2 ч. – Ч. 2 / под общ. ред. Н. В. Носкова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – С. 54–59.

17–А. Вишняков, В. А. Модель и реализация смарт контракта в образовании / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании :

материалы V Междунар. науч. конф., Красноярск, 20–23 сент. 2022 г. : в 3 ч. – Ч.2 / под общ. ред. Н. В. Носкова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2022. – С. 443–447.

18–А. Вишняков, В. А. Алгоритмы и программная реализация информационного управления в образовании с использованием блокчейн / В. А. Вишняков, Д. А. Качан // Современные средства связи : материалы XXVII Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 26–27 окт. 2022 г. / БГАС; редкол : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск : БГАС, 2022. – С. 97.



РЭЗІЮМЭ

Качан Дзмітрый Аляксандравіч

Мадэлі і алгарытмы кіравання электронным дакументазваротам ў сістэме адукацыі з выкарыстаннем блокчэйн

Ключавыя словы: блокчэйн, інфармацыйнае кіраванне, маркетынгавая інфармацыйная сістэма, агенты, разумны кантракт

Мэта працы: распрацаваць мадэлі, алгарытмы і праграмную рэалізацыю для кіравання электронным дакументазваротам у адукацыі і працаўладкаваннем выпускнікоў з выкарыстаннем блокчэйн.

Метады даследавання і выкарыстоўваная апаратура: тэорыі сетак, сістэмнага аналізу, прыняцця рашэнняў, апрацоўка размеркаванай інфармацыі; праграмныя кампаненты, асяроддзе распрацоўкі, воблачнае асяроддзе, база ведаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: мадэль інфармацыйнага кіравання ў адукацыі з выкарыстаннем тэхналогіі блокчэйн (на аснове аўтамата з праверкай станаў пры выкананні пераходаў), якая ўключае пацверджанне дакладнасці дакументаў аб адукацыі і збалансаванасць выпуску спецыялістаў пад патрэбы цыфравізацыі эканомікі; алгарытмы генерацыі лічбавага дакумента і пацверджання яго дакладнасці аб адукацыі на аснове тэхналогіі блокчэйн (з увядзеннем крыптаграфічнага аўтамата, дзе пераходы з аднаго стан у іншае выконваюцца на аснове крыптаграфічнай праверкі); структура інтэрнэт-маркетынгу і алгарытмы для інтэлектуальнай мноагентной сістэмы з выкарыстаннем блокчэйн (транзакцыі ў сетцы блокчэйн для захоўвання дайджэстаў ў ствараемых блоках, размяшчэнне смарт-кантрактаў), якія задавальняюць запыты прадпрыемстваў на ІТ-спецыялістаў; графічная структура ўзаемасувязі блокчэйн і базісных фактараў сістэмы адукацыі; спецыяльнае праграмнае забеспячэнне на аснове распрацаваных мадэляў і алгарытмаў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: распрацаваныя мадэлі, алгарытмы і сродкі кіравання электронным дакументазваротам з выкарыстаннем тэхналогіі блокчэйн могуць выкарыстоўвацца ў структурах адукацыі і дзяржаўнага кіравання пры распрацоўцы перспектывных і мадэрнізацыі існуючых інфармацыйных сістэм

Вобласць ужывання: у арганізацыях для далейшага развіцця канцэптальных палажэнняў інфармацыйнага кіравання з выкарыстаннем тэхналогіі блокчэйн; навучальным працэсе – для выкладання навучальных дысцыплін, якія выкарыстоўваюць блокчэйн, удасканаленне адукацыйных праграм і самападрыхтоўкі.

РЕЗЮМЕ

Качан Дмитрий Александрович

Модели и алгоритмы управления электронным документооборотом в системе образования с использованием блокчейн

Ключевые слова: блокчейн, информационное управление, маркетинговая информационная система, агенты, умный контракт

Цель работы: разработать модели, алгоритмы и программную реализацию для управления электронным документооборотом в образовании и трудоустройством выпускников с использованием блокчейн.

Методы исследования и используемая аппаратура: теории сетей, системного анализа, принятия решений, обработка распределенной информации; программные компоненты, среды разработки, облачная среда, база знаний.

Полученные результаты и их новизна: модель информационного управления в образовании с использованием технологии блокчейн (на основе автомата с проверкой состояний при выполнении переходов), включающая подтверждение достоверности документов об образовании и сбалансированность выпуска специалистов под потребности цифровизации экономики; алгоритмы генерации цифрового документа и подтверждения его достоверности об образовании на основе технологии блокчейн (с введением криптографического автомата, где переходы из одного состояние в другое выполняются на основе криптографической проверки); структура интернет-маркетинга и алгоритмы для интеллектуальной многоагентной системы с использованием блокчейн (транзакции в сети блокчейн для хранения дайджестов в создаваемых блоках, размещение смарт-контрактов), удовлетворяющих запросы предприятий на ИТ-специалистов; графическая структура взаимосвязи блокчейн и базисных факторов системы образования; специальное программное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов.

Рекомендации по использованию: разработанные модели, алгоритмы и средства управления электронным документооборотом с использованием технологии блокчейн могут использоваться в структурах образования и государственного управления при разработке перспективных и модернизации существующих информационных систем.

Область применения: в организациях для дальнейшего развития концептуальных положений информационного управления с использованием технологии блокчейн; в учебном процессе – для преподавания учебных дисциплин, использующих блокчейн, совершенствования образовательных программ и самоподготовки.

SUMMARY

Kachan Dmitry Alexandrovich

Models and algorithms of electronic document management in education system using blockchain

Keywords: blockchain, information management, marketing information system, agents, smart contract

Purpose of the work: development models, algorithms and software implementation for electronic document management in education and employment of graduates using blockchain.

Research methods and the equipment used: network theory, system analysis, decision-making, distributed information processing; software components, development environments, cloud environment, knowledge base.

The results obtained and their novelty: the model of information management in education using blockchain technology (based on an automaton with verification of states during transitions), including confirmation of the authenticity of educational documents and the balance of the release of specialists for the needs of digitalization of the economy; algorithms for generating a digital document and confirming its authenticity about education based on blockchain technology (with the introduction of a cryptographic automaton, where transitions from one state to another are performed on the basis of cryptographic verification); the structure of Internet marketing and algorithms for an intelligent multi-agent system using blockchain (transactions on the blockchain network for storing digests in created blocks, placement of smart contracts) satisfying the needs of enterprises for IT specialists; graphical structure of the relationship between blockchain and basic factors of the education system; special software based on the developed models and algorithms.

Degree of use: the developed models, algorithms and electronic document management tools using blockchain technology can be used in educational and public administration structures in the development of promising and modernization of existing information systems.

Scope of application: in organizations for the further development of conceptual provisions of information management using blockchain technology; in the educational process – for teaching academic disciplines using blockchain, improving educational programs and self-training.

Научное издание

Качан Дмитрий Александрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ
ДОКУМЕНТООБОРОТОМ В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙН**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации

Подписано в печать 16.02.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования «Белорусский
государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск

ЛИСТ ИСПРАВЛЕНИЙ

в тексте автореферата диссертации Качана Дмитрия Александровича
«Модели и алгоритмы управления электронным документооборотом в
системе образования с использованием блокчейн» на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – системный
анализ, управление и обработка информации

№ страницы	Исходный текст	Исправленный текст
16	5. Реализовано на языке программирования Python и апробировано специальное программное и информационное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов, что в отличие от известных решений повышает эффективность информационного управления в образовании и показывает перспективность использования технологии блокчейн в нефинансовых областях экономики [12–А – 18–А] для подтверждения достоверности документов и юридически значимых действий.	5. Реализовано на языке программирования Python и апробировано специальное программное и информационное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов, что в отличие от известных решений повышает эффективность информационного управления в образовании и показывает перспективность использования технологии блокчейн в нефинансовых областях экономики [5–А, 12–А – 18–А] для подтверждения достоверности документов и юридически значимых действий.

Соискатель


Д.А. Качан

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
к.т.н., доцент


В.А. Рыбак