



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-3-86-94>

УДК 123; 616.894-053.8-09

УМНЫЙ КОНТРАКТ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ТЕРАПИИ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ

В. А. ВИШНЯКОВ, ЧУЮЭ ЮЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Научной новизной статьи является технология использования медицинского блокчейна на базе умного контракта для поддержки терапии пациента после IT-диагностики болезни Альцгеймера. В комплексе с подсистемой IT-диагностики пациента реализуется обмен данными распознавания степени болезни Альцгеймера. Умным контрактом выполняется автоматизированное управление поддержкой терапии пациентов с диагностированной болезнью Альцгеймера. Разработана функциональная структура подсистемы поддержки терапии (умный контракт в блокчейне Ethereum), включающая инициализацию данных о пациенте, планы лечения, регистрацию медперсонала, управление записями, динамическое переключение планов терапии на основе диагностических данных, контроль предупреждений медперсонала, а также управление выплатами и их распределением. Предлагаемый умный контракт позволяет выработать новый подход к взаимодействию и сотрудничеству в области управления терапией и может использоваться для неврологических больных с другими заболеваниями.

Ключевые слова: умный контракт, терапия пациента, болезнь Альцгеймера, IT-диагностическая подсистема, блокчейн.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Вишняков, В. А. Умный контракт блокчейна для поддержки терапии неврологических больных / В. А. Вишняков, Чуюэ Юй // Доклады БГУИР. 2025. Т. 23, № 3. С. 86–94. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-3-86-94>.

SMART CONTRACT BLOCKCHAIN FOR SUPPORTING THERAPY OF NEUROLOGICAL PATIENTS

U. A. VISHNIAKOU, CHUYUE YU

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The scientific novelty of the article is the technology of using a medical blockchain based on a smart contract to support patient therapy after IT diagnosis of Alzheimer's disease. In combination with the subsystem of IT diagnostics of a patient, the exchange of recognition data for the degree of Alzheimer's disease is implemented. The smart contract performs automated management of therapy support for patients with diagnosed Alzheimer's disease. The functional structure of the therapy support subsystem (smart contract in the Ethereum blockchain) has been developed, including initialization of patient data, treatment plans, registration of medical staff, record management, dynamic switching of therapy plans based on diagnostic data, monitoring of medical staff warnings, as well as management of payments and their distribution. The proposed smart contract enables a new approach to interaction and collaboration in the field of therapy management and can be used for neurological patients with other diseases.

Keywords: smart contract, patient therapy, Alzheimer's disease, IT diagnostic subsystem, blockchain.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Vishniakou U. A., Chuyue Yu (2025) Smart Contract Blockchain for Supporting Therapy of Neurological Patients. *Doklady BGUIR*. 23 (3), 86–94. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-3-86-94> (in Russian).

Введение

Технологии блокчейн и умные контракты (УК) благодаря распределенной архитектуре и автоматизированным функциям предоставляют возможность решения проблем обмена информацией между медицинскими учреждениями, а также безопасного хранения данных пациентов и авторизованного доступа к ним [1]. Умный контракт, являясь протоколом, основанным на компьютерном коде, функционирует в системах блокчейна и позволяет автоматизировать проверку, выполнение и запись заранее определенных условий поддержки терапии [2]. Интеграция УК с электронными медицинскими записями [3] улучшает процессы сбора, хранения и авторизованного доступа к данным пациентов.

Использование УК позволяет ввести IT-контроль лечения и изменить качество терапии пациентов с болезнью Альцгеймера (БА) посредством механизмов многостороннего взаимодействия. Предлагаемая в статье подсистема поддержки терапии является продолжением ранней IT-диагностики БА, изложенной в [4], и рассматривает как применение технологий блокчейн и УК для надежного обмена данными, так и возможность автоматизированного ухода за пациентом и многостороннее сотрудничество (между врачами, членами семей пациентов и медицинским персоналом).

Поддержка терапии пациентов с болезнью Альцгеймера

С учетом обычной терапии пациентов с БА [5–9] предложены следующие методы поддержки лечения с записью процедур для мониторинга и контроля на смартфон для обратной связи:

- регулярный уход: мониторинг применения лекарств, поддержка здорового рациона и плана применения медикаментов, восстановление ориентировки посредством напоминаний о времени, месте и людях;
- когнитивные тренировки: упражнения включают сортировку чисел, распознавание фигур, языковые упражнения и др.;
- музыкальная терапия: использование определенной музыки для снижения тревожности, улучшения настроения и когнитивных функций;
- терапия воспоминаний: использование предметов или окружения, связанных с жизнью пациента (фотографии, старые вещи), для стимуляции памяти, улучшения когнитивных и эмоциональных функций;
- осознанная терапия: фокусирование внимания пациента на настоящем моменте с помощью техник осознанности (осознанное дыхание, ходьба), направленных на улучшение психологической регуляции;
- нарративный подход: посредством воспоминаний и организации жизненных событий усиливаются психологическая мотивация и качество жизни пациента.

Структура подсистемы поддержки терапии пациентов с БА приведена на рис. 1. Согласно рисунку, подсистема IT-диагностики анализирует состояние пациента и формирует показатель тяжести заболевания (*severityValue*). На основе этого значения в модуле «Динамическое планирование» автоматически выбирается подходящий план ухода (обычный или интенсивный). Модуль «Управление медперсоналом» контролирует исполнение выбранного плана и фиксирует выполненные процедуры через «Вспомогательные модули», формируя историю событий. При корректном соблюдении плана производится оплата услуг через «Вспомогательные модули». Таким образом, выход подсистемы IT-диагностики напрямую влияет на выбор терапевтического сценария. Подсистема поддержки терапии позволяет динамически адаптировать ход лечения для пациентов с БА.

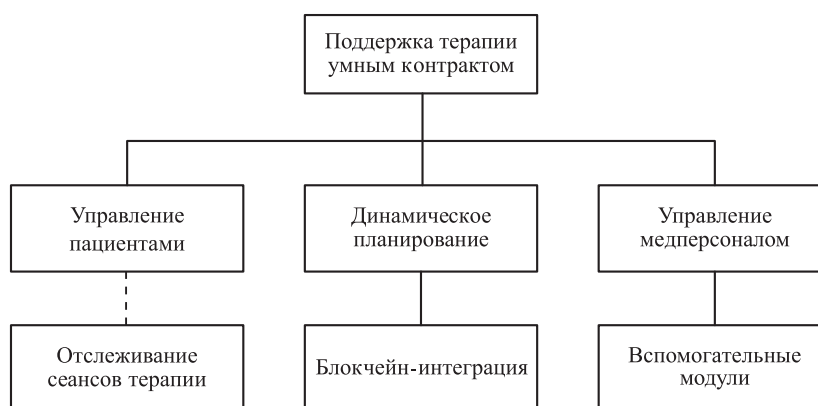


Рис. 1. Структурная схема подсистемы поддержки терапии пациентов с болезнью Альцгеймера
Fig. 1. Structural diagram of the subsystem for supporting therapy of patients with Alzheimer's disease

Структура умного контракта для поддержки терапии пациента с болезнью Альцгеймера

Функциональная структура УК является основой для разработки эффективной поддержки терапии. Приведем структуру проекта, основанного на функциях УК и его взаимодействии с ИТ-диагностической системой БА.

Взаимодействие УК с ИТ-диагностической системой. ИТ-диагностическая система [4] выполняет количественный анализ текущего состояния пациента с БА и выдает значение степени тяжести в диапазоне от 0 до 100 («вероятность заболевания» или «оценка когнитивного снижения»). Это значение вводится в блокчейн УК через интерфейс медицинского персонала, на основании этого УК определяет необходимость переключения на интенсивный или стандартный план ухода. После получения новых диагностических данных УК вызывает функцию `updateCarePlanByDiagnosis(uint severityValue)`, чтобы определить, превышает ли состояние пациента установленный порог (`severityThreshold`). Если порог превышен, контракт автоматически переключает план ухода на интенсивный. В противном случае остается активным стандартный план ухода. Расписание смен медперсонала, частота осмотров и продолжительность активности автоматически управляются текущим активным планом ухода.

Функциональные модули УК:

- управление медперсоналом и оценка эффективности: медперсонал регистрируется через функцию `registerCaregiver()`, после чего вся регистрационная информация записывается в блокчейн. Для завершения процесса необходимо выполнение вторичного подтверждения со стороны системного администратора через функцию `approveCaregiver(address_caregiver)`. Медперсонал вводит записи о предоставленных услугах через функцию `submitCareRecord()`, после чего контракт автоматически рассчитывает количество завершенных услуг, их продолжительность и другие показатели. При достаточном балансе через функцию `payCaregiver()` осуществляется начисление заработной платы. В случае выявления нарушений или ненадлежащего ухода функция `issueWarning()` фиксирует количество предупреждений. Если количество предупреждений превышает лимит, контракт автоматически вызывает функцию `dismissCaregiver()`, аннулируя доступ медперсонала к уходу;

- настройка планов поддержки терапии: УК предусматривает два плана терапии – интенсивный и стандартный – и позволяет владельцу добавлять дополнительные планы через функцию `addCarePlan()` на разных стадиях болезни. В каждом плане определяются «количество выполнений в неделю» (`frequencyPerWeek`) и «продолжительность одного выполнения» (`durationMinutes`). Через интерфейс ИТ-системы можно наглядно отобразить расписание смен и прогресс выполнения. События, встроенные в контракт (`DiagnosisUpdated`, `PaymentMade`), автоматически инициируют логические действия и делают результаты публично доступными. Это обеспечивает надежные и отслеживаемые данные для разных участников (семей пациентов, медицинских учреждений, страховых компаний), минимизируя вероятность ошибок из-за человеческого фактора. Блок-схема смарт-контракта `AlzheimerCare` представлена на рис. 2.

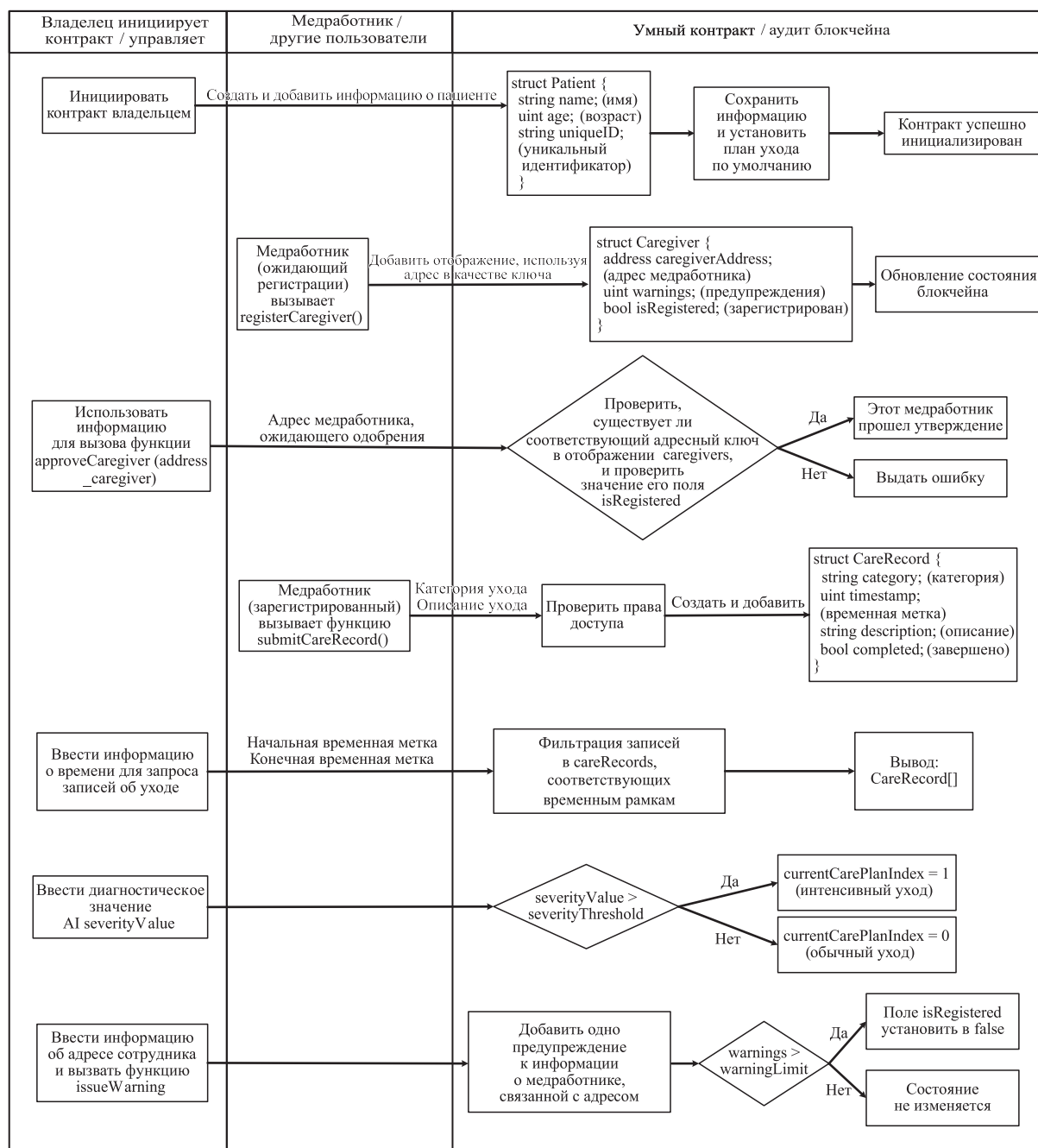


Рис. 2. Блок-схема смарт-контракта AlzheimerCare
Fig. 2. AlzheimerCare smart contract flowchart

Структура умного контракта для пациентов с болезнью Альцгеймера

1. Инициализация контракта.

Вход: имя пациента (name) – строка; возраст пациента (age) – целое число; уникальный идентификатор пациента (uniqueID) – строка.

Процесс: устанавливается владелец контракта (owner) – адрес, который разворачивает контракт. Сохраняется информация о пациенте в структуру Patient. Определяются два плана ухода: Normal Care Plan – стандартный план ухода, High-Intensity Care Plan – интенсивный план ухода. Устанавливается текущий план ухода (currentCarePlanIndex) как стандартный (0).

Выход: контракт развернут. Пациент зарегистрирован. Планы ухода добавлены.

1.1. Регистрация и подтверждение входа. Регистрация входящих.

Вход: адрес входящего (msg.sender).

Процесс: проверяется, зарегистрирован ли данный адрес в системе isRegistered. Если адрес не зарегистрирован, он добавляется в caregivers как новый уходящий:

isRegistered = true.

warnings = 0.

Выход: входящий зарегистрирован.

1.2. Подтверждение ухода.

Вход: адрес входящего (address_caregiver).

Процесс: владелец контракта проверяет, существует ли указанный адрес в caregivers. Если адрес найден, его статус обновляется как подтвержденный (isRegistered = true).

Выход: входящий подтвержден.

2. Добавление записей ухода.

Вход: категория ухода (category) – строка; описание ухода (description) – строка.

Процесс: входящий проверяется на статус регистрации (isRegistered). Если статус зарегистрирован, создается новая запись ухода:

category – категория ухода;

timestamp – текущая временная метка;

description – описание ухода;

completed = true.

Запись добавляется в массив careRecords.

Выход: запись ухода добавлена в блокчейн.

3. Запрос записей ухода.

Вход: начальная дата (_monthStart) – временная метка; конечная дата (_monthEnd) – временная метка.

Процесс: производится фильтрация записей в массиве careRecords на основе временных меток. Возвращаются записи, соответствующие указанному диапазону.

Выход: список записей ухода.

4. Обновление плана ухода на основе диагностики.

Вход: значение диагноза (severityValue) – целое число (0–100).

Процесс: сравнивается severityValue с пороговым значением severityThreshold: если severityValue > severityThreshold, переключается на интенсивный план ухода (currentCarePlanIndex = 1), в противном случае используется стандартный план ухода (currentCarePlanIndex = 0). Вызывается событие DiagnosisUpdated для фиксации обновления.

Выход: план ухода обновлен.

5. Выдача предупреждений и увольнение.

5.1. Выдача предупреждений.

Вход: адрес входящего (address_caregiver).

Процесс: проверяется регистрация указанного адреса в caregivers. Если уходящий зарегистрирован, к его счетчику предупреждений (warnings) прибавляется 1. Если количество предупреждений превышает порог (warningLimit), вызывается процесс увольнения.

Выход: предупреждение выдано.

5.2. Увольнение входящих.

Вход: адрес входящего (address_caregiver).

Процесс: входящий исключается из списка зарегистрированных: isRegistered = false. Вызывается событие CaregiverDismissed.

Выход: входящий уволен.

6. Управление заработной платой.

6.1. Депозит средств.

Вход: сумма депозита (msg.value) – число.

Процесс: владелец контракта переводит средства в контракт. Баланс контракта (balance) увеличивается на сумму депозита.

Выход: средства зачислены.

6.2. Выплата заработной платы.

Вход: адрес входящего (address_caregiver); сумма выплаты (_amount) – число.

Процесс: проверяется, достаточно ли средств на балансе контракта. Выплата осуществляется на указанный адрес. Баланс контракта уменьшается на сумму выплаты.

Выход: выплата произведена.

Реализация умного контракта

Реализация умного контракта для поддержки терапии пациентов с болезнью Альцгеймера осуществляется в приведенной последовательности.

1. Конструктор контракта: ``constructor (string memory_name, uint_age, string memory_unique-ID)``. При инициализации контракта записывается информация о пациенте (имя, возраст и уникальный идентификатор), а владелец контракта устанавливается как пользователь.

2. Добавление плана ухода (рис. 3): ``function addCarePlan (string memory_category, uint_frequencyPerWeek, uint_durationMinutes, string memory_goals, string memory_requirements) external onlyOwner``. Позволяет владельцу контракта добавлять планы ухода с указанием категории, частоты выполнения, продолжительности, целей и конкретных требований.

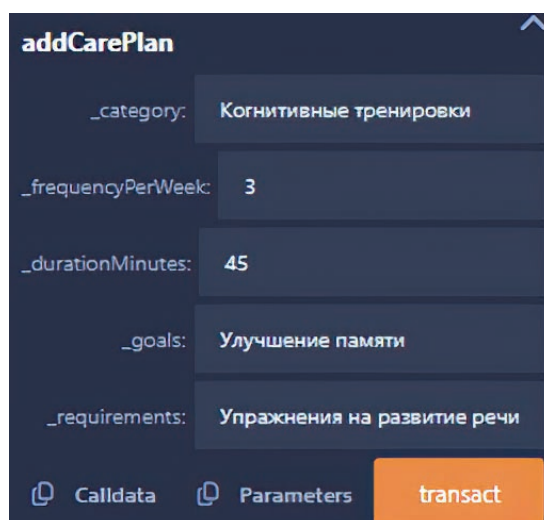


Рис. 3. Запрос добавленного плана ухода
Fig. 3. Request for an added care plan

3. Получение всех планов ухода: ``function getCarePlans() external view returns (string[] memory)``. Возвращает подробную информацию обо всех планах ухода. Эта функция отличается от массива ``carePlans(index)``, который позволяет получать отдельный план по индексу, тогда как ``getCarePlans`` обычно возвращает все планы ухода.

4. Регистрация и подтверждение специалистов по уходу: ``registerCaregiver``. Специалисты по уходу могут вызвать данную функцию для регистрации. Для этого необходимо открыть MetaMask на адресе кошелька специалиста по уходу и подключиться к Remix. ``approveCaregiver``: подтверждение личности специалиста по уходу осуществляется владельцем контракта, что позволяет специалисту выполнять задачи по уходу (рис. 4).

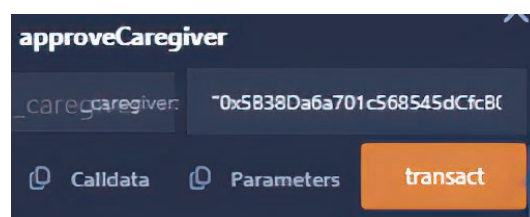


Рис. 4. Подтверждение специалистов по уходу
Fig. 4. Confirmation of care professionals

5. Внесение записи о предоставленном уходе: ``function submitCareRecord (string calldata_category, string calldata_description) external onlyRegisteredCaregiver``. Позволяет зарегистрированным

и подтвержденным специалистам по уходу вносить записи о предоставленном уходе, указывая категорию и краткое описание (рис. 5). Введите категорию ухода (например, «Когнитивные тренировки») и краткое описание (например, «Завершена языковая тренировка, пациент отреагировал хорошо»).

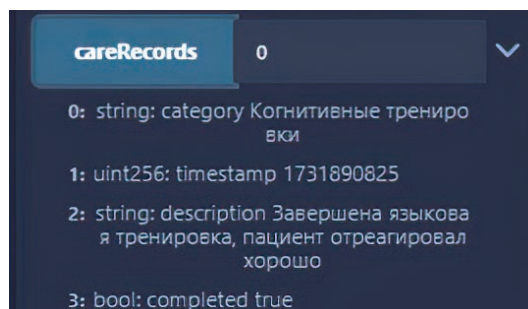


Рис. 5. Проверка выполнения работы по уходу
Fig. 5. Checking the completion of the care work

6. Запрос записей о предоставленном уходе (рис. 6): `'function getCareRecordsByMonth(uint_monthStart, uint_monthEnd) external view returns (CareRecord[] memory)'`. `'monthStart'` и `'monthEnd'` используются в качестве параметров для запроса записей о предоставленном уходе, чтобы указать начальную и конечную даты. В процессе выполнения контракта специалистами по уходу записи автоматически получают временную метку.

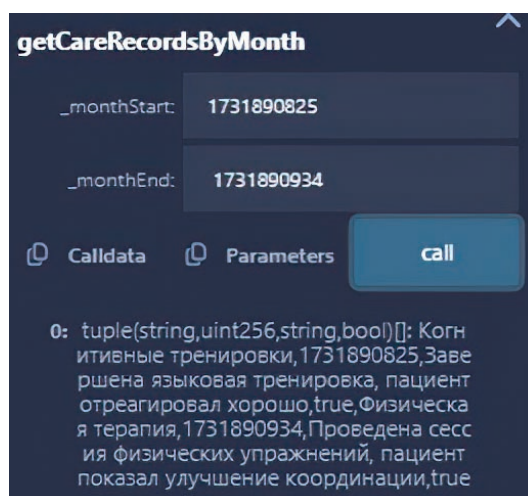


Рис. 6. Запрос записей о предоставленном уходе за период времени
Fig. 6. Requesting records of care provided over a period of time

7. Внесение и выплата зарплаты: `'deposit'`: владелец контракта может внести средства на контракт для выплаты зарплаты специалистам по уходу, необходимо указать сумму для внесения. `'payCaregiver'`: выплата зарплаты зарегистрированным специалистам по уходу.

8. Выдача предупреждения специалисту по уходу: `'issueWarning'`. Если количество предупреждений превышает установленное ограничение, автоматически вызывается функция `'dismissCaregiver'` для увольнения специалиста.

Рассмотренный смарт-контракт реализован и проверен в частной сети блокчейна Ethereum.

Заключение

1. Представлена структура поддержки терапии ухода за пациентами с болезнью Альцгеймера на основе блокчейна и умного контракта, интегрированная с подсистемой ИТ-диагностики болезни Альцгеймера для реализации обмена данными и автоматизированного контроля. В рамках проектирования умного контракта определены категории планов ухода (зависят от выхода подсистемы ИТ-диагностики болезни Альцгеймера), их частота, цели и механизмы оценки результатов.

2. Предложены взаимодействия между управляющим контрактом и обслуживающими, что обеспечивает прозрачность и отслеживаемость выполнения задач IT-терапии. Умный контракт реализован и проверен в частной сети блокчейна Ethereum.

Список литературы

1. Вишняков, В. А. Технология блокчейн в образовании и IT-медицине: модели, алгоритмы, программные средства / В. А. Вишняков, Д. А. Качан. Минск: Республ. ин-т высш. шк., 2023.
2. Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends / Shuai Wang [et al.] // IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Systems. 2019. Vol. 49, No 11. P. 2266–2277.
3. Long, JiuJun. Design and Implementation of a Blockchain-Based Electronic Medical Records System / Long JiuJun, Li Hongjin, Pan Shiqing // Network Security Technologies and Applications. 2021. No 9. P. 58–60.
4. Вишняков, В. А. Разработка и моделирование сети интернета вещей для IT-диагностики пациентов / В. А. Вишняков, Юй Чу Юэ // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 5. С. 104–112. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-104-112>.
5. A Survey of Multidisciplinary Team-Based Comprehensive Nursing on ADL And Cognitive Function of Alzheimer Disease Patients / Zhao Xuli [et al.] // Chinese Journal of Alzheimer's Disease and Related Disorders. 2023. Vol. 6, Iss. 1. P. 73–76. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-5516.2023.01.013>.
6. Tu, Hanlu. A Brief Overview of Product Design to Meet the Needs of Elderly People with Asthma / Tu Hanlu // Science and Innovation. 2016. No 12.
7. Xu, Jing. The Progress of Research on the Care of Patients with Asthma / Xu Jing, Cai Huazhuan // Nursing. 2021. Vol. 10, No 5. P. 465–470.
8. The Progress of Research on the Care of Patients with Asthma / Wang Jinxiao [et al.] // Modern Medicine in China. 2024. Vol. 31, No 12. P. 190–194.
9. Zhang, Huanhuan. The Effectiveness of Using a Model of Joint Management of Patients and Medical Staff in the Care of Elderly Patients with Early-Stage Asthma to Prevent Falls / Zhang Huanhuan // Chinese and Foreign Medicine Research. 2024. Vol. 3, No 1. P. 129–131.

Поступила 08.01.2025

Принята в печать 15.04.2025

References

1. Vishniakou U. A., Kachan D. A. (2023) *Blockchain Technology in Education and IT Medicine: Models, Algorithms, Software Tools*. Minsk, Republican Institute of Higher Education (in Russian).
2. Shuai Wang, Liwei Ouyang, Yong Yuan, Xiaochun Ni (2019) Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Systems*. 49 (11), 2266–2277.
3. Long JiuJun, Li Hongjin, Pan Shiqing (2021) Design and Implementation of a Blockchain-Based Electronic Medical Records System. *Network Security Technologies and Applications*. (9), 58–60.
4. Vishniakou U. A., Yu Chu Yeu (2024) Development and Modeling of the Internet of Things Network for Patients IT Diagnostics. *Doklady BGUIR*. 22 (5), 104–112. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-104-112> (in Russian).
5. Zhao Xuli, Wang Huazhi, Sun Yan, Xu Hongjie, Zhang Qian, Chen Xi, et al. (2023) A Survey of Multidisciplinary Team-Based Comprehensive Nursing on ADL And Cognitive Function of Alzheimer Disease Patients. *Chinese Journal of Alzheimer's Disease and Related Disorders*. 6 (1), 73–76. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-5516.2023.01.013>.
6. Tu Hanlu (2016) A Brief Overview of Product Design to Meet the Needs of Elderly People with Asthma. *Science and Innovation*. (12).
7. Xu Jing, Cai Huazhuan (2021) The Progress of Research on the Care of Patients with Asthma. *Nursing*. 10 (5), 465–470.
8. Wang Jinxiao, Zhao Qianqian, Zhao Qingqing, Wang Fan (2024) The Progress of Research on the Care of Patients with Asthma. *Modern Medicine in China*. 31 (12), 190–194.
9. Zhang Huanhuan (2024) The Effectiveness of Using a Model of Joint Management of Patients and Medical Staff in the Care of Elderly Patients with Early-Stage Asthma to Prevent Falls. *Chinese and Foreign Medicine Research*. 3 (1), 129–131.

Received: 8 January 2025

Accepted: 15 April 2025

Вклад авторов

Вишняков В. А. выполнил постановку задачи, предложил концепцию использования умного контракта для поддержки терапии пациентов с болезнью Альцгеймера.

Чуюэ Юй провела детализацию разработки умного контракта и его программирование.

Authors' contribution

Vishniakou U. A. completed the task statement, proposed the concept of using a smart contract to support the therapy of patients with Alzheimer's disease.

Chuyue Yu has detailed the development of the smart contract and its programming.

Сведения об авторах

Вишняков В. А., д-р техн. наук, проф. каф. инфокоммуникационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Чуюэ Юй, асп. каф. инфокоммуникационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 44 486-71-82
E-mail: vish@bsuir.by
Вишняков Владимир Анатольевич

Information about the authors

Vishniakou U. A., Dr. Sci. (Tech.), Professor at the Department of Infocommunication Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Chuyue Yu, Postgraduate at the Department of Infocommunication Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 44 486-71-82
E-mail: vish@bsuir.by
Vishniakou Uladzimir Anatol'evich