Оригинальная статья

Разработка системы DoseProof для мониторинга медикаментозной терапии с видеоподтверждением и семейным контролем

Швец С.В.[1]*, Ибрагимов Р.З.[2]

[1] Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан
[2] Школа-гимназия № 27, Алматы, Казахстан

* Автор для корреспонденции: Швец С.В. · ertuuffsrg@gmail.com

Том 1 · № 1 · 2026 | Поступила: июль 2026 | Опубликована: 29 сентября 2026

Аннотация

Введение. Недостаточная приверженность длительной медикаментозной терапии остается значимой проблемой, что обусловливает необходимость разработки цифровых инструментов, способных поддерживать соблюдение режима приема лекарственных препаратов и обеспечивать своевременное выявление неподтвержденных приемов.

Цель. Разработать и описать архитектуру системы DoseProof для мониторинга медикаментозной терапии, объединяющей расписание приема лекарственных препаратов, видеоподтверждение события приема и участие доверенного лица.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате прикладного проектирования программной системы. Использованы направленный анализ научных публикаций, моделирование пользовательских сценариев, декомпозиция функциональных требований и проектирование клиент-серверной архитектуры. В качестве единицы учета определено запланированное событие приема, связанное с пациентом, лекарственным препаратом, временем и цифровым подтверждением. Мобильная часть системы разработана для Android с использованием Kotlin и Jetpack Compose; серверная часть реализована на базе NestJS и MySQL.

Результаты. Разработана архитектурная и функциональная модель прототипа DoseProof, включающая модули управления терапией, уведомлений, хранения коротких видеозаписей, выявления неподтвержденных событий и взаимодействия с доверенным лицом. Формализованы состояния события PENDING, TAKEN и MISSED, определены условия перехода между ними и показатели полноты цифрового подтверждения. Предложен механизм семейного контроля, при котором отсутствие подтверждения в установленном временном окне инициирует уведомление доверенного лица. Регистрация цифрового подтверждения разграничена с фактическим приемом препарата.

Заключение. Разработанный прототип DoseProof формирует единый событийный контур, связывающий расписание терапии, медиаданные, статус события и механизм уведомления доверенного лица. Система может служить основой для последующей оценки удобства использования, надежности регистрации событий и влияния на приверженность терапии. Клиническая эффективность системы и точность автоматизированной биометрической верификации в настоящем исследовании не оценивались.

Ключевые слова: приверженность медикаментозной терапии, лекарственная терапия, мобильные приложения, управление медикаментозной терапией, DoseProof, видеозапись, социальная поддержка.

Для цитирования: Швец С.В., Ибрагимов Р.З. Разработка системы DoseProof для мониторинга медикаментозной терапии с видеоподтверждением и семейным контролем. Pharmaceutical Sciences and Health Products. 2026;1(1):e0002.

Введение

Приверженность назначенной медикаментозной терапии является одним из факторов, определяющих возможность достижения ожидаемого лечебного результата. В докладе Всемирной организации здравоохранения 2003 года отмечалось, что в развитых странах приверженность длительной терапии хронических заболеваний составляет в среднем около 50 % [1]. Эта историческая оценка отражает масштаб проблемы, однако не является универсальной современной оценкой для всех заболеваний и популяций. Нарушения терапии включают пропуски доз, отклонения от режима приема и преждевременное прекращение лечения; для их выявления применяются методы самоотчета, подсчета лекарственных препаратов, электронного мониторинга и непосредственного наблюдения, каждый из которых имеет определенные ограничения [2].

Факторы неприверженности неоднородны. В обзоре Gast и Mathes выявлена возможная связь приверженности с социально-экономическим положением и социальной поддержкой; для многих других факторов доказательства оказались непоследовательными или недостаточно определенными [3]. Поэтому проектирование цифрового инструмента требует учета конкретных причин затруднений пациента и не может ограничиваться предположением, что каждый пропуск обусловлен забывчивостью.

Мобильные приложения рассматриваются как один из способов поддержки регулярного приема препаратов. Метаанализ Armitage и соавт. выявил преимущество вмешательств с использованием приложений по показателям приверженности [4]. Обзор Lanke и соавт., опубликованный в 2025 году, включил 14 рандомизированных исследований; в 10 из них улучшение приверженности было статистически значимым. Вместе с тем величина эффекта зависела от метода измерения и характеристик включенных исследований [5]. В систематическом обзоре Shrivastava и соавт. у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа статистически значимое улучшение приверженности отмечалось только в трех из семи включенных исследований; неоднородность дизайнов и ограничения объективной оценки исходов затрудняли определение наиболее эффективных функций приложений [6].

Обзоры функциональности приложений описывают напоминания, ведение журнала терапии, регистрацию пользовательских данных и средства обмена информацией [7, 8]. Вовлечение близкого окружения представляет самостоятельное направление поддержки: Shahin и соавт. обнаружили положительную связь социальной поддержки с медикаментозной приверженностью в ряде исследований пациентов с артериальной гипертензией [9]. Эти результаты обосновывают изучение участия доверенного лица, но не устанавливают эффективность конкретного алгоритма семейных уведомлений.

Дополнительный интерес представляют методы дистанционного наблюдения за приемом лекарственных препаратов. В рандомизированном исследовании Burzynski и соавт. электронное наблюдение при лечении туберкулеза соответствовало критерию не меньшей эффективности по доле наблюдавшихся приемов по сравнению с очным наблюдением [10]. При этом положительные изменения в цифровых показателях не обязательно сопровождаются улучшением клинических исходов: в исследовании MedISAFE-BP приложение обеспечило небольшое улучшение самооцененной приверженности без дополнительного значимого снижения артериального давления [11]. В кластерном рандомизированном исследовании Liu и соавт. цифровой монитор приема лекарств не снизил частоту неблагоприятных исходов лечения туберкулеза [12]. В четырех прагматических кластерных рандомизированных исследованиях Jerene и соавт. также не выявлено снижения риска неблагоприятного исхода лечения при использовании цифровых технологий поддержки приверженности [13]. Эти данные подчеркивают необходимость самостоятельной оценки клинической пользы каждого вмешательства.

Разработка цифрового вмешательства также требует оценки приемлемости, возможного вреда, реализуемости, ресурсных ограничений и равенства доступа, предусмотренных подходом ВОЗ [14]. Анализ Backes и соавт. показал, что недостаточная прозрачность обработки и хранения данных может существенно ограничивать качество приложений для поддержки медикаментозной терапии [15]. Метаанализ Peng и соавт. подтверждает потенциал мобильных вмешательств, одновременно указывая на необходимость осторожной интерпретации имеющейся доказательной базы [16].

Глобальная стратегия ВОЗ в области цифрового здравоохранения 2020-2025 гг. предусматривает согласованное развитие финансовых, организационных, кадровых и технологических ресурсов [17]. Следовательно, внедрение DoseProof требует проработки не только программных функций, но и порядка сопровождения пользователей. В исследовании Tangari и соавт. выявлены существенные проблемы конфиденциальности и несогласованность заявленных и фактических практик обработки данных мобильными приложениями [18]. Работа Rezaee и соавт. предлагает критерии для оценки безопасности и

конфиденциальности таких приложений, которые могут использоваться при планировании последующей технической проверки DoseProof [19].

Таким образом, актуальна разработка системы, в которой расписание, цифровое подтверждение и участие доверенного лица связаны с одним идентифицируемым событием приема. Вместе с тем недостаточно изучены подходы, объединяющие указанные компоненты в рамках единой событийной модели и предусматривающие автоматизированное реагирование на отсутствие подтверждения приема. Данный подход реализуется в проекте «Семейный цифровой контроль и биометрическая верификация приема фармацевтических продуктов», получившем название DoseProof. В настоящей работе рассматривается этап создания прототипа с видеоподтверждением; автоматизированная биометрическая верификация относится к дальнейшему развитию проекта.

Цель исследования - разработать и описать архитектуру и событийную модель системы DoseProof для мониторинга медикаментозной терапии с видеоподтверждением и семейным контролем.

Материалы и методы

Дизайн исследования и материалы

Работа выполнена как прикладное исследование по проектированию цифровой системы. Объектом являлся процесс регистрации выполнения лекарственных назначений в домашних условиях; предметом - программные способы связывания расписания, пользовательского подтверждения, медиаданных и уведомления доверенного лица. Материалами служили функциональные и технические описания DoseProof. Для обоснования проектных решений выполнен направленный описательный анализ научных публикаций, посвященных приверженности медикаментозной терапии, мобильным вмешательствам, социальной поддержке и дистанционному наблюдению. Повторное статистическое объединение результатов опубликованных исследований не выполнялось.

Проектирование включало определение пользовательских ролей, описание сценариев применения, выделение сущностей предметной области, распределение функций между мобильным клиентом и сервером и формализацию переходов между состояниями события. Результаты представлены как архитектурная и функциональная модель прототипа. Оценка эффективности у пациентов, расчет размера клинической выборки и проверка статистических гипотез в задачи данного этапа не входили.

Участники исследования на данном этапе отсутствовали; клиническая апробация системы с участием пациентов не проводилась. В связи с этим критерии включения и исключения участников не применялись.

Пользовательские роли и функциональные требования

Выделены две основные роли: пациент и доверенное лицо. Пациент ведет список препаратов, вводит назначенную схему терапии, получает напоминания и регистрирует подтверждение. Доверенное лицо подключается по приглашению пациента и получает доступ к разрешенной пациентом информации. К основным требованиям отнесены аутентификация, управление препаратами и расписанием, создание событий, короткая видеофиксация, обработка отсутствующих подтверждений и формирование сводных показателей. Приложение регистрирует введенное расписание; клиническое назначение и изменение терапии остаются вне описываемого программного алгоритма.

Единицей учета принято событие, связанное с конкретным пациентом, препаратом и плановым временем. Временное окно определяется относительно планового момента и задает срок допустимого подтверждения. Его длительность является параметром сценария, а не универсальным клиническим допуском для всех препаратов. Для будущей апробации границы окна и правила обработки опоздавших подтверждений должны фиксироваться заранее с учетом режима терапии.

Программная архитектура

DoseProof построен по клиент-серверной модели. Мобильный клиент Android использует Kotlin и Jetpack Compose, обмен с сервером выполняется через REST API с применением Ktor Client. Серверная логика реализована на Node.js и NestJS; структурированные данные хранятся в MySQL с использованием TypeORM. Основные компоненты приведены в таблице 1. Видеоматериалы логически отделены от структурированных записей и связаны с идентификатором события.

Логическая архитектура представлена на рисунке 1. Сервер обрабатывает расписание и состояния событий, обращается к хранилищам и инициирует отправку сообщений через Firebase Cloud Messaging. База данных хранит записи и не выступает самостоятельным отправителем уведомлений. Такая схема задает границы ответственности компонентов; оценка ее масштабируемости и отказоустойчивости требует отдельного исследования.

Подход к оценке результатов

На данном этапе результат оценивался на уровне полноты описания функционального контура: сопоставлялись пользовательские действия, формируемые записи и переходы состояний. Архитектурное описание не является протоколом успешного прохождения функциональных, нагрузочных или клинических испытаний. Для дальнейшего наблюдения определены показатели доли подтвержденных событий, доли событий без подтверждения и охвата уведомлением доверенного лица. Их определения и ограничения интерпретации приведены в разделе результатов.

Статистический анализ в рамках настоящего этапа исследования не проводился, поскольку клинические или экспериментальные количественные данные не собирались и статистические гипотезы не проверялись. В связи с этим специализированное программное обеспечение для статистической обработки данных не использовалось.

Исследование на описываемом этапе не предусматривало участия пациентов, вмешательств с участием человека или использования персональных медицинских данных. Клиническая апробация системы в настоящей статье не представлена. Последующее исследование с участием пациентов должно проводиться в соответствии с утвержденным протоколом и условиями этического одобрения, после получения информированного согласия участников.

Результаты

Функциональная модель прототипа

Разработанный прототип объединяет управление терапией, уведомления, медиаподтверждение, обработку неподтвержденных событий и взаимодействие с доверенным лицом. Основные модули и их выходные данные систематизированы в таблице 2. Препарат, расписание и отдельное событие представлены связанными сущностями, что позволяет учитывать несколько приемов одного препарата без дублирования его основных характеристик.

Событие приема и переходы между состояниями

При наступлении планового времени создается событие PENDING и формируется уведомление пациенту. После получения подтверждения с видеоматериалом в пределах установленного окна событию присваивается статус TAKEN. Если окно завершилось без подтверждения, присваивается MISSED и инициируется предусмотренный сценарий уведомления доверенного лица. Смысл состояний приведен в таблице 3, общая последовательность - на рисунке 2.

Видеоподтверждение и участие доверенного лица

Видеомодуль сохраняет короткую запись в момент подтверждения и связывает ее с событием. Описанный технический сценарий использует клип продолжительностью от 2 до 3 с.

Семейный контроль реализуется через разрешенную связь пациента с доверенным лицом. В предложенной модели именно отсутствие подтверждения инициирует оповещение; доверенное лицо может связаться с пациентом и уточнить причину события. Схема взаимодействия приведена на рисунке 3.

Показатели цифрового мониторинга

Для расчетов предлагается использовать только события отчетного периода, для которых допустимое окно уже завершилось к моменту анализа. Обозначим их число N_e; N_t - количество таких событий со статусом TAKEN, N_m - со статусом MISSED. При полном завершении обработки $N_e = N_t + N_m$. Будущие события и события с открытым окном исключаются из знаменателя. Если окно завершилось, но событие сохраняет PENDING, это рассматривается как незавершенная обработка: итоговый показатель за период не формируется до ее устранения.

Доля событий с зарегистрированным подтверждением рассчитывается по формуле (1), доля событий без подтверждения - по формуле (2):

$$C = (N_t / N_e) \times 100\ \% \quad (1)$$

$$M = (N_m / N_e) \times 100\ \% \quad (2)$$

При $N_e > 0$ и взаимно исключающих конечных статусах сумма C и M составляет 100 %. При $N_e = 0$ показатели не определяются. C характеризует полноту цифрового подтверждения и не является прямой оценкой фактически принятой доли доз. Поскольку в данной модели TAKEN присваивается только в пределах окна, отдельный показатель «своевременной приверженности» совпадал бы с C. Его

самостоятельное применение возможно после введения и проверки отдельного учета поздних подтверждений.

Для оценки оповещения обозначим N_a число событий MISSED, при которых имелась действующая разрешенная связь с доверенным лицом, а N_s - число этих событий, для которых зарегистрирована успешная передача уведомления сервису отправки. Охват оповещением определяется формулой (3):

$$E = (N_s / N_a) \times 100\ \% \quad (3)$$

При $N_a = 0$ показатель E не определяется. Каждое событие учитывается один раз независимо от числа повторных сообщений и получателей. Передача сообщения сервису отправки не равнозначна его доставке на устройство, прочтению или последующему действию доверенного лица. Эти этапы при необходимости оцениваются отдельно. Сводка предложенных показателей приведена в таблице 4.

В серверной модели предусмотрена агрегация TAKEN и MISSED. Приведенные уточнения знаменателя и показателя E задают требования к последующей аналитической проверке; их реализация должна подтверждаться отдельными тестами.

Обсуждение

Сопоставление с существующими подходами

Функции напоминаний, журналов и обмена данными уже описаны в исследованиях мобильных приложений [7, 8]. Поэтому вклад DoseProof связывается с формализацией взаимодействия компонентов вокруг одного события, а не с предположением об уникальности каждого компонента. В таблице 5 приведено концептуальное сопоставление с условной моделью, включающей расписание, напоминание и ручную отметку. Эта модель используется для объяснения архитектуры и не представляет обзор всего рынка приложений.

Предложенная интеграция может сделать историю взаимодействия более информативной, поскольку сохраняет время, статус и медиаматериал в общей записи. Однако увеличение объема информации не тождественно повышению ее достоверности. Дополнительные действия пациента могут снижать удобство приложения, а видеофиксация - влиять на готовность продолжать использование. Обзоры эффективности мобильных вмешательств [5, 16] обосновывают необходимость проверки полного пользовательского сценария, а не только наличия отдельных функций.

Защита данных и ограничения исследования

В архитектуре предусмотрены аутентификация, токены доступа, хэширование паролей и проверка разрешенной связи между пользователями. Наличие этих компонентов не является доказательством комплексной защищенности системы. До пилотной апробации необходима проверка передачи и хранения видео, разграничения прав, регистрации обращений к данным, сроков хранения и удаления, а также обработки отзыва согласия. Значимость этих вопросов согласуется с рекомендациями ВОЗ и результатами оценки качества приложений [14, 15].

Основное ограничение работы связано с ее проектным характером: представлена модель прототипа, а данные клинической апробации, показатели точности видеопроверки, результаты нагрузочных испытаний и количественной оценки удобства отсутствуют. Не установлены доли ложных подтверждений и ложных сигналов о пропуске. Также не оценены устойчивость регистрации при ограниченной связи, нагрузка на доверенных лиц и приемлемость видеофиксации для разных групп пользователей. Поэтому нельзя заключить, что DoseProof уже повысил приверженность или улучшил клинические исходы.

Следующий этап должен включать функциональную проверку критических сценариев, оценку пригодности видеозаписей и пользовательское исследование. При последующей клинической апробации необходимы предварительно установленный протокол, этическое рассмотрение и информированное согласие участников. Целесообразно отдельно оценивать полноту цифровой регистрации, независимый показатель приверженности, технические сбои и пользовательскую нагрузку. Вклад видео и участия доверенного лица требует сравнительного дизайна, позволяющего отделить эти компоненты от эффекта напоминаний.

Методологическая интерпретация результатов

Разработанная модель DoseProof объединяет напоминания о приеме лекарственных препаратов, видеоподтверждение события и участие доверенного лица в рамках единого событийного контура. Такое сочетание функций формирует основу для последующей проверки гипотезы о потенциальной пользе комплексного применения цифровых напоминаний, медиаподтверждения и социальной поддержки. Вместе с тем результаты ранее опубликованных систематических обзоров мобильных приложений [4, 5, 16] не позволяют экстраполировать установленную в других исследованиях эффективность непосредственно на DoseProof. Влияние разработанной системы на приверженность медикаментозной терапии должно оцениваться в самостоятельном исследовании.

Важным методологическим аспектом является интерпретация состояний TAKEN и MISSED. Данные обозначения отражают технический статус события в системе и не должны рассматриваться как прямое доказательство фактического приема или пропуска лекарственного препарата. Пациент может принять препарат без регистрации события в приложении, тогда как наличие видеозаписи и присвоение статуса TAKEN само по себе не подтверждает соответствие фактически принятого препарата назначению и установленной дозе. Аналогично отсутствие цифрового подтверждения может быть обусловлено не только неприверженностью, но и техническими причинами, включая перебои связи, сбой камеры или задержку передачи данных. Поэтому при последующей клинической апробации технически неподтвержденные события необходимо разграничивать с фактическими случаями непринятия препарата. Необходимость проверки цифровых отметок по независимому критерию согласуется с направлением систематического обзора Zary и соавт., посвященного точности цифровых технологий измерения приверженности при туберкулезе [20]. Для DoseProof соответствующие характеристики должны быть установлены отдельно.

Надежность событийной модели также зависит от однозначности правил обработки пограничных и нестандартных сценариев. К ним относятся повторная отправка подтверждения, одновременное получение подтверждения и завершение временного окна, изменение расписания терапии, а также смена часового пояса. Использование UTC для серверного учета позволяет унифицировать временные метки, однако не исключает необходимости корректного преобразования и отображения локального времени на стороне пользователя. Указанные сценарии, включая предотвращение дублирования событий и уведомлений, должны быть проверены в ходе последующего функционального тестирования системы.

Отдельного рассмотрения требует интерпретация видеоподтверждения. Используемая в прототипе короткая видеозапись продолжительностью 2-3 с обеспечивает техническую фиксацию события, однако достаточность такой продолжительности для достоверного наблюдения действий пользователя в настоящем исследовании не устанавливалась. Поэтому на текущем этапе видеозапись целесообразно рассматривать как медиаподкрепленный самоотчет, а не как объективно подтвержденный факт приема лекарственного препарата. Повышение достоверности такого подтверждения потребует разработки и валидации дополнительных механизмов, включая сопоставление личности пользователя, проверку его живого присутствия и распознавание действия приема препарата.

Данный подход принципиально отличается от организованных процедур электронной непосредственно наблюдаемой терапии. В исследовании Burzynski и соавт. [10] прием противотуберкулезных препаратов оценивался в рамках специально организованной процедуры наблюдения. Загрузка короткой видеозаписи в DoseProof не является эквивалентом такого метода. Для использования видеоданных в качестве более объективного источника информации необходимо заранее определить требования к содержанию видеозаписи, критерии ее пригодности и независимый способ подтверждения фактического приема лекарственного препарата. Таким образом, результаты исследований электронной непосредственно наблюдаемой терапии подтверждают перспективность данного направления, но не могут рассматриваться как доказательство валидности видеомодуля DoseProof.

Включение доверенного лица в модель DoseProof направлено на реализацию дополнительного механизма социальной поддержки. Предусмотренное системой уведомление о неподтвержденном событии позволяет доверенному лицу своевременно связаться с пациентом и уточнить причину отсутствия регистрации. Такой подход согласуется с данными о возможной связи социальной поддержки с медикаментозной приверженностью [9]. Вместе с тем влияние данного механизма на фактическую приверженность, тревожность пациента и дополнительную нагрузку на родственников или других доверенных лиц требует отдельной эмпирической оценки.

При реализации семейного контроля особое значение имеют добровольность участия и разграничение доступа к данным. Подключение доверенного лица не

должно предполагать автоматического доступа ко всей информации пациента, включая видеозаписи. До применения системы с участием пациентов необходимо определить порядок предоставления и отзыва доступа, перечень доступных данных и содержание передаваемых уведомлений. При этом сообщение об отсутствии подтверждения должно интерпретироваться исключительно как сигнал для уточнения ситуации и не должно содержать или подразумевать медицинскую рекомендацию об изменении дозы либо повторном приеме препарата.

Предложенные системой показатели цифрового мониторинга характеризуют прежде всего полноту регистрации событий и работу механизма уведомлений, но не являются прямыми показателями фактической медикаментозной приверженности. Для оценки собственно приверженности данные DoseProof в последующих исследованиях необходимо сопоставлять с независимым методом и анализировать совместно с пользовательскими и клиническими исходами. Необходимость такого подхода подтверждается, в частности, результатами исследования MedISAFE-BP [11], продемонстрировавшего, что улучшение показателей самооцененной приверженности не обязательно сопровождается улучшением клинического результата.

Заключение

Разработана архитектурная и функциональная модель прототипа DoseProof, объединяющая расписание медикаментозной терапии, уведомления, короткое видеоподтверждение и разрешенное взаимодействие с доверенным лицом. Формализовано событие приема с состояниями PENDING, TAKEN и MISSED и определены условия оповещения при отсутствии подтверждения.

Предложены показатели полноты цифрового подтверждения и работы механизма уведомлений с учетом завершенности временных окон. Регистрация подтверждения разграничена с фактическим приемом препарата, что позволяет избежать необоснованной интерпретации программных статусов как клинически подтвержденной приверженности.

Научный вклад работы состоит в формализации общего событийного контура, связывающего расписание, медиаданные, статус и участие доверенного лица. Практическая применимость системы, ее влияние на приверженность и возможности автоматизированной биометрической верификации должны быть установлены в последующих технических и клинических исследованиях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Швец С. В. - концепция исследования, разработка методологии и программной архитектуры системы DoseProof, проведение исследования, анализ научной литературы, интерпретация результатов, визуализация, подготовка первоначального варианта рукописи и редактирование текста.

Ибрагимов Р. З. - помощь в поиске и систематизации научной литературы, подготовке иллюстративных материалов и оформлении рукописи.

Все авторы прочитали и согласились с окончательной версией рукописи. Авторы заявляют, что данный материал ранее не публиковался и не находится на рассмотрении у других издателей.

Финансирование

Исследование не имело финансирования.

Заявление о доступности данных

В рамках настоящего исследования клинические и экспериментальные количественные данные не собирались. Архитектурная и функциональная модель системы DoseProof, определения состояний событий и расчетных показателей представлены в настоящей статье.

Сведения об авторах

Швец Сергей Владимирович - магистрант образовательной программы «Технология фармацевтического производства», Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан. E-mail: ertuuffsrg@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3374-9338.

Ибрагимов Рифкат Зайнуллаевич - ученик 9 класса, школа-гимназия № 27, Алматы, Казахстан. E-mail: rifkat.z.2012@gmail.com. ORCID: 0009-0006-0087-0972.

Литература

1. Sabaté E, editor. Adherence to long-term therapies: evidence for action [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2003 [cited 2026 Sep 27]. Available from: https://www.paho.org/en/documents/who-adherence-long-term-therapies-evidence-action-2003.

2. Osterberg L, Blaschke T. Adherence to medication. N Engl J Med. 2005;353(5):487-97. https://doi.org/10.1056/NEJMra050100.

3. Gast A, Mathes T. Medication adherence influencing factors-an (updated) overview of systematic reviews. Syst Rev. 2019;8(1):112. https://doi.org/10.1186/s13643-019-1014-8.

4. Armitage LC, Kassavou A, Sutton S. Do mobile device apps designed to support medication adherence demonstrate efficacy? A systematic review of randomised controlled trials, with meta-analysis. BMJ Open. 2020;10(1):e032045.

https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-032045.

5. Lanke V, Trimm K, Habib B, Tamblyn R. Evaluating the effectiveness of mobile apps on medication adherence for chronic conditions: systematic review and meta-analysis. J Med Internet Res. 2025;27:e60822. https://doi.org/10.2196/60822.

6. Shrivastava TP, Goswami S, Gupta R, Goyal RK. Mobile app interventions to improve medication adherence among type 2 diabetes mellitus patients: a systematic review of clinical trials. J Diabetes Sci Technol. 2023;17(2):458-66. https://doi.org/10.1177/19322968211060060.

7. Tabi K, Randhawa AS, Choi F, Mithani Z, Albers F, Schnieder M, et al. Mobile apps for medication management: review and analysis. JMIR Mhealth Uhealth. 2019;7(9):e13608. https://doi.org/10.2196/13608.

8. Ahmed I, Ahmad NS, Ali S, Ali S, George A, Saleem Danish H, et al. Medication adherence apps: review and content analysis. JMIR Mhealth Uhealth. 2018;6(3):e62. https://doi.org/10.2196/mhealth.6432.

9. Shahin W, Kennedy GA, Stupans I. The association between social support and medication adherence in patients with hypertension: a systematic review. Pharm Pract (Granada). 2021;19(2):2300. https://doi.org/10.18549/PharmPract.2021.2.2300.

10. Burzynski J, Mangan JM, Lam CK, Macaraig M, Salerno MM, deCastro BR, et al. In-person vs electronic directly observed therapy for tuberculosis treatment adherence: a randomized noninferiority trial. JAMA Netw Open. 2022;5(1):e2144210. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.44210.

11. Morawski K, Ghazinouri R, Krumme A, Lauffenburger JC, Lu Z, Durfee E, et al. Association of a smartphone application with medication adherence and blood pressure control: the MedISAFE-BP randomized clinical trial. JAMA Intern Med. 2018;178(6):802-9. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.0447.

12. Liu X, Thompson J, Dong H, Sweeney S, Li X, Yuan Y, et al. Digital adherence technologies to improve tuberculosis treatment outcomes in China: a cluster-randomised superiority trial. Lancet Glob Health. 2023;11(5):e693-703. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00068-2.

13. Jerene D, van Kalmthout K, Levy J, Alacapa J, Deyanova N, Dube T, et al. Effect of digital adherence technologies on treatment outcomes in people with drug-susceptible tuberculosis: four pragmatic, cluster-randomised trials. Lancet. 2025;405(10485):1155-66. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02847-2.

14. World Health Organization. WHO guideline: recommendations on digital interventions for health system strengthening [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2019 [cited 2026 Sep 27]. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789241550505.

15. Backes C, Moyano C, Rimaud C, Bienvenu C, Schneider MP. Digital medication adherence support: could healthcare providers recommend mobile health apps? Front Med Technol. 2021;2:616242. https://doi.org/10.3389/fmedt.2020.616242.

16. Peng Y, Wang H, Fang Q, Xie L, Shu L, Sun W, et al. Effectiveness of mobile applications on medication adherence in adults with chronic diseases: a systematic review and meta-analysis. J Manag Care Spec Pharm. 2020;26(4):550-61. https://doi.org/10.18553/jmcp.2020.26.4.550.

17. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020-2025 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021 [cited 2026 Sep 27]. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924.

18. Tangari G, Ikram M, Ijaz K, Kaafar MA, Berkovsky S. Mobile health and privacy: cross sectional study. BMJ. 2021;373:n1248. https://doi.org/10.1136/bmj.n1248.

19. Rezaee R, Khashayar M, Saeedinezhad S, Nasiri M, Zare S. Critical criteria and countermeasures for mobile health developers to ensure mobile health privacy and security: mixed methods study. JMIR Mhealth Uhealth. 2023;11:e39055. https://doi.org/10.2196/39055.

20. Zary M, Mohamed MS, Kafie C, Chilala CI, Bahukudumbi S, Foster N, et al. The performance of digital technologies for measuring tuberculosis medication adherence: a systematic review. BMJ Glob Health. 2024;9(7):e015633. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2024-015633.

Таблица 1 - Основные программные компоненты DoseProof

Компонент	Технология	Назначение
Мобильный клиент	Kotlin, Jetpack Compose	Интерфейс пациента и доверенного лица
Сетевой обмен	Ktor Client, REST API	Обмен структурированными данными и передача видео
Сервер	Node.js, NestJS	Обработка расписаний, событий и разрешений
База данных	MySQL, TypeORM	Учетные записи, препараты, расписания, события и связи пользователей
Уведомления	Firebase Cloud Messaging	Отправка напоминаний и уведомлений доверенному лицу
Развертывание	Docker, Docker Compose	Контейнеризация серверных компонентов
Аутентификация	JWT, bcrypt	Токены доступа и хэширование паролей
Медиаданные	Передача multipart/form-data	Загрузка видеоматериала и его привязка к событию

Рисунок 1 - Логическая архитектура системы DoseProof

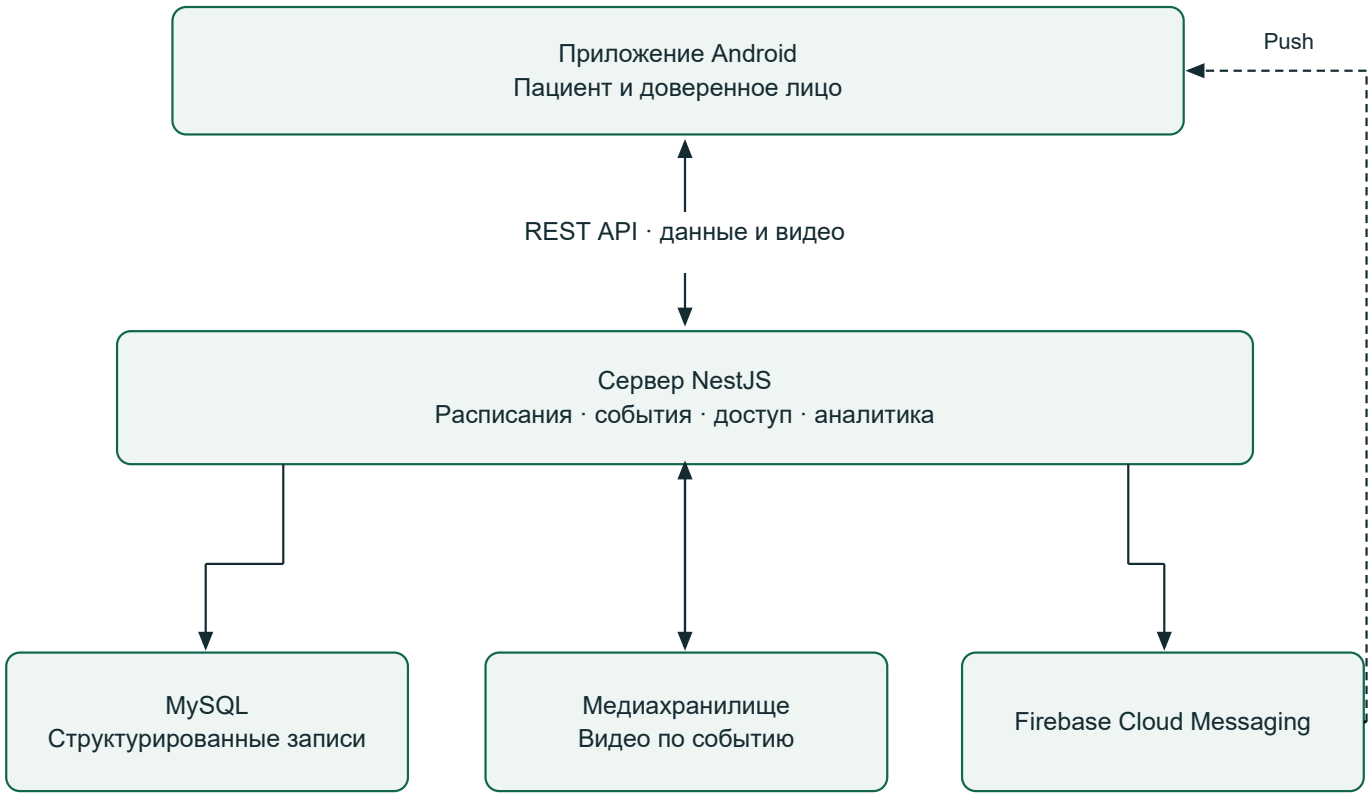


Таблица 2 - Функциональные модули DoseProof

Модуль	Основное действие	Выходные данные
Управление терапией	Ввод препарата и расписания	Запись препарата и временные точки приема
Учет событий	Формирование и обновление события	Идентификатор, плановое время и статус
Напоминания	Отправка сообщения пациенту	Уведомление о запланированном приеме
Видеоподтверждение	Загрузка короткой видеозаписи	Медиаматериал, связанный с событием
Семейный контроль	Связывание пользователей и оповещение	Разрешенная связь и уведомление о неподтвержденном событии
Аналитика	Агрегация статусов за период	Числа событий TAKEN и MISSED, дневные и общие сводки

Таблица 3 - Состояния события и правила их интерпретации

Статус	Значение	Условие перехода	Интерпретация
PENDING	Ожидает подтверждения	Наступило плановое время; окно остается открытым	Результат события еще не определен
TAKEN	Подтверждение зарегистрировано	В пределах окна получено подтверждение с видео	Зафиксирован цифровой отчет пациента; прием не доказан автоматически
MISSED	Подтверждение отсутствует	Окно завершилось без подтверждения	Возможный пропуск либо отсутствие регистрации по иной причине

Рисунок 2 - Алгоритм обработки запланированного события



Рисунок 3 - Условия уведомления доверенного лица



Таблица 4 - Показатели для последующей оценки цифрового мониторинга

Показатель	Расчет или единица учета	Что характеризует
Доля подтверждений C, %	Формула (1)	Полнота регистрации событий с завершенным окном
Доля событий без подтверждения M, %	Формула (2)	Частота отсутствующего цифрового отчета
Охват оповещением E, %	Формула (3)	Работа механизма уведомления при разрешенной связи
Последовательные неподтвержденные события	Число событий подряд	Периоды, требующие уточнения причин
Динамика по дням или неделям	Числители и знаменатели по каждому периоду	Изменение регистрации при сопоставимых правилах учета

Таблица 5 - Концептуальное сопоставление моделей цифрового контроля

Признак	Условная модель напоминаний	Модель DoseProof
Подтверждение	Ручная отметка пациента	Отметка с коротким видеоматериалом, связанным с событием
Временная логика	Расписание и уведомление	Расписание, окно подтверждения и конечный статус события
Участие другого лица	В принятую базовую модель не включено	Разрешенная связь и оповещение при отсутствии подтверждения
Интерпретация данных	Самоотчет пользователя	Медиаподкрепленный самоотчет; фактический прием требует проверки
Оценка результата	Доля пользовательских отметок	Учет завершенных событий и отдельная оценка оповещения