

Отчёт по проекту 22-71-10092 «Разработка концепции, модели и архитектуры киберфизического окружения палат в стационарных учреждениях социального и медицинского обслуживания» в период с 1 июля 2022 г. по 30 июня 2023 г.

Сведения о фактическом выполнении плана работы в отчетный период

Умные медицинские палаты (также умные палаты, далее - УП), являясь по сути медицинскими киберфизическими системами, выглядят многообещающим решением для повышения качества оказания медицинской помощи в больницах, клиниках, интернатах, в домах престарелых и иных стационарных учреждениях. Они предназначены для интеграции передовых технологий, сбора и анализа данных и автоматизации процессов ухода за пациентами, повышения их безопасности и оптимизации рабочего процесса. УП включают ряд инновационных инструментов, таких как носимые устройства, датчики, электронные медицинские карты и системы мониторинга в режиме реального времени, чтобы предоставить медицинским специалистам исчерпывающую и актуальную информацию о состоянии пациентов, что позволяет им быстрее и более информированно принимать решения.

Измерение основных жизненных показателей пациента часто является первым шагом в оценке ухудшения его состояния. Создание и применение умных медицинских технологий позволит медицинскому персоналу достичь более высоких показателей эффективности [1]. Получая данные о состоянии пациента в режиме реального времени, медицинские работники смогут своевременно оказывать помощь пациентам. При этом стоит обратить внимание на то, что появление интеллектуального медицинского оборудования и решений направлено не на замену медицинского персонала, а на повышение качества и ценности медицинских услуг. Таким образом, любые изменения жизненных показателей пациентов будут легко доступны и проанализированы с помощью централизованного мониторинга и предупреждений в режиме реального времени, отправляемых медицинским работникам.

Внедрение УП может произвести революцию в отрасли здравоохранения, что приведет к улучшению результатов лечения пациентов, снижению затрат на здравоохранение и повышению удовлетворенности персонала. Однако успешное развертывание этих систем требует тщательного рассмотрения множества факторов, включая дизайн палаты, выбор подходящей технологии и интеграцию этих инструментов в существующие системы здравоохранения.

Рассмотрим основные преимущества использования УП:

1. **Повышенная безопасность пациентов.** В УП используются датчики и системы мониторинга в режиме реального времени, что позволяет предоставлять врачам актуальную информацию о состоянии пациентов. Это позволяет выявлять потенциальные риски и своевременно принимать решения.
2. **Улучшение качества лечения пациентов.** Интегрируя данные из нескольких источников, включая электронные медицинские карты, медицинские устройства и

датчики, технологии УП позволяют врачам принимать решения более быстро и обоснованно, что приводит к лучшим результатам лечения.

3. Оптимизация рабочих процессов. УП могут оптимизировать рабочие процессы за счет автоматизации рутинных задач, таких как наблюдение за пациентами и прием лекарств, что снижает нагрузку на медицинский персонал и освобождает время для более сложных задач.

4. Снижение затрат на здравоохранение. УП могут помочь сократить расходы на здравоохранение за счет оптимизации рабочих процессов, а также снизить потребность в дорогостоящих вмешательствах, таких как повторная госпитализация.

5. Повышение комфорта пациентов. УП могут предоставлять более персонализированный и комфортный уход пациентам, которые в свою очередь, используя носимые устройства и другие технологии, могут активнее участвовать в процессе терапии.

УП состоят из нескольких взаимосвязанных компонентов, которые позволяют автоматизировать уход за пациентами. Эти компоненты связаны между собой через различные интерфейсы и протоколы, такие как программные интерфейсы (API) и протоколы Интернета вещей (IoT). Данные из этих компонентов можно интегрировать и анализировать с помощью различных инструментов, чтобы предоставить врачам помощь в принятии решений. Интеграция этих компонентов позволяет УП реализовывать более комплексные процессы.

К основным компонентам УП относятся:

1. Системы мониторинга: в этих системах используются датчики и другие носимые и стационарные устройства для мониторинга активности, показателей жизнедеятельности пациентов и состояния среды в реальном времени. Эта информация может быть использована для выявления потенциальных рисков безопасности и оптимизации ухода за пациентами и интегрирована с хранилищами данных, такими как электронные медицинские карты, чтобы предоставить медицинскому персоналу всестороннее представление о состоянии здоровья пациентов.

2. Медицинские информационные системы (МИС): инструмент управления ресурсами медицинского учреждения и качеством оказания медицинской помощи, который структурирует все основные информационно-аналитические процессы учреждения. Эти системы позволяют обеспечить автоматизацию большого числа функциональных компонентов, таких как: электронная медицинская карта, аналитика, операционные, отчетность, приемное отделение, профосмотры, работа с ОМС, реанимация, регистратура и т.д. Подобные системы можно интегрировать с технологиями УП, чтобы предоставить врачам полное представление о состоянии здоровья пациентов.

3. Системы определения местоположения в реальном времени (RTLS): технологии RTLS используют датчики и другие устройства для отслеживания местоположения пациентов, персонала и оборудования в режиме реального времени. Эту информацию можно использовать для повышения эффективности рабочего процесса и использования ресурсов, сокращения времени ожидания.

4. Средства связи и совместной работы. В УП используется ряд средств связи и совместной работы, таких как защищенные системы обмена сообщениями и платформы телемедицины для облегчения связи между медицинским персоналом, пациентами и их семьями.

Рассмотрим существующие подходы, методы, модели и системы, используемые для построения УП.

В [2] авторы предлагают систему голосового управления для взаимодействия с оборудованием в палате, что позволяет улучшить качество и удобство медицинского обслуживания [3–5]. Система голосового управления подходит для всех госпитализированных пациентов и особенно полезна для послеоперационных пациентов и инвалидов [6]. Пациенты могут лежать на кровати и, произнося команды мобильным устройствам, управлять оборудованием в палате.

Авторы изучили ключевые факторы принятия пациентом системы через модель принятия технологии (Technology acceptance model - TAM), опросив 30 респондентов, Исследование проводилось в тайваньском академическом медицинском центре в 2019 г. в двух палатах, адаптированных для исследования. Показано, что воспринимаемая полезность была определена как важный фактор, влияющий на отношение к использованию системы и удовлетворенность пользователей, что означает, что функциональность системы должна точно соответствовать требованиям пациентов. Важен и продуманный дизайн системы, поскольку воспринимаемая простота использования положительно влияет на воспринимаемую полезность.

В [7] авторы предлагают бесконтактную систему телемедицины для эффективного мониторинга удаленных карантинных отделений COVID-19 в Индии с использованием ближней связи и системы обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP).

Авторы предлагают систему, которая объединяет чип связи ближнего радиуса действия (NFC) и интеллектуальный облачный инструмент аналитики для обеспечения бесконтактной (или с минимальным контактом) связи с системой. Чип NFC позволяет врачу легко извлекать историю болезни пациента из облачной базы данных.

Каждому пациенту выдается отдельный NFC-чип, который служит связующим звеном с базой данных, что минимизирует непосредственное взаимодействие медицинского работника с ним [8-10]. Благодаря этому снижается вероятность ошибочного диагноза и решается проблема защиты врача от контакта с инфицированным пациентом.

Инструмент интеллектуального структурирования данных на основе облачных технологий помогает медицинским специалистам с меньшими усилиями систематизировать данные и интегрировать их в существующие базы пациентов. Этот инструмент использует методы data mining и NLP для представления повествовательных клинических текстов в структурированном формате. Он также имеет встроенное приложение оптического распознавания символов (Optical Character Recognition, OCR), которое помогает преобразовывать текст на изображениях (медицинские отчеты) в цифровой формат [11]. Традиционные медицинские карты доступны в виде печатных копий, что затрудняет интеграцию содержащихся в них данных с базой данных. Таким образом, предлагаемая система, объединяющая технологии NFC, NLP и OCR, благодаря простоте визуализации медицинских отчетов расширяет возможности принятия решений врачом: помогает отслеживать прогресс лечения пациентов, которые находятся на карантине, и соответствующим образом назначать план лечения и в то же время поддерживать минимальное взаимодействие с людьми.

В [12] авторы предлагают инновационную интеллектуальную систему ухода за пациентами, основная функция которой - уведомление медсестер о том, что пациент нуждается в их помощи. Установлено, что среди всех возможных причин тревоги, таких как потребность в информации, обезболивание и помощь в туалете, менее одной трети

всех вызовов медсестры считают серьезными или срочными [13-15]. Учитывая, что персоналу приходится выполнять множество клинических и административных задач, им трудно принимать решения относительно того, следует ли прерывать текущую задачу, чтобы отреагировать на тревожный сигнал [16]. Имея ограниченную информацию о тревоге, предоставляемую системами ухода за пациентами, медсестры, как правило, снижают приоритетность при реагировании на нее [16-17]. Авторы исследования говорят о необходимости устойчивой системы ухода за пациентами, которая поможет персоналу расставлять приоритеты в своих реакциях на сигналы тревоги и справляться с ними, одновременно выполняя другие обязанности.

В интеллектуальной системе ухода за пациентами все сигналы могут передаваться на мобильные телефоны медсестер, что обеспечивает немедленную связь и трехэтапное оповещение о покидании постели, поскольку падения пациентов также являются серьезной проблемой, а их предотвращение - одним из наиболее важных ожиданий от системы ухода [18-19]. В данном исследовании был использован матрас, чувствительный к движению и позволяющий осуществлять трехэтапное оповещение о выходе из постели, чтобы медсестры могли получать предупреждение о намерении пациента покинуть свою постель сразу после того, как он в ней сядет. Кроме того, персонал мог попросить пациентов немного подождать помощи при вставании с постели с помощью функции мгновенной связи при невозможности помочь немедленно.

В существующих системах при вставании с постели часто сообщалось о ложных срабатываниях. Чрезмерное количество ложных срабатываний может привести к усталости от оповещений, при которой сестринский персонал иногда игнорирует сигналы тревоги. В данном исследовании авторы наблюдали 35,2% ложных срабатываний в традиционной системе ухода за пациентами и 0% в интеллектуальной.

В [20] предлагается подход к организации умной палаты на основе нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ) и IoT, использующий гибридные сигналы. Система содержит подсистемы гибридной асинхронной электроэнцефалографии (ЭЭГ), электроокулографии (ЭОГ) и управления НКИ на основе гироскопа, а также подсистему мониторинга и управления IoT. Она основана на способе управления графическим интерфейсом через НКИ. Графический интерфейс состоит из курсора и нескольких кнопок. Пользователь использует гироскоп для управления выделением области курсора и ЭОГ, связанную с морганием, для управления щелчком курсора. Он получает подсказки о движениях глаз (моргании) и одновременно записывает их. Идентифицируются ЭЭГ и ЭОГ-сигналы пользователя, и выполняется синхронный выбор и передача управляющих команд. Добавление режима ЭЭГ позволяет эффективно сократить количество ложных операций. Кроме того, носимые устройства и оборудование с камерами могут собирать физиологические сигналы и другие сигналы мониторинга для пациентов, чтобы осуществлять пассивный контроль и управление посредством комплексной оценки.

В [21] предлагается формирование верхнего уровня ИТ-архитектуры умной больницы и представление требований к ее комплексной архитектуре. Авторы выделяют следующие ключевые компоненты, которые должна включать умная клиника:

1. Интеллектуальное здание. За счет внедрения системы автоматизации можно поддерживать благоприятный микроклимат во всех помещениях здания, удобно управлять освещением, обеспечивать осведомленность посетителей.

2. Комплексная система автоматизации и диспетчеризации инженерных систем здания. Предусматривается установка децентрализованной системы управления,

обеспечивающей высокий уровень надежности, отказоустойчивости и автономности. Система позволяет осуществлять мониторинг и управление всеми инженерными системами из единого диспетчерского пункта или удаленно с мобильных устройств.

3. Комплексная система безопасности здания. Для обеспечения безопасности необходимо установить систему контроля и управления доступом (СКУД) для ограничения доступа на объект или в отдельные помещения, сигнализацию и охранное видеонаблюдение, включая видеокамеры, датчики движения и разбития окон, датчики охраны периметра, «тревожные кнопки», пожарную сигнализацию, системы аспирации, ситуационный центр, и систему противопожарной защиты.

4. Мультимедийные системы, которые дают возможность подключения мобильных устройств к аудиосистеме помещения и проигрывания интернет-радио в палате.

5. Умная палата:

- Управление освещением. В каждой комнате предусмотрено управление освещением с помощью настенной ЖК-панели, клавиатур и мобильных устройств. Предусмотрена возможность создания сценариев освещения. Информация о работе системы освещения передается в единый центр управления. Светом можно управлять из диспетчерской.

- Климат-контроль. Предусматривает установку системы климат-контроля для поддержания заданной температуры воздуха в палате. Система климат-контроля регулирует работу локальных кондиционеров, теплых полов и конвекторов отопления.

- Безопасность. Предусмотрена интеграция систем комфорта с системами безопасности. По сигналу от системы СКУД поступает сигнал о наличии людей. В зависимости от того, кто находится в палате, пациент или обслуживающий персонал, у них будет разный уровень доступа к системам. Если для пациентов предоставляется полный доступ, то доступ к некоторым подсистемам может быть ограничен для обслуживающего персонала.

Построение архитектурной модели следует принципам постепенной детализации, согласованности уровней, независимости слоев, полноты, последовательности, отсутствия дублирования и непрерывной трансформации текущей архитектуры предприятия.

В [22] авторы предлагают систему контроля уровня жидкости во флаконах для внутривенных капельниц, которые могут использоваться в отделениях интенсивной терапии (ОИТ) и послеоперационных отделениях. В разработке использовалась система обмена сообщениями на базе GSM для оповещения персонала о том, что бутылка вот-вот опустеет. Используется тензодатчик для измерения веса жидкости, а микроконтроллер считывает данные и отправляет их в GSM-модуль [23]. Уровень жидкости в бутылке в режиме реального времени отображается в приложении на Android. На дисплее отображается соответствующий процент жидкости, оставшейся во флаконе, и, когда уровень ниже 100 мл, выводится предупреждение и повторно отправляется SMS-сообщение дежурному с периодом в 10 секунд, пока система не выключится, одновременно с этим также звучит звуковой сигнал. Кроме того, команда медицинских работников может контролировать уровень жидкости в режиме реального времени на своем рабочем месте с помощью модуля IoT. В случае, если персонал/сопровождающий не может добраться до пациента по тревоге, отток жидкости автоматически перекрывается электромагнитным клапаном.

В [24] авторы предлагают систему, основанную на IoT, которая измеряет показатели жизнедеятельности как пациентов, стоящих в очереди в амбулаторных

отделениях, так и пациентов, находящихся в палатах медицинских учреждений в Малави. Разрабатываемая система регистрирует частоту пульса и насыщение кислородом у амбулаторных и стационарных пациентов. Датчики, используемые для сбора двух жизненно важных показателей, подключены к компьютерам и мобильным устройствам, к которым имеет доступ медицинский персонал. Частота пульса дает представление о температуре тела и кровяном давлении [25]. Насыщение кислородом также дает представление о частоте дыхания. Любые изменения, выходящие за рамки нормы, могут быть обнаружены быстро, и это позволит медицинскому персоналу вовремя оказать помощь пациенту.

В [26] представлена система мониторинга шейного отдела в медицинских палатах на основе носимых устройств. На основе облачной платформы IoT реализуется интеллектуальное управление и контроль оборудования в палатах. В соответствии с конкретным сценарием использования УП применяемая система мониторинга и управления IoT может интегрировать различные инструменты. Технология и система облачной платформы IoT имеют масштабируемое пространство хранения данных и эффективные возможности их обработки. В этой работе анализируется текущая ситуация и медицинские перспективы интеллектуальных носимых устройств для профилактики и лечения шейного спондилеза у офисных сотрудников. В системе IoT спроектированы узел мониторинга и узел контроллера. Каждый узел включает в себя основной модуль управления, сетевой модуль Wi-Fi, модуль питания и периферийных схем, модуль датчиков и модуль контроллера. Реализованы инструменты аналитики, позволяющие отображать динамику процесса, и инструменты управления сенсорными узлами.

В [27] рассматривается система локализации пациентов. Медицинскому персоналу необходимо осуществлять наблюдение за пациентом во время госпитализации и оказывать своевременную помощь. Однако часто сложно эффективно выполнять свои обязанности, особенно в условиях необходимости соблюдения конфиденциальности. Достижения в технологиях локализации без устройств (DFL) и развитие технологий машинного обучения сделали локализацию более точной. Авторы используют легкодоступные сигналы Wi-Fi в палатах и выполняют локализацию пациентов с сохранением конфиденциальности, используя многомасштабные сверточные нейронные сети (CNN) и модели долгой краткосрочной памяти (LSTM). Результаты демонстрируют высокую точность локализации. Кроме того, система может быть расширена для обнаружения чрезвычайных ситуаций, что позволяет медицинскому персоналу быстро реагировать.

В [28] рассматривается контекстно-ориентированная система ухода, которая способна эффективно улучшить качество медицинской помощи в больницах. Авторы предлагают новую «ситуационно-осведомленную» систему ухода для УП, где «ситуация» относится к новому типу контекста, извлекаемому механизмами логического вывода, основанными на знаниях, с учетом базовой контекстной информации. Кроме того, предлагаемая система построена на основе сети беспроводных датчиков окружающей среды для окончательного восприятия контекста, что отличается от предыдущих проектов, использующих носимые датчики (например, RFID) или датчики, нарушающие конфиденциальность (например, камеры) для извлечения контекстов. Архитектура разработана таким образом, чтобы приложения, созданные на основе системы, были расширяемыми. Кроме того, система способна поддерживать иерархический вывод ситуаций из простых контекстов.

Система включает следующие уровни:

- получение данных;
- извлечение контекста;
- вывод ситуации из контекста и идентификация конкретной ситуации (например, ситуация [«лежачая поза», «покинул постель»] может быть выведена после изучения всех контекстов, связанных с давлением);
- интервальная сегментация, т.е. определение точного периода конкретной ситуации (например, [”лежачая поза”, “01/10, 12:03:54”, “01/10, 12:15:39”] является записью интервала ситуации).

На основе предложенной системы были созданы приложения для уведомления лиц, осуществляющих уход, о предварительно настроенном тревожном событии (например, падение), и для создания отчетности, которая даёт интегрированное представление о состоянии пациента.

В [29] представлена интеллектуальная система мониторинга здоровья для определения состояния пациента. Такие системы требуют сбора, передачи и обработки больших объемов мультимодальных медицинских данных, генерируемых различными типами датчиков и медицинских устройств, что является сложной задачей и может сделать некоторые из приложений удаленного мониторинга здоровья непрактичными. Поэтому перенос вычислительного интеллекта на конечные устройства (edge computing) – является многообещающим подходом для непрерывного удаленного мониторинга. Авторы представляют механизм классификации, который позволяет обнаруживать эпилептические припадки с высокой точностью и низкими требованиями к вычислительным ресурсам. Предлагается схема выборочной передачи данных и надежная энергоэффективная система экстренного оповещения для обнаружения эпилептических припадков. Например, при нормальных состояниях пациента можно сэкономить значительное количество энергии, передавая должным образом сжатые данные или отправляя только наиболее репрезентативные характеристики ЭЭГ, которые имеют отношение к выявлению судорог.

Системы удаленного мониторинга и мобильные приложения могут облегчить взаимодействие между пациентами и врачами. Для этого носимые и стационарные датчики необходимо объединить в легко интегрируемую платформу, чтобы разработчики могли сосредоточиться на приложении. Сегодня такие платформы уже разрабатываются и способны собирать информацию с множества различных датчиков с возможностью передачи данных практически для любого типа приложений. Эти решения отделяют носимые датчики, сеть и инфраструктуру данных от конечных приложений. Датчики абстрагируются от приложения с помощью общего протокола, что упрощает одновременную интеграцию нескольких источников данных. Рассмотрим существующие платформы:

1. Validic [30] - платформа и связанные с ней мобильные решения обеспечивают непрерывный доступ к персональным данным о здоровье с более чем 350 медицинских устройств, мобильных приложений и носимых домашних датчиков. Платформа может передавать все эти данные в виде единого потока информации в любую медицинскую информационную систему. В этом случае данные проверяются на корректность перед передачей в медицинскую или другую систему.

2. Capsule Technologies [31] - платформа, которая представляет собой безопасный, комплексный, технологически независимый облачный сервис, который

соединяет медицинские устройства (более 875 различных типов датчиков и устройств) для свободного обмена данными между пользователями таких устройств и медицинскими учреждениями. Сеть Capsule Technologies основана на открытых стандартах, а сама платформа интегрирована с системами электронных медицинских карт 50 различных производителей, а также ряда других технологических компаний.

3. TactioRPM [32] - платформа удаленного мониторинга пациентов включает в себя мобильное приложение, инструменты браузера, безопасный облачный сервис и систему интеграции медицинских устройств, не зависящую от поставщика. Всего в настоящее время система поддерживает более 150 медицинских устройств различного назначения (термометры, тонометры, глюкометры, весы, пульсоксиметры, пульсометры и трекеры активности). Платформа TactioRPM объединяет мобильные приложения для пациентов, клинические порталы, интегрированные системы здравоохранения (включая Garmin, A&D Medical, BÜHLMANN Laboratories и др.), профили пациентов, цифровые обучающие программы. Система позволяет врачам удаленно просматривать данные, генерируемые устройствами и устройствами пациента. Кроме того, TactioRPM предоставляет богатый набор API для медицинских организаций, что позволяет последним организовать дополнительную интеграцию данных, автоматизировать свои процессы и подключать специальные приложения.

Как можно видеть, существует довольно много решений в области УП, предназначенных для автоматизации тех или иных задач в учреждении здравоохранения. При этом указанные решения являются частными, используют различные технологии и протоколы и реализуют отдельные сценарии работы УП. В случае, когда необходимо реализовать более комплексный подход к автоматизации ведения пациентов в УП, применение этих решений оказывается недостаточным, поскольку при этом возникают проблемы совместимости и интеграции разнородных модулей, систем и протоколов, а также дублирования компонентов, что приводит к растущим затратам и снижению рентабельности. Кроме того, повышаются и риски нарушения информационной безопасности, которые неизбежны при усложнении комплекса УП.

Чтобы избежать этих проблем, весь комплекс УП необходимо реализовывать в рамках единого фреймворка с типовыми компонентами, связями, сценариями функционирования. Для этого на первом этапе проекта разрабатывается концептуальная модель УП, позволяющая в дальнейшем разработать интегрированные программные и аппаратные решения либо интегрировать существующие компоненты, выполняя комплектацию УП исходя из необходимого для конкретного подразделения набора задач.

На основе существующего опыта можно выделить как минимально необходимые, так и рекомендуемые требования к организации киберфизического окружения УП. К минимальным требованиям, необходимым для успешного выполнения задач УП, следует отнести:

1. Обеспечение интеграции данных. В УП используются данные из разных источников, включая электронные медицинские карты, медицинские устройства и датчики. Однако интеграция может быть затруднена из-за различий в форматах данных, стандартах и протоколах. Кроме того, управление большими объемами таких данных может быть непростым и требовать особых методов работы с гетерогенными и большими данными.

2. Обеспечение информационной безопасности. Использование технологий УП вызывает опасения по поводу обеспечения конфиденциальности персональных данных

пациентов, а потому важно обеспечить их защиту от несанкционированного доступа или раскрытия. Кроме того, подобные системы могут быть уязвимы для кибератак, что требует надежных мер безопасности для снижения этих рисков. С учётом критичности узлов УП для здоровья пациентов необходимо также обеспечивать целостность и доступность данных, хранящихся в этих узлах.

3. Обеспечение совместимости: чтобы быть применимыми на практике, технологии УП должны быть совместимы с существующими системами здравоохранения. Отсутствие функциональной совместимости может привести к разрозненности данных, их избыточному вводу и сбоям связи.

4. Обеспечение рентабельности. УП могут потребовать значительных предварительных инвестиций в инфраструктуру, оборудование и программное обеспечение. Важно, чтобы преимущества этих технологий оправдывали затраты, и чтобы эти технологии можно было интегрировать в существующие системы здравоохранения экономически эффективным образом.

Рекомендованные требования к киберфизическому окружению УП связаны с максимизацией использования потенциала современных технологий в области социокриберфизических систем, робототехники, data science и человеко-машинного взаимодействия в медицинской предметной области. Высокие темпы развития киберфизических систем обеспечили будущее персонализированной медицины, которая является одним из приоритетных направлений в Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 г. УП способны обеспечить развитие предметной области в рамках направления 4П-медицины, которая построена на принципах индивидуального подхода к здоровью человека и включает в себя следующие понятия:

1. Персонализация – индивидуальный подход к каждому пациенту с учетом генетических, биохимических и физиологических особенностей человека.

2. Предикция – создание вероятностного прогноза здоровья (выявление предрасположенности к развитию заболевания).

3. Превентивность – предотвращение или снижение риска развития заболевания в будущем.

4. Партисипативность – мотивированное участие пациента в профилактике возможных заболеваний и их лечении.

Использование УП также способно снизить влияние человеческого фактора. Эффект применения УП зависит от взаимодействия человека с ними, и крайне важно обеспечить медицинскому персоналу возможность с допустимым соотношением трудозатрат и полученного эффекта, взаимодействовать с этими технологиями. Пользовательские интерфейсы и рабочие процессы должны быть интуитивно понятными и удобными для пользователя, чтобы избежать путаницы и ошибок. Кроме того, медицинский персонал должен быть соответствующим образом обучен для эффективного использования этих технологий.

На базе выполненного обзора и разработанных требований в ходе проекта была создана концептуальная модель УП, включающая спецификации ситуаций, поведения и компонентов её киберфизического окружения, опубликована серия статей в изданиях, индексируемых в Scopus и WoS, созданы и опубликованы в Интернете отчётные материалы.

Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном периоде

На базе выполненного обзора и поставленных требований разработана концептуальная модель умной палаты (УП), включающая БЫ спецификации ситуаций, поведения и компонентов киберфизического окружения палаты. Создание такой модели является первым шагом к созданию УП. Модель описывает основные понятия предметной области и связи между ними. На этом этапе важно выделить и охарактеризовать основные типы сущностей, которыми мы оперируем, и определить отношения между ними. Это позволит в дальнейшем строить частные модели, описывающие решение тех или иных конкретных задач в УП.

Для того, чтобы в наиболее общем виде описать УП, сформируем набор базисных множеств, которые описывают предметную область:

$$\Omega = \langle G, T, A, M, S, C, I \rangle, \text{ где:}$$

G – множество целей УП;

T – множество задач

A – множество акторов (субъектов действия);

M – множество модулей;

S – множество сценариев функционирования;

C – множество интерфейсов;

I – множество показателей эффективности достижения целей.

Определим основные отношения между элементами перечисленных множеств:

R_{GT} - отношение, устанавливающее, какие задачи выполняются для достижения заданной цели;

R_{TS} - какие сценарии реализуются при выполнении задач;

R_{AS}, R_{MS} - какие акторы и модули задействованы в сценариях;

R_{CM} - какие интерфейсы используются при передаче данных между модулями;

R_{IG} - какие показатели отражают эффективность достижения целей.

Таким образом, УП как сложная система может быть представлена в виде (рис. 1):

$$S = \langle \Omega, R_{GT}, R_{TS}, R_{AS}, R_{MS}, R_{CM}, R_{IG} \rangle$$

Рассмотрим более подробно каждое базисное множество.

Цели. Создание УП преследует, как правило, одну или несколько целей, которые можно разбить на группы:

1. Цели, связанные непосредственно с медицинской деятельностью: обеспечить оперативный мониторинг состояния здоровья пациента и выявление ситуаций, требующих повышенного внимания или вмешательства; обеспечить частичную автоматизацию процесса диагностики заболеваний и терапии.

2. Косвенные цели: повысить комфорт пациентов; повысить производительность персонала путём автоматизации рутинных задач; упростить коммуникацию между персоналом и пациентами, особенно в случаях, когда привычные способы общения невозможны или затруднительны для пациентов.

Задачи. К типовым задачам относят: снятие показателей и команд с датчиков и мониторов, сохранение измеренных данных в хранилищах; анализ данных и выработка рекомендаций; выработка, ввод и реализация управляющих воздействий; интеграция данных и компонентов; оповещение участников процесса; обеспечение конфиденциальности данных.

Актеры. УП включают в себя множество акторов, к основным их категориям относятся:

1. Пациенты: люди, которые получают медицинское обслуживание в УП. Они могут использовать различные устройства, такие как мониторы, пульта управления и т.д., чтобы помочь врачам и медсестрам собирать данные о своем здоровье, управлять функциональностью УП.

2. Врачи: медицинские специалисты, ответственные за лечение пациентов. Они могут использовать данные, собранные с помощью умных устройств, чтобы определить наилучшее лечение для каждого пациента.

3. Медицинские сестры: медицинский персонал, ответственный за уход за пациентами. Они могут использовать умные устройства для сбора данных о пациентах и контроля за процессом лечения.

4. Инженеры: специалисты по разработке и обслуживанию технического оборудования и программного обеспечения для УП.

5. Аналитики: специалисты по обработке и анализу медицинских данных в УП. Модули. Модули УП классифицируются, прежде всего, по их задачам и функциональности:

1. Модули сбора данных собирают данные о пациентах, такие как жизненные показатели, сведения о приеме лекарств и т.д., и передают их на сервера для обработки. Примеры: датчики здоровья, умные часы, тонометры.

2. Модули обработки и анализа данных могут использоваться для рекомендации способа лечения, выявления рисков и прогнозирования заболеваний на основе собранных данных. Примеры: экспертные системы, системы визуализации.

3. Модули коммуникации обеспечивают связь между пациентами, персоналом и устройствами УП. Они могут использоваться для передачи сообщений, напоминаний о приеме лекарств, дистанционной консультации и т.д. Примеры: устройства видеосвязи, пульта управления.

4. Модули управления лечебным процессом используются для автоматизации процесса терапии. Пример: робот доставки лекарств.

5. Модули управления комфортом могут использоваться для управления освещением, системами отопления и кондиционирования воздуха и т.д. Пример: система проветривания.

6. Модули защиты обеспечивают безопасность пациентов и персонала в УП. Они могут включать в себя системы мониторинга безопасности, средства контроля доступа, устройства тревожной сигнализации и т.д. Примеры: системы видеонаблюдения, датчики движения, электронные замки и др.

7. Модули администрирования отвечают за мониторинг и управление инфраструктурой УП в целом, её конфигурирование.

Существуют и другие критерии классификации модулей. По типу реализуемых процессов модули можно разделить на физические (исполнительные устройства), информационные (вычислительные устройства) и киберфизические (модули, для которых характерна интеграция информационных ресурсов и физических процессов). По области задач модули могут быть медицинскими, обслуживающими, вспомогательными, по роли в области обработки данных – источниками (датчики), обработчиками, получателями (визуализаторы, актуаторы). По мобильности модули могут быть стационарные,

переносные, самодвижущиеся, по автономности – управляемые, автономные, по критичности – некритичные, заменяемые, критичные.

Интерфейсы. В общем случае они описываются с помощью протоколов и технологий на разных уровнях ISO OSI. Существует ряд типовых технологий для соединения модулей УП, в том числе:

1. Беспроводные сети: WiFi, Bluetooth, Zigbee и Z-Wave могут использоваться для связи между стационарными и мобильными устройствами в УП.
2. Кабельная связь (Ethernet, USB), а также шины данных (к примеру, CAN) могут использоваться для организации скоростной и надёжной связи между стационарными устройствами.
3. Интернет вещей (IoT): протоколы связи, такие как MQTT и CoAP, могут использоваться для соединения медицинских приборов и датчиков.
4. Мобильная связь: мобильные сети, такие как 3G, 4G и 5G, также могут использоваться для соединения устройств в УП и передачи данных, для отправки уведомлений.

Существуют интегральные стандарты передачи информации в медицинской области – к примеру, HL7. Выбор интерфейса зависит от конкретных требований УП и используемых устройств.

Сценарии. Сценарии функционирования УП представляют собой типовые последовательности и алгоритмы функционирования палаты, предназначенные для решения её задач. Типовые сценарии связаны с мониторингом состояния пациентов (медицинская сигнализация), его анализом, организацией процесса лечения, и рассмотрены ниже.

Показатели. Наиболее распространенные показатели эффективности УП могут отражать:

1. Качество медицинской помощи: сокращение времени нахождения пациента в больнице, улучшение точности диагностики, снижение летальности и количества осложнений после операций и т.д.
2. Комфорт пациентов: снижение количества жалоб, опросы пациентов и т.д.
3. Оптимизацию процессов медицинского ухода: улучшение доступности медицинской информации, сокращение времени на выполнение рутинных процедур и т.д.
4. Затраты на здравоохранение: снижение количества процедур и препаратов, снижение трудозатрат, уменьшение количества повторных визитов пациентов в больницу, ошибок при медицинском обслуживании и т.д.

Раскроем более подробно отдельные составляющие концептуальной модели. Для этого построим вспомогательные модели. Начнём с характеристики УП в статике. Для этого применимы модели, отражающую структуру системы – её компоненты и связи между ними.

Поскольку УП представляет собой киберфизическую систему, в ней происходят как физические, так и информационные процессы. Как информационная система, палата содержит компоненты, которые собирают, хранят, обрабатывают, ищут, выдают информацию. Как физическая система, палата содержит датчики (устройства, получающие информацию из окружающей среды) и актуаторы (устройства, реализующие физические воздействия). Общая структура УП, отражающая акторов, модули и связи между ними, может быть представлена в виде диаграммы потоков данных. Она представлена на рис. 2.

Организация физической структуры палаты зависит от набора используемых модулей и связей. Информационная составляющая УП описывается с помощью структур данных.

Наиболее важные сущности и отношения, используемые в модели приложения, показаны на рис. 3 (медицинские данные) и рис. 4 (вспомогательные данные). Модель была разработана с использованием диаграмм классов UML. Классы описывают соответствующие типы сущностей объекта, их свойства, действия, отношения к другим типам сущностей.

Характеристика УП в динамике выполняется с помощью моделей, описывающих её поведение. Поведение в общем случае складывается из одного или более типовых сценариев функционирования.

Рассмотрим для начала общие сценарии, которые могут быть описаны с помощью моделей в нотации UML. Сценарии можно описать с помощью диаграмм последовательности, в которых объектами являются компоненты УП и акторы: в простейшем случае – пациент и врач, в более сложных сценариях – и другие акторы, например, медсёстры, технический персонал.

На рис. 5 представлена общая диаграмма последовательностей для предварительного взаимодействия пациента и врача с учётом использования датчиков физиологических показателей организма пациента и системы многомодального ввода информации для него. Взаимодействие предполагает регулярный предварительный сбор данных о состоянии пациента в автоматическом (с помощью датчиков), полуавтоматическом (с помощью средств многомодального ввода информации в клиентском приложении пациента) и ручном (с помощью медицинского персонала) режимах. Данные поступают на сервер, систематизируются и визуализируются в клиентском приложении врача, что позволяет ему более оперативно оценить состояние пациента и принять решение о необходимости консультации или неотложной помощи.

К экстренным сценариям относится возникновение неотложных состояний у пациента. В этом случае необходим вызов специалиста непосредственно в палату пациента. Примеры таких состояний – нарушения дыхания, нарушения системы кровообращения и т. д. Под явными признаками угрозы жизни понимаются состояния, которые могут привести к смерти. Перечисленные в табл. 1 состояния могут не угрожать жизни явно, однако требуют оказания помощи в целях предотвращения значительного и долгосрочного воздействия на здоровье человека, оказавшегося в таком состоянии.

Необходимые действия со стороны сервера, управляющего УП, можно представить диаграммой активности на рис. 6. Она также отражает процесс контроля показателей на сервере, что позволяет выявить экстренные сценарии развития ситуации, например, сильное проявление аллергической реакции, такое, как ангионевротический отёк (отек Квинке), которое требует неотложной помощи.

Штатные сценарии включают также действия, выполняемые по указанию пациента (например, регулирование света, проветривание, вызов персонала). Если сценарии конфликтуют, то выполняется сценарий по указаниям врача. Например, проветривание помещения по просьбе пациента может выполняться только при отсутствии запрета со стороны врача. Диаграмма последовательности для такого случая изображена на рис. 7. Врач с помощью своего приложения управляет разрешениями для системы, а пациент может запросить те или иные действия у УП, если они разрешены. Соответствующая диаграмма изображена на рис. 8.

Построенные модели, а также модели других сценариев и ситуаций могут быть использованы при проектировании УП и её составных частей. В частности, для разработки программного обеспечения строятся диаграммы классов, а для проектирования систем – диаграммы компонентов, которые могут включать известные и предлагаемые решения. Однако более широкий взгляд на УП предполагает не только сбор и визуализацию медицинской информации, но и наличие контура управления. Так, объектно-ориентированная модель в форме диаграммы классов для реализации процесса управления модулями климат-контроля представлена на рис. 9.

Диаграмма описывает множество компонентов УП, характеризующихся параметрами, которые пользователи могут регулировать. При этом пользователи, обладающие необходимой ролью (медицинские специалисты), могут устанавливать политики, ограничивающие возможность регулирования параметров для той или иной группы пользователей. В этой диаграмме не выполняется детализация представления множества состояний компонентов УП, так как представление этого множества носит технический характер.

Подобные модели могут использоваться для разработки программного обеспечения и позволяют автоматически создавать каркасы программных модулей в системах автоматизированного проектирования.

Модули могут использоваться в рамках общей архитектуры УП, представленной на рис. 10. Представленная архитектура предусматривает разделение компонентов системы на две подгруппы – клиентскую и серверную. Клиентская часть включает в себя конечные устройства доступа – компьютеры, планшеты, датчики, физические компоненты, которые связываются с серверной частью через API и веб-интерфейс. Серверная часть отвечает за хранение и обработку данных, реализацию описанных сценариев, аналитику и визуализацию. Архитектура УП позволяет интегрировать модули, способные работать автономно, что позволяет консолидировать информационную инфраструктуру и расширить возможности как палаты, так и самих интегрированных модулей.

Рассмотрим практический пример типового модуля, предназначенного для сбора и обработки медицинских данных в частной задаче диагностики синдрома пароксизмальной симпатической гиперактивности (далее – ПСГА). Развитие ПСГА является одним из осложнений острого тяжелого повреждения мозга.

Модуль может быть реализован в виде приложения либо специализированного устройства. Он получает данные о клинических признаках, обрабатывает их по заданным методикам и формирует оценки для дальнейшего принятия решения врачом. Для этого используются разные методы и шкалы диагностики ПСГА, указанные в табл. 2-4. На основании суммы баллов принимается решение о возможности постановки диагноза. Методика представлена на рис. 11.

Рассмотрим подход к созданию модуля диагностики ПСГА как интегрированного компонента УП и построим модель данных, используемую этим модулем. Подобный модуль можно использовать как автономно, так и в составе УП. При автономном использовании модуля ввод данных и получение результатов осуществляется непосредственно человеком, а данные хранятся локально или на отдельном сервере, предназначенном для обслуживания этого модуля. Использование модуля в качестве компонента УП означает его интеграцию в качестве интегрированного интеллектуального информационного компонента, что обеспечивает ряд преимуществ:

1. Автоматизация ввода данных: сбор данных осуществляется автоматически из разных компонентов и баз данных УП.

2. Автоматизация представления данных: результаты передаются в хранилища данных, что позволяет обрабатывать и представлять их в совокупности с другими данными.

3. Интеграция данных: обеспечивается большая полнота и точность данных, снижается потребность в повторных измерениях, расширяются возможности анализа данных.

Для задач практики модуль реализован в виде кроссплатформенного мобильного приложения, использующего ранее рассмотренные модели на рис. 3, 4. В данном случае методики задаются как наборы последовательно проверяемых условий (логических функций от параметров системы) и выполняемых действий (обновление показателей, уведомление акторов). Архитектура приложения приведена на рис. 12.

Приложение позволяет регистрировать данные о пациентах с помощью формы, содержащей поля, предусмотренные методикой (рис. 13). Возможно автоматическое заполнение некоторых полей с помощью плагинов для вычисляемых полей (например, индекс Кердо) и для полей с данными из внешних источников. Далее проводится проверка состояния здоровья по внесённым в базу методикам. Специалист может получать представление данных за любой период в табличном и графическом виде как по отдельным показателям, так и по расчетным баллам по разным шкалам (рис. 14).

Подход позволяет автоматизировать определение степени тяжести синдрома, упростить выбор алгоритмов лечения, формировать графические представления параметров здоровья пациентов, минимизировать человеческий фактор при подсчете баллов, обновлять приложение при поступлении новых медицинских данных.

В целом, с помощью УП можно реализовать комплексный «экологический» подход к автоматизации процесса ведения пациентов. Продуманные решения в области УП позволят сделать процесс лечения более эффективным, экономичным и удобным для пациентов и медицинских специалистов. Практика и моделирование на примере ПСГА показывают, что время работы персонала значительно (не менее, чем в 1,5 раза) сокращается за счет автоматизации сбора данных и расчетов по сравнению с ручной оценкой, которая требует до 20 минут.

План работы на период с 1 июля 2023 г. по 30 июня 2024 г.

Заявленный план работ научного коллектива на второй год проекта базируется на полученных результатах за текущий отчетный период. В частности, на базе разработанной концептуальной модели умной медицинской палаты планируется создать ряд моделей, методов, алгоритмов и архитектур, позволяющих на логическом уровне разработать решения для умной палаты, способной решать произвольные задачи из набора, приведённого в концептуальной модели.

Для этого прежде всего, необходимо построить модель функционирования системы на логическом уровне. Для строгого описания поведения в конкретных ситуациях целесообразно использовать диаграммы деятельности, для спецификации поведения системы в целом – диаграммы обзора взаимодействия. Для определения поведения системы необходимо разработать ряд алгоритмов, в частности – алгоритмы выявления штатных и нештатных ситуаций, выбора сценария поведения при возникновении ситуации, распределения ресурсов системы для реализации сценариев поведения с учётом

приоритизации, оценки эффективности исполнения сценариев, расчёта необходимых ресурсов для обеспечения достаточной эффективности функционирования киберфизического окружения «умной» палаты при всех рассматриваемых сценариях.

Детализированный план работ по проекту на 2023 год предполагает решение следующих задач:

1. Разработать классификацию типовых компонентов умной палаты, её аппаратного и программного обеспечения.

2. Разработать подход к интеграции физических и информационных компонентов медицинской палаты на логическом уровне, базируясь на модели взаимодействия открытых систем, включая протоколы взаимодействия с типовыми устройствами умной палаты.

3. Разработать типовые алгоритмы идентификации штатных и нештатных ситуаций в палате, а также алгоритмы выбора сценария поведения киберфизического окружения умной палаты при возникновении этих ситуаций.

4. Разработать метод оценки эффективности исполнения отдельных сценариев поведения киберфизического окружения умной палаты.

5. Построить и апробировать модель функционирования киберфизического окружения умной палаты на логическом уровне.

6. Разработать интегральные показатели эффективности киберфизического окружения умной палаты.

7. Разработать архитектуру киберфизического окружения умной палаты на логическом уровне.

8. Разработать метод комплектации киберфизического окружения умной палаты физическими и информационными компонентами исходя из множества её задач и нагрузки.

9. Подготовить серию статей по результатам текущих исследований в журналах и трудах конференций, индексируемых в Scopus, Web of Science. Также возможны командировки для представления результатов исследования на международных научных конференциях, точный состав которых ещё не определён.

10. Подготовить отчётные материалы, посвященные задачам проекта и представляющие его научные результаты, полученные по окончании второго года работы, опубликовать их на веб-странице.

Ожидаемые в конце периода с 1 июля 2023 г. по 30 июня 2024 г. конкретные научные результаты

К основным ожидаемым научным результатам за второй год выполнения проекта относятся:

1. Модель функционирования киберфизического окружения «умной» палаты на логическом уровне, включая алгоритмы выявления нештатных ситуаций, выбора сценария поведения при возникновении ситуации, оценки эффективности исполнения сценариев.

Чтобы описать поведение системы в разных ситуациях, лучше всего использовать диаграмму деятельности для конкретных сценариев и диаграмму обзора взаимодействия для всей системы. Для определения этого поведения необходимо разработать алгоритмы определения штатных и нештатных ситуаций, выбора сценариев поведения при возникновении таких ситуаций, распределения ресурсов системы для реализации сценариев с учетом приоритетов, оценки эффективности выполнения сценариев и расчета

необходимых ресурсов для обеспечения должной эффективности функционирования системы при всех возможных сценариях.

Выявление ситуаций выполняется на основе анализа гетерогенных данных, поступающих с датчиков, размещённых в палате. Это физиологические датчики, расположенные на теле пациента или рядом с ним, камеры, микрофоны. Использование подобных датчиков и многомодальных данных позволяет выявить экстренные ситуации, при которых пациенту может потребоваться срочная помощь (падение, паническое состояние) в случае, когда сам пациент не может подать сигнал об этом. Кроме того, использование технологий, способных работать с различными типами многомодальных данных (речь, жесты, текстовый и/или сенсорный ввод) позволяет выполнить персонализацию способа общения пациента с персоналом, что особенно важно для пациентов с ограниченными возможностями.

Выбор сценария поведения киберфизического окружения в конкретной ситуации выполняется тривиально при достоверном обнаружении единичной ситуации и наличии единственного способа реагирования на эту ситуацию. В случаях, когда достоверность выявления ситуации вызывает сомнения, либо выявлено несколько различных ситуаций одновременно, либо обнаруженная ситуация допускает несколько сценариев поведения киберфизического окружения, необходимо использовать стратегии принятия решений. При этом необходимо учитывать действительную потенциальную критичность ситуаций, их приоритет, оценивать необходимость участия человека для разрешения ситуации и своевременно уведомлять персонал о возникшей проблеме.

Оценка эффективности исполнения сценариев, под которой подразумевается величина, характеризующая успешность выполнения операции и зависящая от факта и оперативности достижения цели, а при необходимости – от затраченных ресурсов, возникающих рисков. Оценка может рассчитываться как предиктивно, до исполнения сценария с целью определения целесообразности его реализации, что используется в алгоритме выбора, так и после его исполнения для определения результативности операции. В последнем случае результат может быть использован для уточнения параметров прогнозирования, например, с использованием методов машинного обучения, а также для расчёта необходимых ресурсов для обеспечения достаточной эффективности функционирования системы.

2. Архитектура киберфизического окружения «умной» палаты, позволяющую комплектовать это окружение компонентами исходя из задач и нагрузки.

Для реализации системы необходимо разработать архитектуру, удовлетворяющую ряду требований. Она должна быть гибкой и расширяемой, позволять выполнять комплектацию киберфизического окружения компонентами исходя из расчётной нагрузки, замену отдельных компонентов на аналогичные при условиях поддержки ими идентичных протоколов, подключаться к внешним сервисам.

3. Серия статей в журналах и трудах конференций, индексируемых в Scopus и Web of Science.

4. Веб-страница и отчётные материалы, посвященные проблематике проекта и представляющие его текущие научные результаты.

Перечень публикаций в отчетном периоде по результатам проекта

1. *Левоневский Д.К., Мотиенко А.И., Терехов И.С. (Levonevskiy D., Motienko A., Terekhov I.) Automation of diagnosis, stratification and treatment of the paroxysmal*

- sympathetic hyperactivity syndrome in the smart ward environment Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering (2023 г.) - WoS, Scopus.
2. Левоневский Д.К., Мотиенко А.И. (Levonevskiy D., Motienko A.) Modeling Tasks of Patient Assistance and Emergency Management in Medical Cyber-Physical Systems Lecture Notes in Networks and Systems (2023 г.) – Scopus.
 3. Левоневский Д.К., Мотиенко А.И., Ценципер Л.М., Терехов И.С. (Levonevskiy D., Motienko A., Tsentsiper L., Terekhov I.) Automation of Data Processing for Patient Monitoring in the Smart Ward Environment Lecture Notes in Networks and Systems (2023 г.) - Scopus.

Иллюстративные материалы

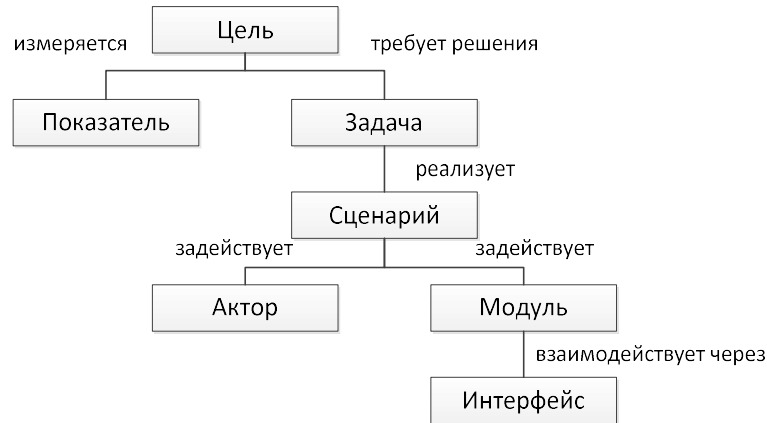


Рис. 1. Обобщённая концептуальная модель умной палаты

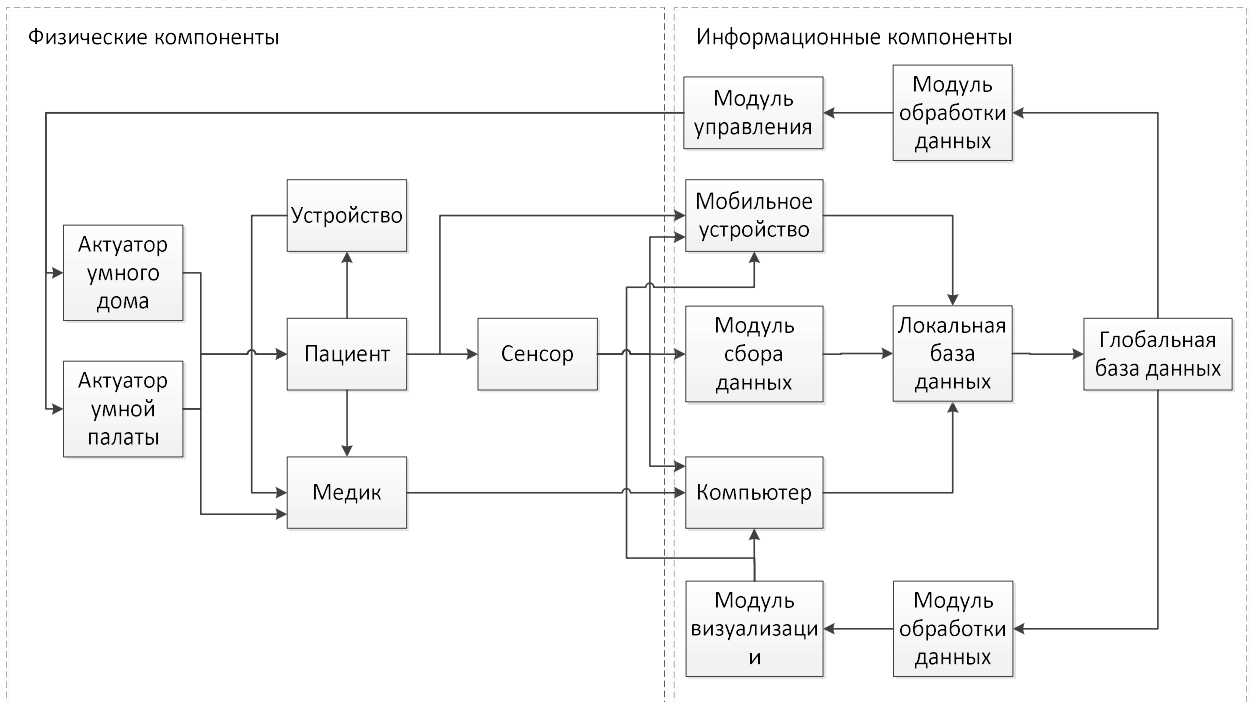


Рис. 2. Обобщённая структурная схема умной палаты

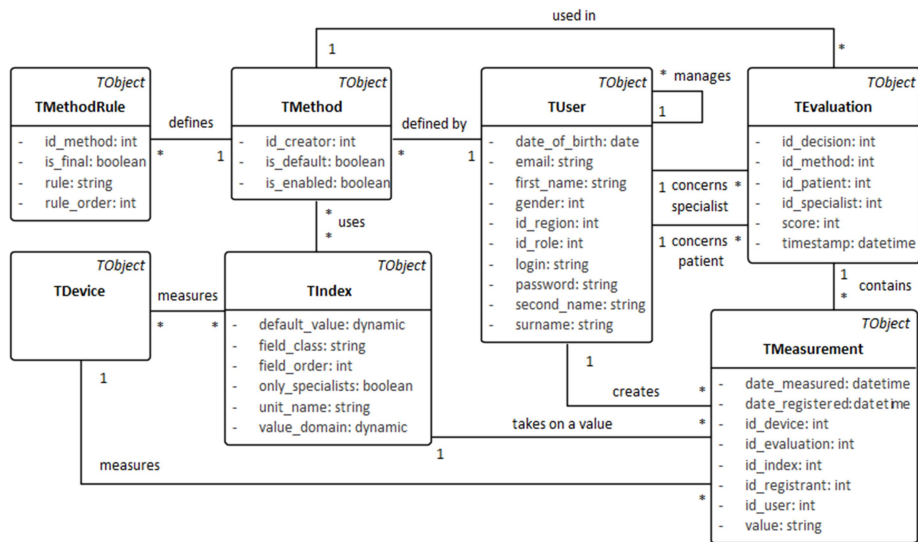


Рис. 3. Фрагмент модели для хранения медицинской информации

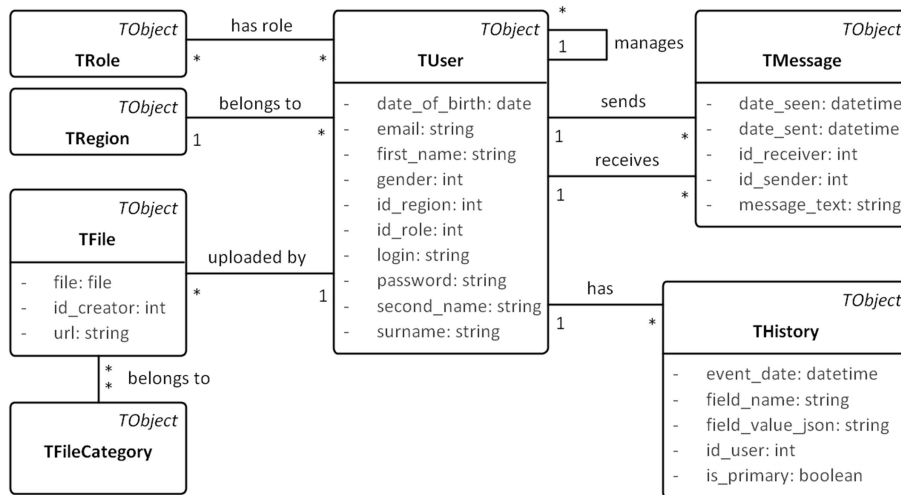


Рис. 4. Фрагмент модели для хранения дополнительной информации



Рис. 5. Диаграмма последовательности для предварительного взаимодействия пациента и врача

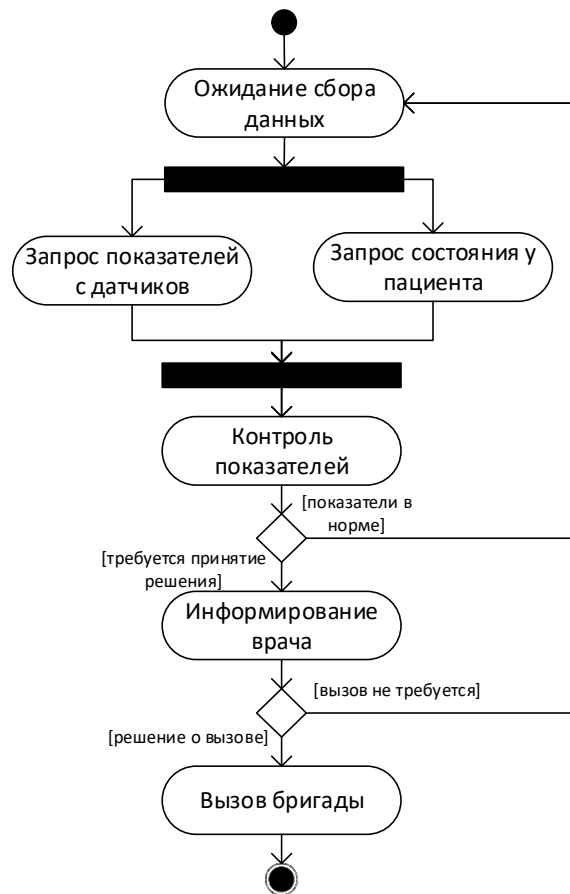


Рис. 6. Диаграмма активности для сервера при предварительном взаимодействии пациента и врача

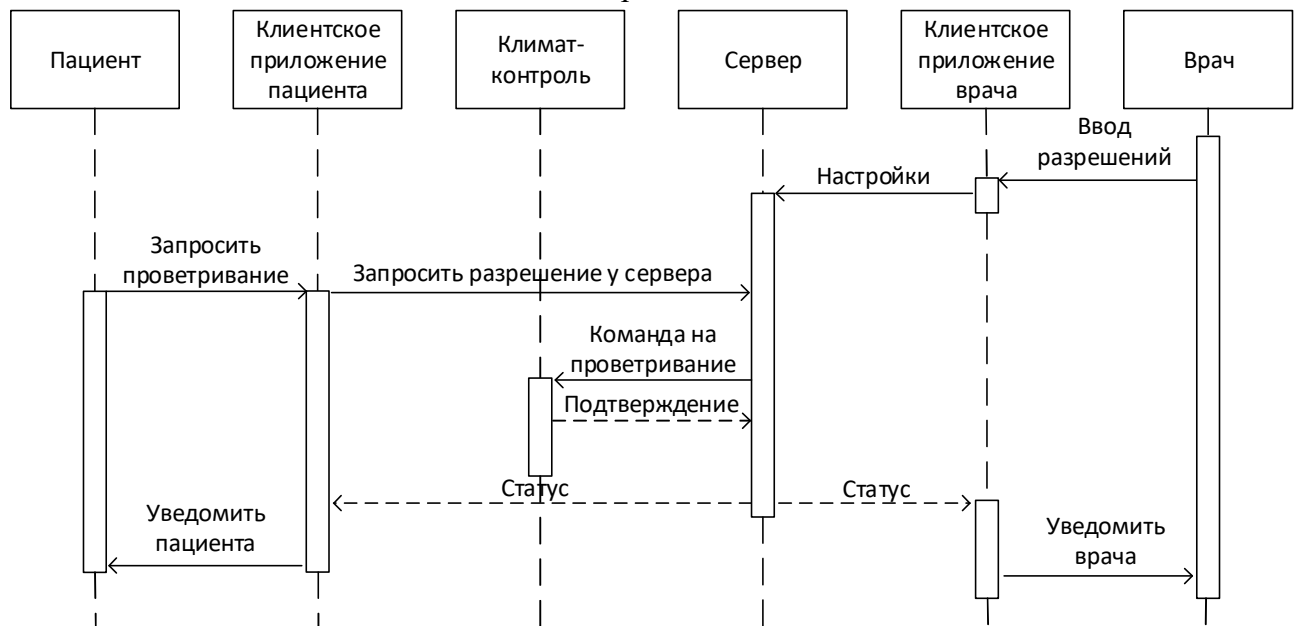


Рис. 7. Диаграмма последовательности для управления проветриванием помещения

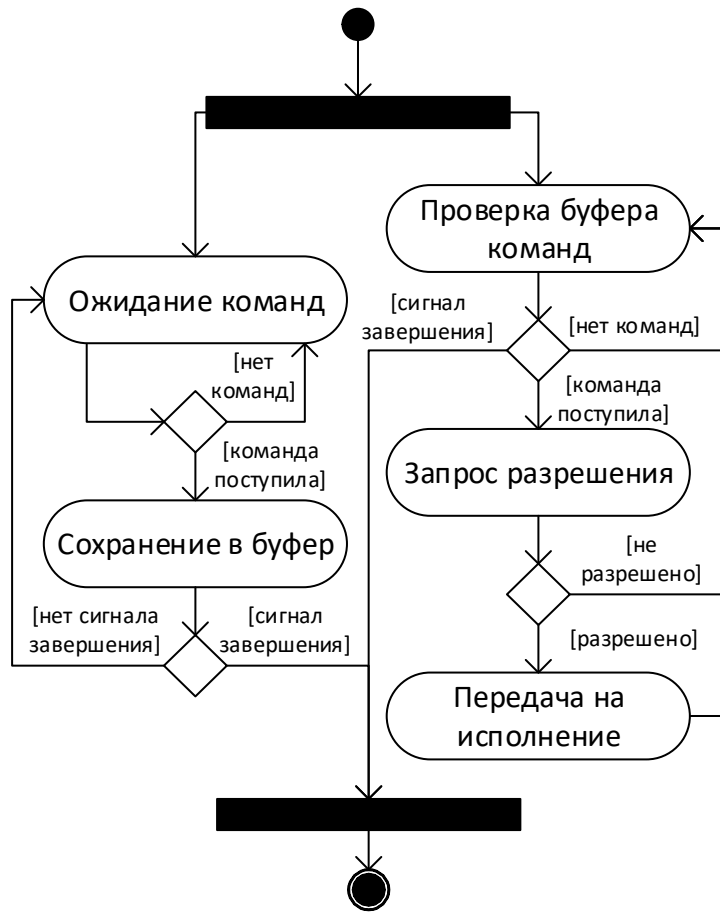


Рис. 8. Диаграмма активности для обработки команд климат-контроля

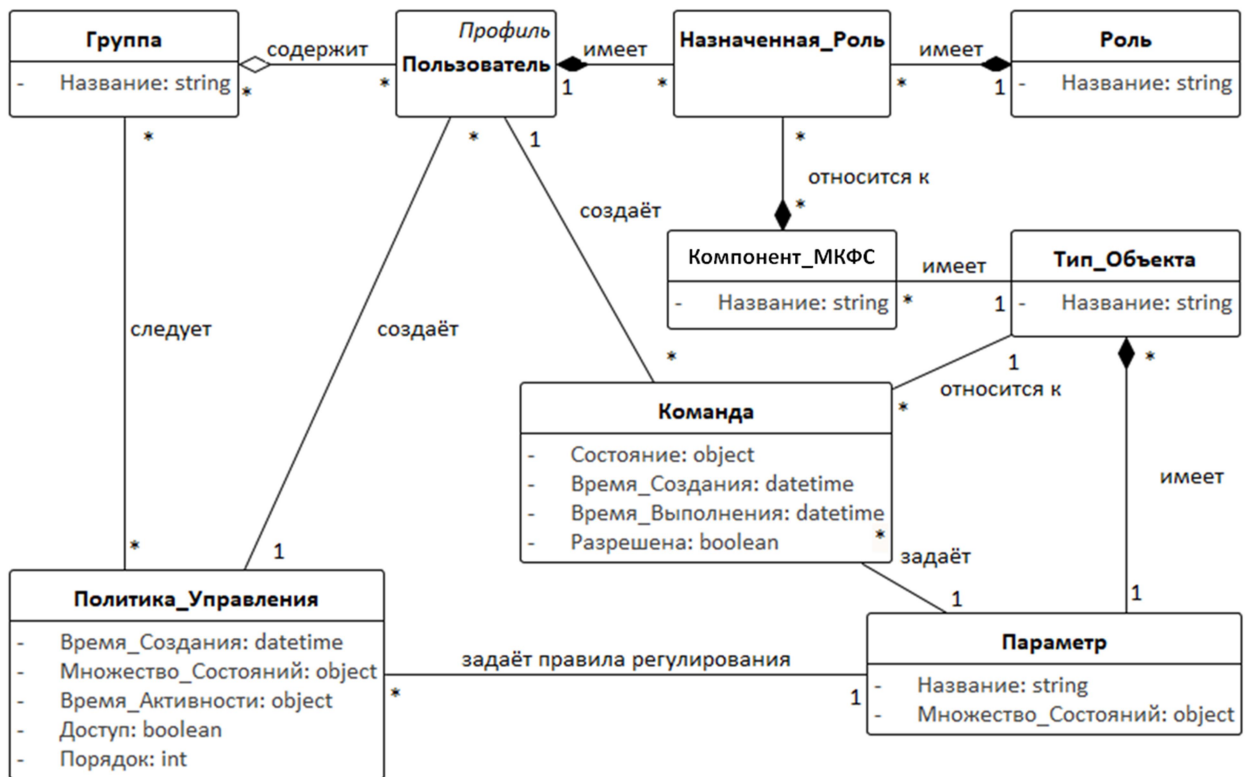


Рис. 9. Диаграмма классов для управления модулями климат-контроля

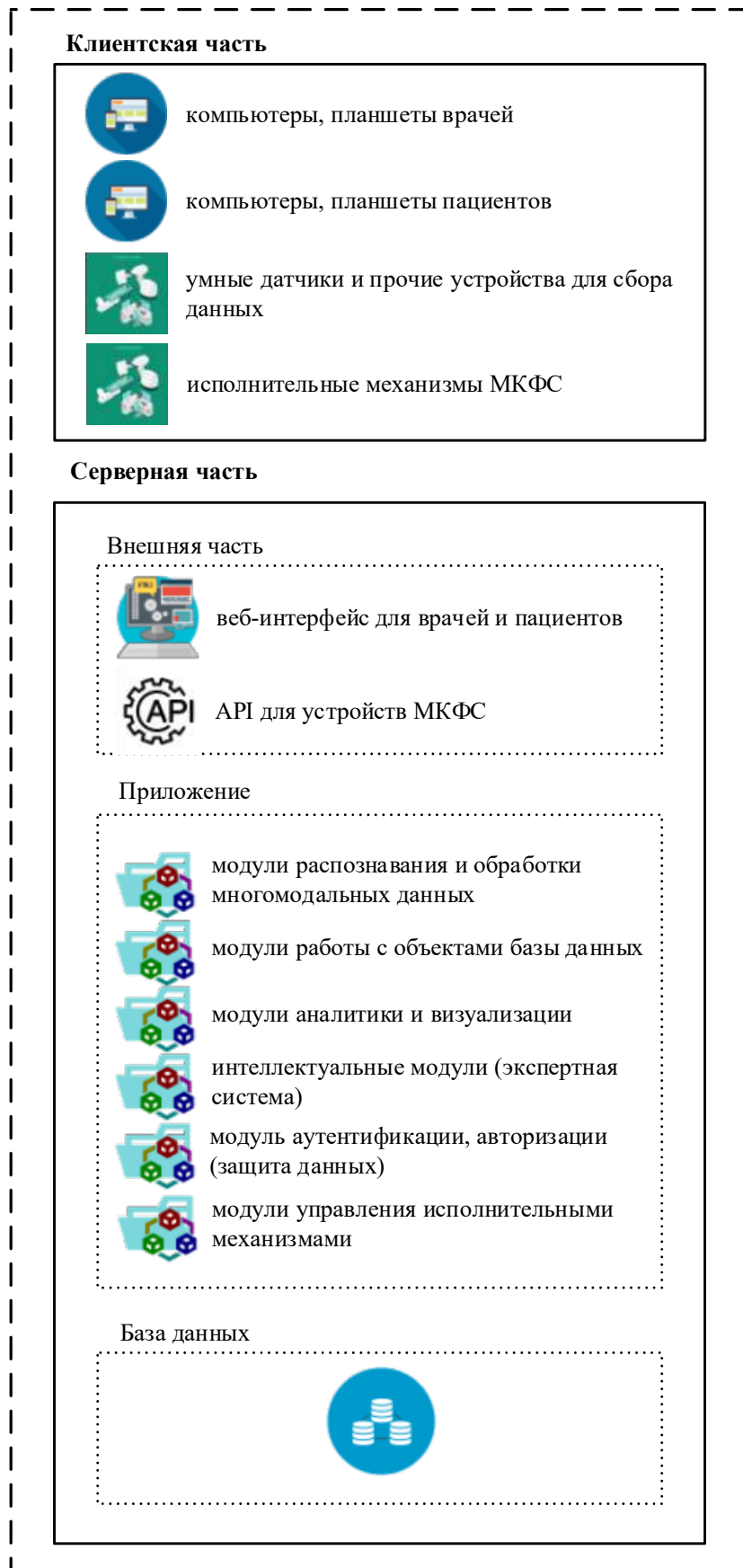


Рис. 10. Архитектура медицинской киберфизической системы

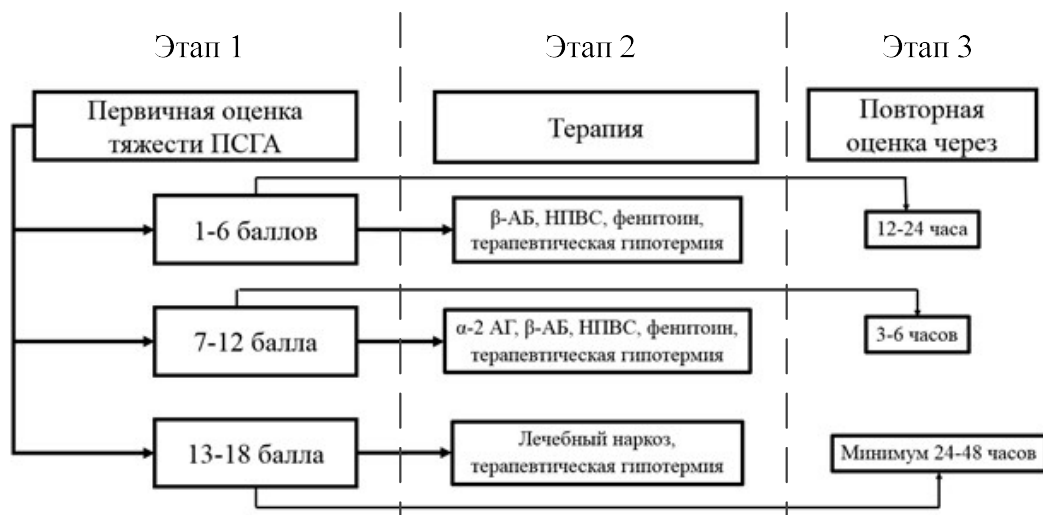


Рис. 11. Методика оценки и лечения ПСГА

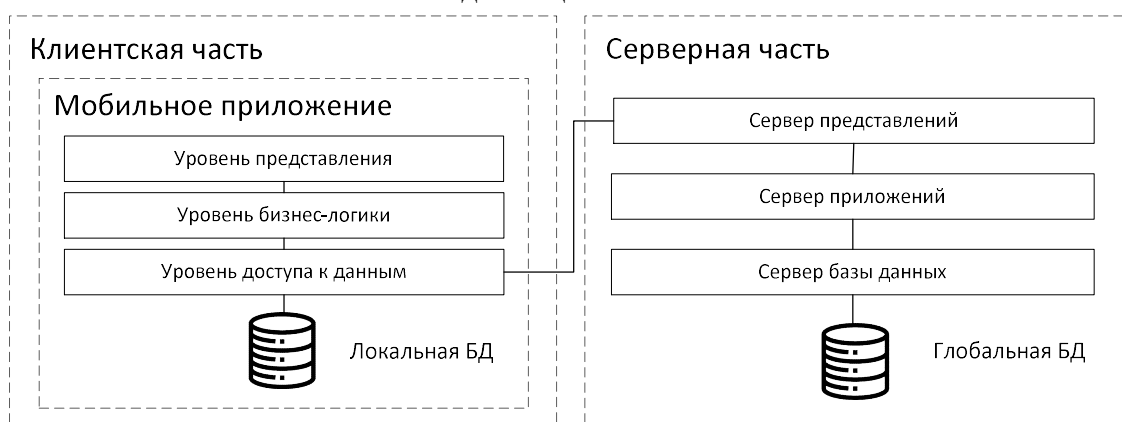


Рис. 12. Общая архитектура приложения для сбора и обработки медицинских данных

Data Input

All fields are required. You should possess all necessary equipment to perform measurements.

Heart rate
per min

Respiratory rate
per min

Systolic blood pressure
mmHg

Diastolic blood pressure
mmHg

Temperature
C

Sweating
0...3

Posturing during episodes
0...3

Clinical features occur simultaneously

Episodes are paroxysmal in nature

Sympathetic over-reactivity to normally non-painful stimuli

Features persist ≥ 3 consecutive days

Features persist ≥ 2 weeks post-brain injury

Calculator

Select the method:
Extended features ↓

Select the data snapshot:
2023-01-16 12:05:49 ↓

Total score: 3
Estimation: Not Likely

Details:

Heart rate, per min	62
Respiratory rate, per min	35
Systolic blood pressure, mmHg	120
Diastolic blood pressure, mmHg	80
Temperature, C	36.7
Sweating	0
Posturing during episodes	0
Clinical features occur simultaneously	0
Episodes are paroxysmal in nature	0
Sympathetic over-reactivity to normally non-painful stimuli	0
Features persist ≥ 3 consecutive days	0
Features persist ≥ 2 weeks post-brain injury	0
Features persist despite treatment of alternative differential diagnoses	0
Medication administered to decrease sympathetic	0

Рис. 13. Интерфейс ввода и регистрации данных

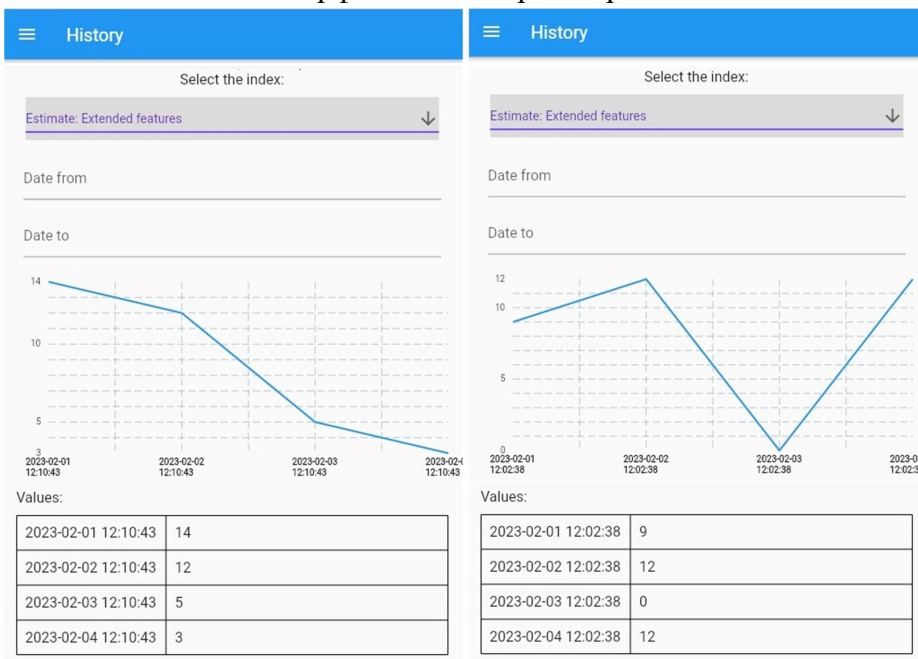


Рис. 14. Интерфейс анализа данных

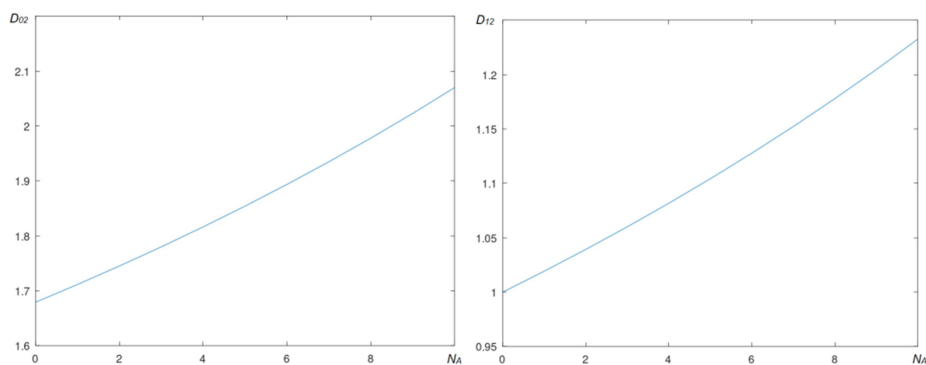


Рис. 15. Оценка относительного выигрыша времени при автоматизации сбора и обработки данных

Таблица 1. Классификация неотложных состояний

Раздел	Подраздел
Неотложная хирургия	Раны
	Кровотечения
	Травмы и повреждения
	Шок
	Ожоги
	Отморожения
Неотложные состояния в клинике глазных болезней	-
Неотложные состояния в клинике болезней уха, горла и носа	-
Неотложные состояния в урологии	-
Неотложные состояния в клинике внутренних болезней	Острые аллергические реакции
	Неотложные состояния в клинике инфекционных болезней
	Неотложные состояния в кардиологии
	Неотложные состояния в пульмонологии
	Неотложные состояния в токсикологии и радиационной медицине
Неотложные состояния в клинике эндокринных болезней	-
Неотложные состояния в акушерстве и гинекологии	-
Неотложные неврологические и нейрохирургические состояния	-
Неотложные состояния в психиатрии	-
Неотложные состояния в клинике детских болезней	-

Таблица 2. Шкала клинических признаков

Показатели	Баллы			
	0	1	2	3
ЧСС уд/мин	< 100	100-119	120-139	≥ 140
ЧД / мин	< 18	18-23	24-29	≥ 30
АДсис (mmHg)	<140	140-159	160-179	≥ 180

Температура (°C)	<37,0	37.0-37.9	38,0-38,9	≥39
Гипергидроз	нет	легкий	умеренный	выраженный
Повышение мышечного тонуса в период эпизодов	нет	легкое	умеренное	выраженное

Таблица 3. Критерии синдрома ПСГА (отечественные/расширенные)

Показатели	Баллы			
	0	1	2	3
ЧСС (уд/мин)	< 100	110-119	120-139	≥140
АДсис (мм рт. ст.)	< 140	140-159	160-179	≥180
ЧД (в мин)	< 18	18-23	24-29	≥30
Индекс Кердо	0	+1 -+10	+10 -+20	≥+21
Температура °C	< 37	37-37,9	38-38,9	≥39
Повышение мышечного тонуса (баллы по шкале спастичности Ашворта)	0	1-2	3	4-5
Частота эпизодов вегетативной нестабильности (за 24 часа)	0	1-3	4-6	>6
Гипергидроз	нет	+	++	+++
Гиперемия, сальность кожного покрова	нет	+	++	+++
Альбумин г/л	34-48	28-34	22-28	<22

Таблица 4. Дополнительные диагностические критерии ПСГА (международные)

Показатели	Баллы
Одновременность клинических проявлений	1
Пароксизмальная активность	1
Симпатическая гиперактивность в ответ на безболезненные стимулы	1
Сохранение клинических проявлений ≥ 3 календарных дней	1
Сохранение клинических проявлений ≥ 2 недель после повреждения	1
Персистенция клинических проявлений, несмотря на терапию альтернативных состояний	1
Реакция на терапию, направленную на уменьшение симпатической гиперактивности	1
Наличие ≥ 2 эпизодов гиперактивности в день	1
Отсутствие признаков парасимпатической активности во время криза	1
Отсутствие других причин, объясняющих клиническую картину	1
Наличие в анамнезе эпизодов острого повреждения головного мозга	1

Таблица 5. Задержки при выполнении запросов при моделировании умной палаты

Технология	Среднее значение задержки, мс	Среднее квадратическое отклонение, мс
Задержка сети t_{conn} (Ethernet)	2,8	1,1
Задержка сети t_{conn} (Wi-fi)	4,8	1,4
Выполнение типового запроса t_{inf}	227	58,9

Список литературы

1. Huang P.-H. The Application of Smart Medical Care in the Smart Ward-Take A Company as an Example. 2022.
2. Jian, W. S. et al. (2022). Voice-based control system for smart hospital wards: a pilot study of patient acceptance. *BMC health services research*, 22(1), 1-11.
3. Brunete A. et al. Smart Assistive Architecture for the Integration of IoT Devices, Robotic Systems, and Multimodal Interfaces in Healthcare Environments. *Sensors (Basel)*. 2021;21(6):2212.
4. Azhiimah A.N. et al. Automatic Control Based on Voice Commands and Arduino. *International Joint Conference on Science and Engineering (IJCSE 2020)*, 2020.
5. Cronin S, Doherty G. Touchless computer interfaces in hospitals: A review. *Health Informatics J*. 2019;25(4):1325–42.
6. Ali H, Cole A, Panos G. Transforming Patient Hospital Experience Through Smart Technologies. *International Conference on Human-Computer Interaction*; 2020: Springer.
7. Balasubramanian V., Vivekanandhan S., Mahadevan V. Pandemic tele-smart: A contactless tele-health system for efficient monitoring of remotely located COVID-19 quarantine wards in India using near-field communication and natural language processing system. *Medical & Biological Engineering & Computing*, p. 1-19, 2022.
8. Gune A, Bhat A, Pradeep A (2013) Implementation of near field communication-based healthcare management system. *IEEE Symp Ind Electron Appl Kuching* 195–199.
9. Sujadevi V.G. et al. (2016) Effortless exchange of personal health records using near field communication. *Int Conf Adv Comput Commun Inf Jaipur* 1764–1769.
10. Supriya S, Ramgopal S, George SM (2017) Near field communication-based system for health monitoring. *2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology Bangalore* 653–657.
11. Thompson P, McNaught J, Ananiadou S, (2015) Customised OCR correction for historical medical text. (2015) *Digital Heritage*. Granada, Spain 35–42.
12. Wen, M. H. et al. (2022). Implementation and experience of an innovative smart patient care system: a cross-sectional study. *BMC Health Services Research*, 22(1), 1-11.
13. Meade CM, Bursell AL, Ketelsen L. Effects of nursing rounds: on patients' call light use, satisfaction, and safety. *Am J Nurs*. 2006;106(9):58–70.
14. Tzeng H-M. Perspectives of staff nurses of the reasons for and the nature of patient-initiated call lights: an exploratory survey study in four USA hospitals. *BMC Health Serv Res*. 2010;10(1):52.
15. Torres SM. Rapid-cycle process reduces patient call bell use, improves patient satisfaction, and anticipates patient's needs. *J Nurs Adm*. 2007;37(11):480–2.
16. Klemets J, Evjemo TE. Technology-mediated awareness: facilitating the handling of (un) wanted interruptions in a hospital setting. *Int J Med Inform*. 2014;83(9):670–82.
17. Klemets J, Toussaint P. Does revealing contextual knowledge of the patient's intention help nurses' handling of nurse calls? *Int J Med Inform*. 2016;86:1–9.
18. Bouldin E.D. et al. Falls among adult patients hospitalized in the United States: prevalence and trends. *J Patient Saf*. 2013;9(1):13.
19. Hempel S. et al. Hospital fall prevention: a systematic review of implementation, components, adherence, and effectiveness. *J Am Geriatr Soc*. 2013;61(4):483–94.

20. Cai X., Pan J. Toward a brain-computer interface-and internet of things-based smart ward collaborative system using hybrid signals //Journal of Healthcare Engineering. 2022. 21. Levina, A., Iliashenko, V. M., Kalyazina, S., Overes, E. Smart Hospital Architecture: IT and Digital Aspects. In Algorithms and Solutions Based on Computer Technology: 5th Scientific International Online Conference Algorithms and Solutions based on Computer Technology (ASBC 2021), pp. 235-247, 2022.
22. Yadav, S. et al. (2022). A Smart System for Monitoring Flow in Drip Bottles in Healthcare. In Futuristic Communication and Network Technologies: Select Proceedings of VICFCNT 2020, pp. 663-669.
23. Gayathri S, Sundar Ganesh CS. Automatic indication system of glucose level in glucose drip bottle. Int J Multidisciplinary Res Mod Educ 3(1), 148–151, 2017.
24. Kadam'manja, J., Mukamurenzi, S., Umuhoza, E. Smart Vital Signs Monitoring System for Patient Triage: A case of Malawi. In 2022 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), pp. 1-6, 2022.
25. Jamshed Dalal et al. Heart Rate in Hypertension: Review and Expert Opinion. International Journal of Hypertension, vol. 2019, no. 2087064, pp. 1-7, 2019.
26. Liu, Q., Hou, S., Wei, L. Design and implementation of intelligent monitoring system for head and neck surgery care based on internet of things (IoT). Journal of Healthcare Engineering, 2022.
27. Feng, Y. S. et al. An RSSI-based device-free localization system for smart wards. In 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), pp. 1-2, 2021.
28. Huang, Y. C. et al. An extensible situation-aware caring system for real-world smart wards. In Impact Analysis of Solutions for Chronic Disease Prevention and Management: 10th International Conference on Smart Homes and Health Telematics, ICOST 2012, pp. 190-197, 2012.
29. Abdellatif, A. A. et al. Edge-based compression and classification for smart healthcare systems: Concept, implementation and evaluation. Expert Systems with Applications, 117, 1-14, 2019.
30. <https://validic.com/>
31. <https://capsuletech.com/>
32. <https://caresimple.com/>