ISSN 2658-5014 (Print) СИИТ ISSN 2686-7044 (Online)
http://siit.ugatu.su 2026. Т. 8, № 2(26)
СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Научная статья

УДК 004.8 DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p110 EDN: LDLAYW

Концепция построения интеллектуального программно-аппаратного комплекса на основе LSTM для управления реабилитационной перчаткой

Л. Е. Родионова

Уфимский университет науки и технологий

Для решения проблем, связанных со здоровьем пациента, вызванных различными заболеваниями (инсульт с когнитивными нарушениями, церебральные травмы, травмы конечностей и др.), необходимо проводить реабилитацию, которая наряду с восстановлением работоспособности призвана снизить риск рецидива. Киберфизические системы, предназначенные для реабилитации, включают киберпространство, которое обеспечивает поддержку принятия решений для проведения процессов восстановительной и регенеративной медицины, и различные физические объекты. Примером комплекса восстановления специального назначения могут быть реабилитационные перчатки: Hand Tutor, Gloreha, Music Glove, Amadeo, Rehab-Robotics Handof Hope, Аника. Основными недостатками этих устройств являются то, что не все аналоги имеют индивидуальный подход к пациенту, отсутствует биорегламент для сравнения различных условий после тренировки, отсутствует автономное управление устройством и их дороговизна. В статье рассматривается подход к созданию киберфизической системы восстановительной медицины в виде интеллектуального программно-аппаратного комплекса (ИПАК), который позволит эффективно восстановить двигательную активность верхних конечностей человека с определенными дисфункциями, обеспечивая высокую степень адаптивности и индивидуализации реабилитационного процесса. Предлагаемые модели, методы и алгоритмы будут использоваться для управления физическим объектом с помощью нейронной сети, что позволит устройству адаптироваться к конкретному пациенту и обеспечить наиболее оптимальные условия для его восстановления. В состав ИПАК войдет комплекс восстановления специального назначения с интеллектуальным управлением, камерами и микрофонами для сбора данных.

Интеллектуальный программно-аппаратный комплекс; машинное обучение; интеллектуальные информационные системы управления; технологии искусственного интеллекта; повышение квалификации; цифровые технологии.

Введение

Статистика подтверждает необходимость реабилитации пациентов с различными заболеваниями (инсульт с когнитивными нарушениями, черепно-мозговые травмы, травмы конечностей и пр.). Реабилитация наряду с восстановлением работоспособности призвана снизить риск рецидивов заболевания.

Киберфизические системы (КФС), предназначенные для реабилитации, включают в себя не только киберпространство и аппаратные средства поддержки принятия решений, но и различные объекты физического пространства — восстановительные комплексы специального назначения (ВКСН). Примером такого комплекса является интеллектуальный программно-аппаратный комплекс для управления реабилитационной перчаткой [Вят19]. Известные реабилитационные комплексы создают основу для внедрения сквозных цифровых технологий, открывают новые возможности для сбора и анализа данных: перчатки «Аника», Gloreha (Италия), перчатка для восстановления моторики после инсульта (Сеченовский университет

Родионова Л. Е. Концепция построения интеллектуального программно-аппаратного комплекса на основе LSTM для управления реабилитационной перчаткой // СИИТ. 2026. Т. 8, № 2(26). С. 110-120. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p110. EDN: LDLAYW.

Rodionova L. E. “The concept of building an intelligent hardware and software system based on LSTM for controlling a rehabilitation glove” // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 2(26), pp. 110-120. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no2-p110. EDN: LDLAYW (In Russian).

Минздрава России)[1] и др. Информация может поступать как непосредственно от датчиков самой перчатки (обратная связь от физического объекта), так и от дополнительных устройств – видеокамер и микрофонов. Это позволяет проводить комплексную оценку состояния пациента на основе различных типов данных (например, анализ движений и речи). Такой подход обеспечивает возможность объективного анализа как в статике, так и в динамике.

Далее собранные данные подготавливаются для анализа с целью последующей коррекции условий и параметров процесса реабилитации [Van24, Kae21, Air16, Cor20]. Таким образом, предлагаемая концепция «цифрового здравоохранения» базируется на интеграции аналитики разнородных данных с технологиями искусственного интеллекта. Сбор информации обеспечивается за счет использования принципов «Интернета вещей в здравоохранении» (IoT), что подразумевает применение датчиков, приложений и средств удаленного мониторинга для получения непрерывной клинической картины.

Применение искусственного интеллекта, в частности, позволит автоматизировать рутинные процедуры, такие как первичный анализ видео или выявление отклонений в речи, что даст возможность врачам сосредоточиться на более сложных задачах и критических состояниях пациентов. Создание подобной киберфизической системы должно способствовать не только повышению оперативности принятия решений, но и обеспечению идентифицируемости и прослеживаемости данных на всех этапах управления, что является ключевым фактором для решения задач индивидуальной реабилитации [Саз23, Ирз26].

Функциональная схема работы интеллектуального программно-аппаратного комплекса для восстановительной медицины

Предлагаемый интеллектуальный программно-аппаратный комплекс (ИПАК) для управления реабилитационной перчаткой, построен по сервис-ориентированной архитектуре, включающей модули сбора данных, предобработки, прогнозирования и управления. Центральным компонентом является блок принятия решений на основе рекуррентной нейронной сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM). Выбор LSTM обусловлен необходимостью обработки временных рядов физиологических сигналов (данные с ЭМГ, видео) и прогнозирования состояния пациента для адаптивной коррекции реабилитационной программы в реальном времени. На рис. 1 представлена обобщённая схема взаимодействия модулей ИПАК [Кос21, Dar16].

Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения широко распространены в медицинских системах, поэтому могут быть использованы и для управления ИПАК и формирования рекомендаций по проведению реабилитации.

Предлагаемая система предназначена для обеспечения формирования программ реабилитации и восстановления.

Работа интеллектуального программно-аппаратного комплекса состоит из следующей последовательности шагов (см. рис. 1):

- взаимодействие пользователя с интерфейсом;
- обновление экрана;
- действие пользователя;
- изменение отображения;
- запрос по датам и времени;
- отрезок дат и времени с сохраненными данными;
- запрос и получение данных из баз данных;
- отформатированные данные;

---

[1] В Сеченовском университете разработали перчатку для восстановления моторики после инсульта. 2024. URL: https://www.sechenov.ru/pressroom/news/v-sechenovskom-universitete-razrabotali-perchatku-dlya-vosstanovleniya-motoriki-posle-insulta (дата обращения 17.03.2026).

- результат анализа;
- запись результата анализа;
- запрос истории анализа;
- история анализа;
- запись сигналов с датчиков;
- формирование индивидуальной программы восстановления и реабилитации пациента.

При построении архитектуры в целом используются теории системного анализа, модели и методы системной инженерии, методы управления, позволяющие максимально полно использовать преимущества информационных технологий (ИТ).

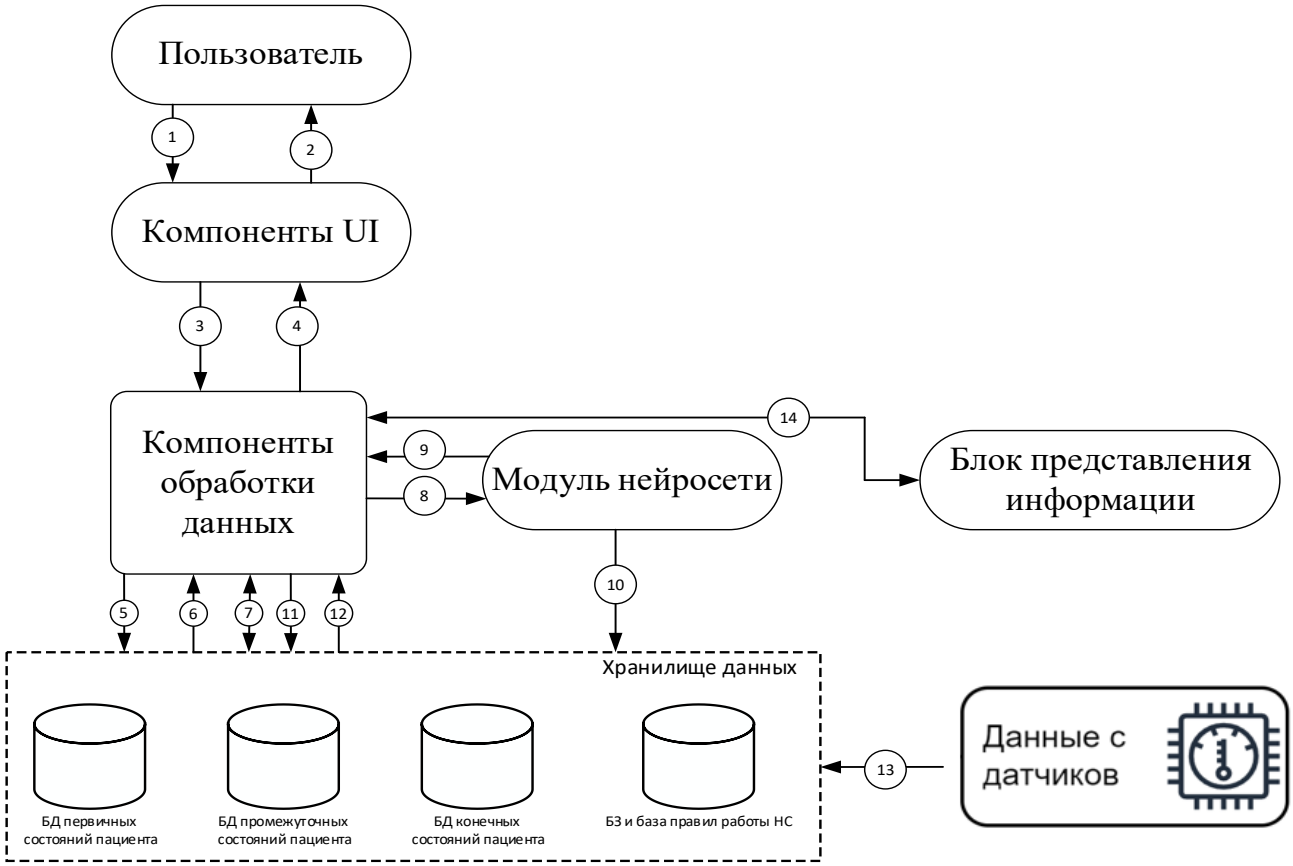

Рис. 1 Функциональная система работы ИПАК

Для решения задачи прогнозирования показателей реабилитации и составления программы реабилитации и восстановления была выбрана рекуррентная нейронная сеть RNN (Recurrent Neural Networks) LSTM. Рекуррентные нейронные сети показывают наилучшие результаты в задачах прогнозирования временных рядов благодаря способности учитывать последовательный характер данных [Gao25]. Выбор модификации LSTM (Long Short-Term Memory) обусловлен тем, что она позволяет уменьшить влияние проблемы «затухающего градиента», характерной для классических рекуррентных сетей, за счет использования механизма управляющих вентилей и константного потока ошибки через ячейку памяти (cell state) (рис. 2) [Kel60].

Общий алгоритм работы нейронной сети заключается в последовательных расчетах, производимых в слоях НС (в нашем случае, LSTM) [Жиг23, Мей22, Осо22, Кос21]. Особенностью рекуррентной нейронной сети является использование при расчетах в текущем слое выхода предыдущего слоя переменной h_{t-1} (например, это краткосрочный отчет о том, что происходило в прошлый момент (какое движение совершалось 0,1 с назад).

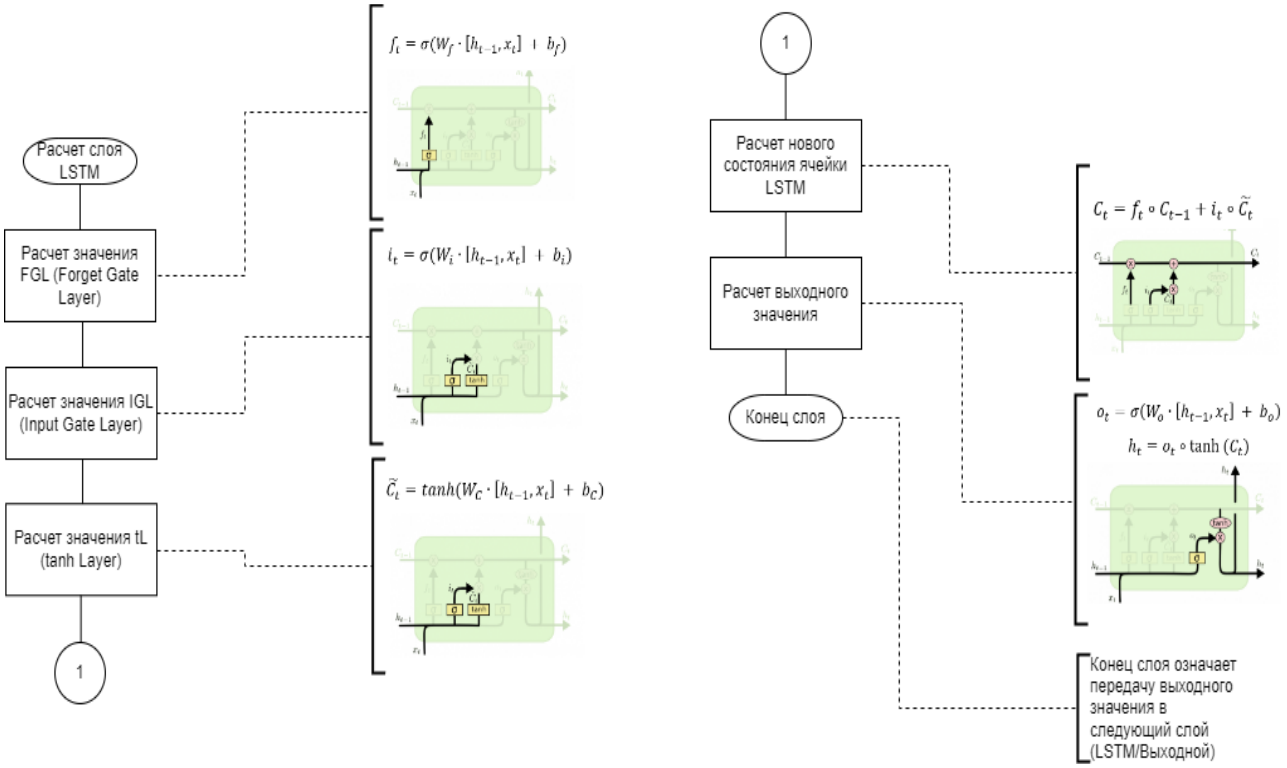

Рис. 2 Алгоритм работы слоя LSTM

Особенность алгоритма работы слоя длительной краткосрочной памяти (англ. Long Short-Term Memory) заключается в использовании дополнительных подслоев-фильтров в каждом слое RNN.

Первым фильтром является фильтр забывания (Forget Gate), значение данного слоя определяет «степень отбрасывания» [0; 1] для каждого из элементов вектора состояния предыдущей ячейки C_{t-1} — это история болезни или дневник тренировок пациента за последние дни (долгосрочная память: «пациент всегда с трудом сжимает безымянный палец», «вчера у него была судорога»):

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f).$$

Например, если пациент проходит реабилитацию после инсульта. Месяц назад у него был спазм (сильное перенапряжение) кисти. Но за последнюю неделю спазмов не было. В нейронной сети собраны данные о текущем движении (пальцы расслаблены, x_t) и предыдущем состояние (тоже расслабленное, h_{t-1}). Фильтр забывания (f_t) решает: «Данные о том предыдущем спазме из «Истории болезни» (C_{t-1}) больше не нужны для прогноза текущего движения». Вектор f_t будет близок к 0 для тех элементов памяти, где хранилась информация о том старом спазме (система забывает это), и близок к 1 для информации о том, что пациент сегодня уже делал 10 сгибаний.

Затем следует входной фильтр (Input Gate), значение данного слоя характеризует «степень изменения» для каждого из элементов C_{t-1}.

$$i_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f). \quad (1)$$

Если пациент резко сжимает кулак (сенсоры показывают пиковое усилие). Это новое событие x_t очень важно. Далее фильтр определяет «Резкое сжатие», x_t сильно отличается от того, что было полсекунды назад (h_{t-1}). Система дает сигнал, о том, что это нужно запомнить. Результатом будет вектор i_t близкий к 1 для параметров, описывающих это резкое движение. Сеть решает, что это событие значимо того, чтобы обновить «Историю болезни» (C_t).

Далее вычисляется вектор-кандидат $\tilde{C}_t$, черновик записи в историю болезни, хранящий элементы для обновления C_{t-1}.

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c). \quad (2)$$

В ИПАК зафиксированы конкретные цифры: «Указательный палец: усилие 10 Н, скорость сжатия 50°/с». Работа фильтра: сырые цифры преобразовываются в формат, который можно будет хранить в «Истории болезни» (C_t). Функция tanh просто приводит их к диапазону (от –1 до 1), чтобы они хорошо смешивались со старыми данными. Создается вектор $\tilde{C}_t$, содержащий обработанную информацию о новом движении.

После происходит вычисления вектора состояний текущей ячейки (с учетом степеней отбрасывания и изменения).

$$C_t = f_t \circ C_{t-1} + i_t \circ \tilde{C}_t, \quad (3)$$

где ∘ – произведение Адамара (покомпонентное произведение). Комбинируются старые знания и новое событие. Например, просматриваем старую «История болезни» (C_{t-1}) и умножаем на фильтр забывания (f_t). Берется «Черновик» нового резкого сжатия ($\tilde{C}$) и умножается на фильтр важности (i_t). Остаются только те цифры, которые действительно важны. Складываем то, что осталось от старого, с новым, получаем результат в «Историю болезни» (C_t) запись: «Сегодня, в 10:05:23, было аномально резкое сжатие указательного пальца».

Для получения выходных данных слоя к полученному ранее дополнительно применяются фильтры сигмоиды и гиперболического тангенса.

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o), \quad (4)$$

$$h_t = o_t \circ \tanh(C_t). \quad (5)$$

Например, необходимо решить, включать ли дополнительный датчик в ИПАКе при работе реабилитационной перчатки, чтобы помочь разжать пальцы, или подождать.

Фильтр (o_t) оценивает ситуацию: «Пациент только что резко сжал кулак. Сейчас, скорее всего, ему будет трудно разжать пальцы. В текущей «Истории болезни» (C_t) есть подтверждение, что раньше после таких сжатий была судорога».

Далее «читаем» свежую историю болезни (C_t), пропускаем ее через tanh, и умножаем на решение фильтра (o_t). Получаем результат на выходе (h_t) получается команда: «Включить помощь на 50% мощности на разжимание». Это и есть предсказание сети, которое перчатка выполнит в следующее мгновение.

RNN с применением блоков LSTM позволяют проводить прогнозирование временных рядов с минимизацией влияния проблемы «затухающего градиента» [Рап23, Бур24].

Концептуальная модель интеллектуального программно-аппаратного комплекса

Для сервис-ориентированной архитектуры будет использован набор бизнес методов, методов процесса, организационных методов, методов управления и технических методов для создания гибкой среды, методы отправки, последовательности обмена сообщениями, перечень принимаемых сообщений.

При построении концептуальных положений об управлении процессом восстановления с использованием ИПАК (с учетом оценки состояния пациента) будут применены модели и методы инженерии знаний. Они необходимы для формализации ограничений, связанных с состоянием пациента, и рекомендаций по процедуре. Для выявления скрытых закономерностей в данных предполагается использовать методы Data Mining, а для построения прогнозов – нейросетевые и нечеткие модели машинного обучения [Kul20].

Для наглядного представления состава, функций и взаимосвязей компонентов ИПАК построение его концептуальной модели выполнено с использованием методологии IDEF0 (рис. 3) [Чум24, Bus24, Ope17, Бур24].

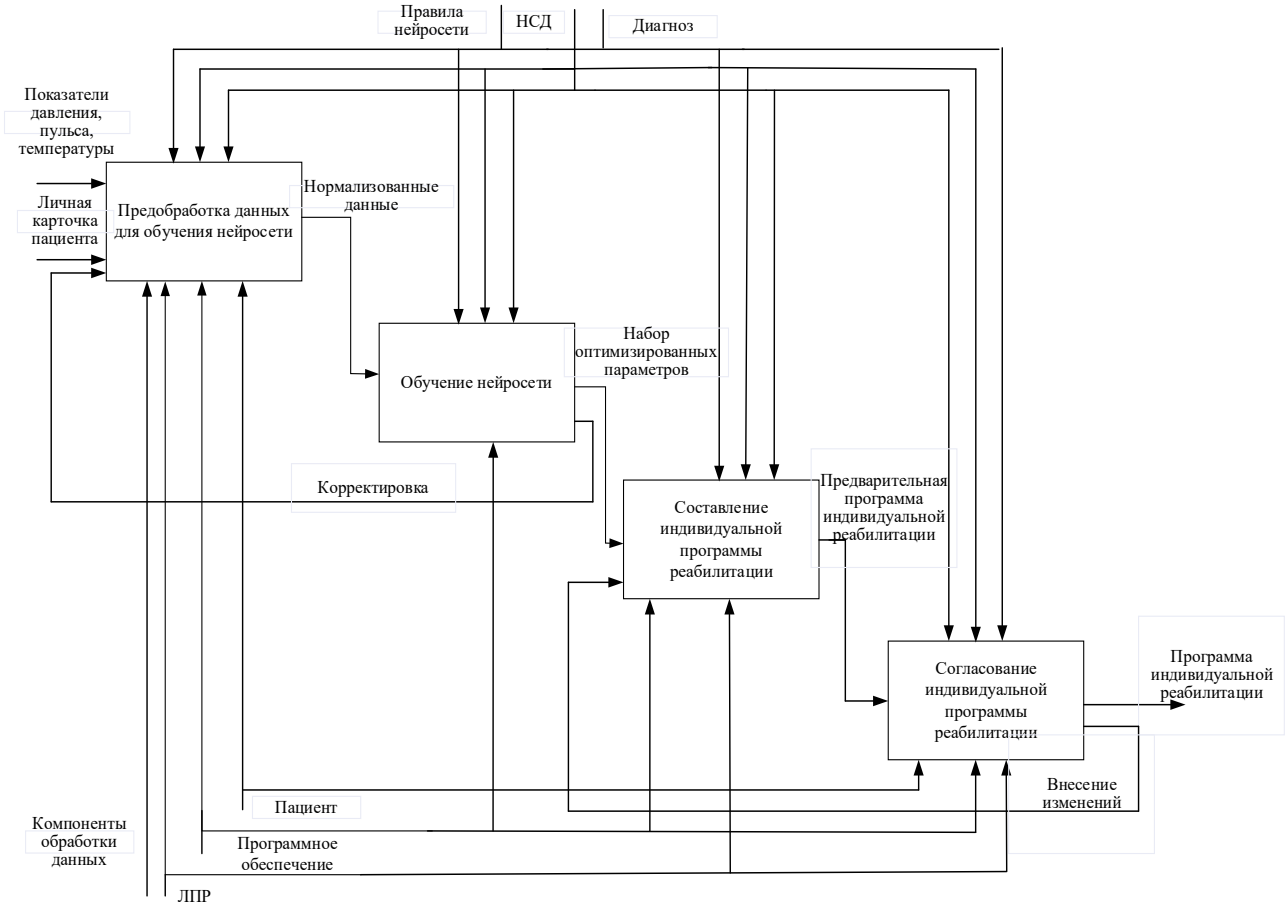

Рис. 3 Фрагмент концептуальной модели ИПАК

ИПАК состоит из модуля предобработки данных обучения нейросети и формирования и согласования индивидуальной программы реабилитации. После обучения нейросети, производится корректировка, после согласования программы вносятся изменения [Бог25, Шир25, Род25].

ИПАК представляет собой сложную иерархическую систему, включающую аппаратный уровень сбора данных (сенсоры, исполнительные механизмы) и программный уровень обработки информации и принятия решений, что требует управление функциями и компонентами устройства (рис. 4) [Кор24, Зин24].

Разрабатываемый комплекс представляет собой интеграцию аппаратных средств и программного обеспечения, обеспечивающих замкнутый цикл управления реабилитацией. В его составе можно выделить следующие основные подсистемы:

Подсистема сбора диагностической информации. Аппаратную основу подсистемы составляют сенсорные датчики, включая сенсоры давления/температуры, электромиографические (ЭМГ) датчики для измерения активности мышц, а также инерциальные датчики (акселерометры/гироскопы) для отслеживания кинематики движений. Функционально данная подсистема обеспечивает непрерывный мониторинг состояния пациента, фиксируя как физиологические параметры (температура, мышечная активность), так и биомеханические показатели (амплитуда движений суставов).

Подсистема исполнительных механизмов (актуации). Включает электрические или пневматические приводы (актуаторы), обеспечивающие внешнее усилие для сгибания/разгибания пальцев. Основная функция подсистемы — реализация силовой обратной связи, позволяющей корректировать движения пациента или обеспечивать пассивную разработку суставов по заданной программе.

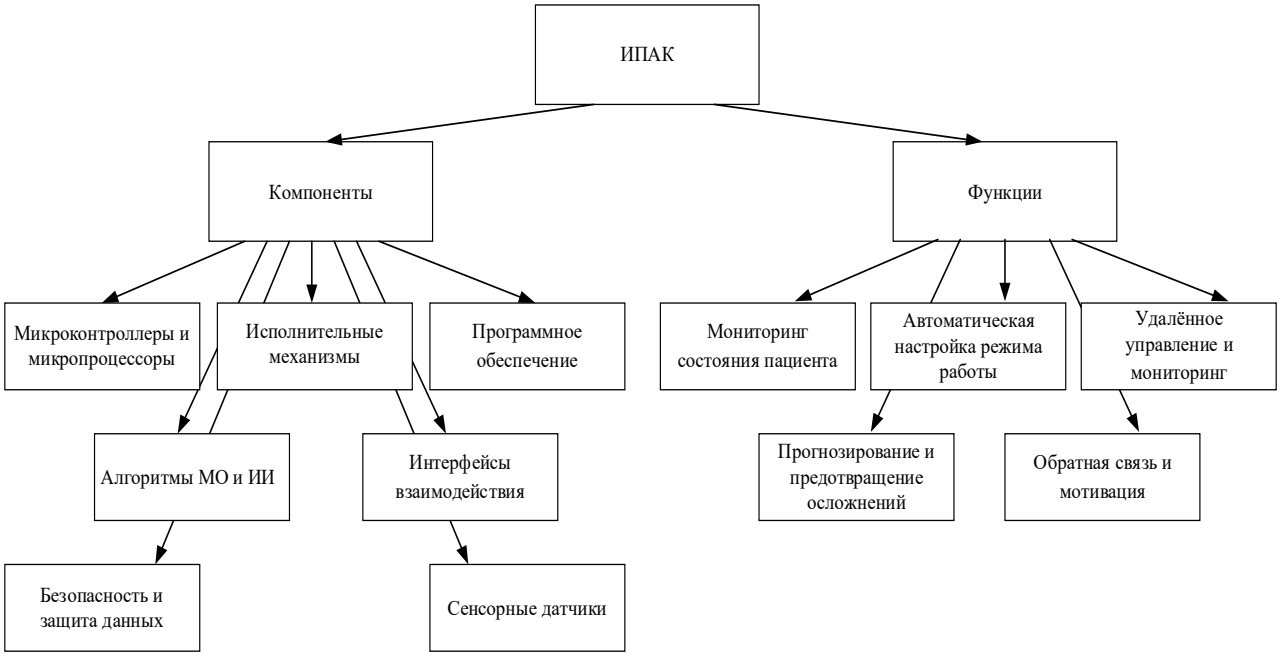

Рис. 4 Фрагмент структуры ИПАК

Вычислительное ядро и подсистема управления. Представлено микроконтроллерами и микропроцессорами, на которых реализованы алгоритмы обработки сигналов с датчиков и управления актуаторами. Данная подсистема отвечает за автоматическую настройку режима работы в реальном времени: на основе поступающих данных о мышечном усилии и угле сгибания она адаптирует интенсивность и длительность упражнений индивидуально для пациента.

Программное обеспечение и подсистема интеллектуального анализа. Включает операционную систему, драйверы и специализированное ПО, в которое интегрированы алгоритмы машинного обучения. Функционально эта подсистема решает задачи прогнозирования и предотвращения осложнений, выявляя на основе накопленных данных (в том числе данных других пациентов) ранние признаки ухудшения состояния или риска судорог, а также предоставляет рекомендации по коррекции программы.

Коммуникационная подсистема и интерфейсы взаимодействия. Обеспечивает передачу данных по беспроводным каналам связи и включает графические интерфейсы (мобильные приложения, веб-порталы). Это позволяет реализовать удаленный мониторинг и управление со стороны врача, а также предоставляет пациенту инструменты обратной связи и мотивации (визуализация прогресса, игровые элементы).

Предполагаемые преимущества разрабатываемой интеллектуальной системы управления реабилитационной перчаткой

Внедрение предлагаемых алгоритмов машинного обучения и архитектуры ИПАК, по сравнению с традиционными подходами к реабилитации, позволяет достичь следующих результатов:

1. Повышение точности и эффективности лечебного процесса. В отличие от стандартных протоколов с фиксированной нагрузкой, предлагаемая система обеспечивает формирование персонализированных программ в реальном времени. Быстрое реагирование на изменения состояния пациента (например, появление признаков мышечного утомления или спазма по данным ЭМГ-датчиков) позволяет своевременно снижать нагрузку, предотвращая переутомление и повышая результативность тренировки [Шап23, Зин23].

2. Повышение удобства и автономности пациента. Автоматизация процесса управления снижает необходимость постоянного вмешательства медицинского персонала во время сеанса. За счет интуитивно понятного интерфейса и обратной связи пациент получает возможность самостоятельно контролировать ход выполнения упражнений в рамках утвержденной программы, что способствует его психологическому комфорту и вовлеченности в процесс восстановления.

4. Оптимизация временных и материальных ресурсов медицинского учреждения. Снижение потребности в личном присутствии врача во время каждого сеанса (переход к асинхронному мониторингу через личный кабинет) позволяет специалисту охватить большее количество пациентов. Кроме того, интеллектуальный учет фактического использования перчатки (количество циклов сжатия/разжатия) позволяет оптимизировать график технического обслуживания и замены расходных материалов, избегая как преждевременной замены, так и работы на изношенном оборудовании.

5. Улучшение качества жизни и сокращение сроков восстановления. Комплексное применение вышеуказанных факторов (оптимальная нагрузка, комфорт, непрерывность занятий) создает условия для более быстрого восстановления двигательных функций верхних конечностей, что напрямую влияет на возвращение пациента к повседневной активности и снижение общего срока реабилитации.

Заключение

В ходе исследования предложена концепция построения интеллектуального программно-аппаратного комплекса (ИПАК) для управления реабилитационной перчаткой, функционирующего на принципах киберфизических систем. Основным результатом является разработка архитектуры комплекса, центральным элементом которой выступает блок прогнозирования и принятия решений на основе рекуррентной нейронной сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM). Выбор данной архитектуры обоснован необходимостью обработки многомерных временных рядов физиологических сигналов (электромиография, кинематика движений) и адаптивной коррекции реабилитационных программ в темпе, близком к реальному времени.

1. Проведен анализ предметной области и существующих аналогов реабилитационных перчаток, позволивший сформулировать требования к разрабатываемому ИПАК, включая необходимость персонализации программ и учета мультимодальных данных.

2. Детализирован алгоритм работы слоя LSTM применительно к задаче прогнозирования состояния пациента. Приведено описание математического аппарата фильтров забывания, входа и выхода, а также механизма обновления состояния ячейки памяти, позволяющего минимизировать влияние проблемы затухающего градиента при работе с долговременными зависимостями в данных.

3. Выполнено функциональное моделирование комплекса с использованием методологии IDEF0, что позволило формализовать процессы сбора, предобработки, анализа данных и формирования управляющих воздействий.

Таким образом, разработанные модельные, алгоритмические и архитектурные решения создают основу для создания киберфизической системы восстановительной медицины, обеспечивающей высокую степень адаптивности реабилитационного процесса к индивидуальным особенностям пациента. Предложенный подход интегрирует технологии интернета вещей, мультимодального анализа данных и машинного обучения, что соответствует современным тенденциям развития цифрового здравоохранения.

Благодарности и поддержка

Исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания для высших учебных заведений № FRRR-2026-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

[Air16] Airò Farulla G., Russo L., et al. Vision-Based pose estimation for robot-mediated hand telerehabilitation // Sensors. 2016, vol. 16. P. 208. DOI: 10.3390/s16020208.

Airò Farulla G., Russo L., et al. Vision-Based pose estimation for robot-mediated hand telerehabilitation // Sensors. 2016, vol. 16. P. 208. DOI: 10.3390/s16020208.

[Bus24] Bushuev S. Application of AI for monitoring and optimizing IT infrastructure: economic prospects for implementing predictive analytics in enterprise operations // Int. J. of Humanities and Natural Sciences. 2024. No. 8-3(95). P. 125-129. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-8-3-125-129.

Bushuev S. Application of AI for monitoring and optimizing IT infrastructure: economic prospects for implementing predictive analytics in enterprise operations // Int. J. of Humanities and Natural Sciences. 2024. No. 8-3(95). P. 125-129. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-8-3-125-129.

[Cor20] Cordella F., Scotto Di Luzio F., et al. Hand motion analysis during robot-aided rehabilitation in chronic stroke // J. Biol. Regul. Homeost. Agents. 2020, vol. 34, p. 45-52.

Cordella F., Scotto Di Luzio F., et al. Hand motion analysis during robot-aided rehabilitation in chronic stroke // J. Biol. Regul. Homeost. Agents. 2020, vol. 34, p. 45-52.

[Dar16] Darwish A. "The Impact of Implantable Sensors in Medical Applications" // Austin Journal of Biosensors & Bioelectronics, vol. 2, no. 1, p. 1016, 2016.

Darwish A. “The Impact of Implantable Sensors in Medical Applications” // Austin Journal of Biosensors & Bioelectronics, vol. 2, no. 1, p. 1016, 2016.

[Gao25] Gaoyong Lu, Yang Ou, et al. A Survey of Deep Learning for Time Series Forecasting: Theories, Datasets, and State-of-the-Art Techniques // Computers, Materials and Continua, Vol. 85 (2) 2025. P. 2403-2441. DOI: 10.32604/cmc.2025.068024.

Gaoyong Lu, Yang Ou, et al. A Survey of Deep Learning for Time Series Forecasting: Theories, Datasets, and State-of-the-Art Techniques // Computers, Materials and Continua, Vol. 85 (2) 2025. P. 2403-2441. DOI: 10.32604/cmc.2025.068024.

[Kel60] Kelley H. J. Gradient theory of optimal flight paths // ARS Journal. 1960. Vol. 30. No. 10. pp. 947-954.

H. J. Kelley. Gradient Theory of Optimal Flight Paths. ARS Journal. 1960. Vol. 30. No. 10. pp. 947-954.

[Kul20] Kulikov G. G., et al. Formal method of structural-logical identification of functional model of subject area by polycubic data matrix // Acta Polytech. Hungarica. 2020. 17(8), 41-59. DOI: 10.12700/APH.17.8.2020.8.4. EDN: SBYOBP.

Kulikov G. G., et al. Formal method of structural-logical identification of functional model of subject area by polycubic data matrix // Acta Polytech. Hungarica. 2020. 17(8), 41-59. DOI: 10.12700/APH.17.8.2020.8.4. EDN: SBYOBP.

[Van24] Vanoglio F., Comini L., et al. A sensor-based upper limb treatment in hemiplegic patients: results from a randomized pilot study // Sensors 2024. 24. P. 2574. DOI: 10.3390/s24082574. EDN: CSQMHV.

Vanoglio F., Comini L., et al. A sensor-based upper limb treatment in hemiplegic patients: results from a randomized pilot study // Sensors 2024. 24. P. 2574. DOI: 10.3390/s24082574. EDN: CSQMHV

[Бог25] Богданов М. Р., Насыров Р. В., Шахмаметова Г. Р. Персональные профили пациентов с бронхолегочными заболеваниями // СИИТ. 2025. Т. 7, № 2(21). С. 177-188. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no2-p177. EDN: NPYVKX.

Bogdanov M. R., Nasyrov R. V., Shakhmametova G. R. Personal profiles of patients with bronchopulmonary diseases // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 2 (21). P. 177-188. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no2-p177. EDN: NPYVKX.

[Бур24] Буркин А. А., Марьин Н. Е., Дорошин К. М. Создание программного обеспечения с нейронной сетью для перчатки-тренажера // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст. 7-й Всеросс. науч. конф., Курск, 21-22 марта 2024 г. Курск, 2024. С. 37-43. EDN: YABVBC.

Burkin A. A., Maryin N. E., Doroshin K. M. Creation of software with a neural network for a glove-simulator//Youth and science: a step towards success: Sat. scientific. Art. 7th All-Russian. scientific. conf., Kursk, March 21-22, 2024 Kursk, 2024. S. 37-43. EDN: YABVBC. (In Russian).

[Бур25] Буркин А. А., Родионова Л. Е. и др. Разработка алгоритма предобработки и фильтрации мультимодальных биометрических данных для программно-аппаратного комплекса с интеллектуальным управлением // Вестник УГАТУ. 2025. Т. 29, № 4(110). С. 65-71. DOI: 10.54708/19926502_2025_29411065. EDN: GLQLCY.

Burkin A. A., Rodionova L. E., et al. Development of an algorithm for preprocessing and filtering multimodal biometric data for a software and hardware complex with intelligent control // Vestnik UGATU. 2025. V. 29, No. 4 (110). P. 65-71. DOI: 10.54708/19926502_2025_29411065. EDN: GLQLCY. (In Russian).

[Вят19] Вяткин В. В., Дроздов Д. Н., Голуб Ю. А. Теории киберфизических систем // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XXIII Междунар. науч.-практ. конф., СПб., 2019. С. 98-112. EDN: SORNXS.

Vyatkin V.V. et al. The concept of cyberphysical engineering as a way to apply the theory of cyberphysical systems/-Systems analysis in design and management. 2019. Vol. 1. (XXIII). p. 99-112. EDN: SORNXS. (In Russian).

[Жиг23] Жиганов В., Иванов Ю. С., Грабарь Д. М. Исследование нейросетевых алгоритмов прогнозирования движений человека на базе LSTM и трансформеров // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2023. Т. 514, № 2. С. 364-374. DOI: 10.31857/S2686954323601689.

Zhiganov V., Ivanov Yu. S., Grabar D. M. Research of neural network algorithms for predicting human movements based on LSTM and transformers // Reports of the Russian Academy of Sciences. Mathematics, computer science, management processes. 2023. Т. 514, № 2, pp. 364-374. DOI: 10.31857/S2686954323601689. (In Russian).

[Зин23] Зиновьев М. С., Нургаянова О. С. Оценка индивидуального риска развития сахарного диабета второго типа и возможных осложнений // СИИТ. 2023. Т. 5, № 4(13). С. 101-110. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p101. EDN: HIIXFH.

Zinoviev M. S., Nurgayanova O. S. Assessment of individual risk of developing type 2 diabetes mellitus and possible complications // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 4(13). P. 101-110. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p101. EDN: HIIXFH.

[Зин24] Зиновьев М. С., Нургаянова О. С. Прогнозирование вероятности развития диабетической ретинопатии у пациентов с сахарным диабетом: анализ методов машинного обучения // СИИТ. 2024. Т. 6, № 3(18). С. 95-101. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no3-p95. EDN: VLFFLP.

Zinoviev M. S., Nurgayanova O. S. Predicting the likelihood of developing diabetic retinopathy in patients with diabetes mellitus: analysis of machine learning methods // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 3(18). P. 95-101. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no3-p95. EDN: VLFFLP.

[Ирз26] Ирзаев Г. Х. Проблемы внедрения алгоритмов машинного обучения в интеллектуальные носимые медицинские устройства мониторинга // СИИТ. 2026. Т. 8, № 1(25). С. 19 31. EDN: MSNGAM.

Irzaev G. Kh. Challenges of implementing machine learning algorithms in intelligent wearable medical monitoring devices" // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 1(25), pp. 19 31. EDN: MSNGAM. (In Russian).

[Кае21] Каерова Е. В., Журавская Н. С. и др. Восстановление двигательной функции верхних конечностей после инсульта // Вестник восстановит. медицины. 2021. № 1. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-1-21-26. EDN: XZVGJU.

Kareova E. V., Zhuravskaya N. S., et al. Restoration of motor function of the upper extremities after a stroke // Bulletin of Restorative Medicine. 2021. No. 1. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-1-21-26. EDN: XZVGJU (In Russian).

[Кор24] Коровин Е. А., Чиглинцева С. А. и др. Медицинская рекомендательная система на основе автоматического извлечения знаний из текстов // СИИТ. 2024. Т. 6, № 4(19). С. 111-121. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p111. EDN: OTVTXR.

Korovin E. A., Chiglintseva S. A., et al. Medical recommender system based on automatic knowledge extraction from texts // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 4(19). P. 111-121. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p111. EDN: OTVTXR.

[Кос21] Костючек М. И., Макаренко А. В. Применение сверточных глубоких нейронных сетей для решения некоторых задач анализа траекторных данных // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 11. С. 1-25. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.11.15.

Kostyuchek M. I., Makarenko A. V. Application of convolutional deep neural networks to solve some problems of trajectory data analysis // Journal of Radio Electronics.2021. № 11. p. 1-25. DOI: 10.30898/1684-1719.2021.11.15. (In Russian).

[Мей22] Мейзер М. В., Северьянова Е. Д., Мокшин В. В. Пример прогнозирования временных рядов с помощью рекуррентной нейронной сети LSTM // Молодой ученый. 2022. № 9 (404). С. 13-15. EDN: HLXMXT

Meiser M. V., Severyanova E. D., Mokshin V. V. Time series prediction primer using a recurrent neural network LSTM // Young Scientist. 2022. № 9 (404). p. 13-15 EDN: HLXMXT (In Russian).

[Ore17] Орель П., Тозато А. Машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. ДМК Пресс. 2017. 470 с.

Orel P, Tozato A. Machine learning with Python. Guide for Data Scientists. 2017, DMK Press. 470 p. (In Russian).

[Oco22] Скрипачев В. О., Гуйда М. В. и др. Особенности работы сверточных нейронных сетей // Int. J. of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 12. С. 53-61. EDN: IIQDBG.

Skripachev V. O., Guida M. V. et al. Features of convolutional neural networks // Int. Journal of Open Information Technologies. 2022. Vol. 10, No. 12. S. 53-61 EDN: IIQDBG. (In Russian).

[Рап23] Рапаков Г. Г., Горбунов В. А и др. Исследование LSTM-нейросетевого подхода при моделировании временных рядов // Вестн. Череповецк. гос. ун-та. 2023. № 3 (114) С. 47-54. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-4.

Rapakov G. G., Gorbunov V. A. et al. Study of the LSTM-neural network approach in modeling time series // Bulletin of Cherepovetsk State Univ. 2023. No. 3 (114), P. 47-54. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-4. (In Russian).

[Род25] Родионова Л. Н., Можаев А. Ю. Интеллектуальные методы принятия решений в организации системы здравоохранения территории // СИИТ. 2025. Т. 7, № 1(20). С. 13-20. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no1-p13. EDN: WXTLEO.

Rodionova L. N., Mozhaev A. Yu. Intelligent methods of decision-making in organizing the territorial healthcare system // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 1(20). P. 13-20. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no1-p13. EDN: WXTLEO.

[Саз23] Сазонова Е. Ю., Сметанина О. Н. и др. Интеллектуальная СППР при управлении психофизическим состоянием человека // СИИТ. 2023. Т. 5, № 6(15). С. 38-49. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p38. EDN: JFLRCX.

Sazonova E. Yu., Smetanina O. N., et al. Intellectual SPPR in the management of the psychophysical state of a person // SIIT. 2023. T. 5, no. 6 (15). S. 38-49 DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p38. EDN: JFLRCX.

[Чум24] Чумарина Е. А., Мартынюк М. В. Моделирование бизнес-процессов при разработке программного обеспечения для радиопередатчика // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 4. С. 232-235. EDN: CWOSKV.

Chumarina E. A., Martynyuk M. V. Modeling of business processes in the development of software for a radio transmitter // Scient. and Techn. Bulletin of the Volga Region. 2024. No. 4, pp. 232-235. EDN: CWOSKV. (In Russian).

[Шап23] Шапошникова А. С., Богданов М. Р. Определение сердечного ритма плода по неинвазивному ЭКГ с применением различных фильтров // СИИТ. 2023. Т. 5, № 6(15). С. 32-37. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p32. EDN: WBBOVK.

Shaposhnikova A. S., Bogdanov M. R. Determination of fetal heart rate by non-invasive ECG using various filters // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 6(15). P. 32-37. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no5-p32. EDN: WBBOVK.

[Шир25] Ширинов Р. А., Гардашова Л. А., Богданова Д. Р. Краткий анализ методов Deep Learning для распознавания эмоционального состояния человека для принятия решений // СИИТ. 2025. Т. 7, № 2(21). С. 68-77. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no2-p68. EDN: DAWGEI.

Shirinov R. A., Gardashova L. A., Bogdanova D. R. Brief analysis of Deep Learning methods for recognizing the emotional state of a person for decision-making // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 2(21). P. 68-77. (In Russian). DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2025-no2-p68. EDN: DAWGEI.

ОБ АВТОРЕ | ABOUT THE AUTHOR

РОДИОНОВА Людмила Евгеньевна
Уфимский университет науки и технологий, Россия.
rodionovakf@yandex.ru ORCID: 0000-0003-4041-0365.
Каф. АСУ. Доцент. Дипл. специалист (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2006). Канд. техн. наук (там же, 2019). Иссл. в обл. проектирования программных аналитических комплексов.

RODIONOVA Lyudmila Evgenievna
Ufa University of Science and Technology, Russia.
rodionovakf@yandex.ru ORCID: 0000-0003-4041-0365.
ACS Dept. Assoc. Prof. Dipl. specialist (Ufa State Aviation Tech. Univ., 2006). Cand. Tech. Sci. (ibid, 2019). Research field: the design of program analytical complexes.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Концепция построения интеллектуального программно-аппаратного комплекса на основе LSTM для управления реабилитационной перчаткой.

Авторы: Родионова Л. Е.

Аннотация: Для решения проблем, связанных со здоровьем пациента, вызванных различными заболеваниями (инсульт с когнитивными нарушениями, церебральные травмы, травмы конечностей и др.), необходимо проводить реабилитацию, которая наряду с восстановлением работоспособности призвана снизить риск рецидива. Киберфизические системы, предназначенные для реабилитации, включают киберпространство, которое обеспечивает поддержку принятия решений для проведения процессов восстановительной и регенеративной медицины, и различные физические объекты. Примером комплекса восстановления специального назначения могут быть реабилитационные перчатки: Hand Tutor, Gloreha, Music Glove, Amadeo, Rehab-Robotics Handof Hope, Аника. Основными недостатками этих устройств являются то, что не все аналоги имеют индивидуальный подход к пациенту, отсутствует биорегламент для сравнения различных условий после тренировки, отсутствует автономное управление устройством и их дороговизна. В статье рассматривается подход к созданию киберфизической системы восстановительной медицины в виде интеллектуального программно-аппаратного комплекса (ИПАК), который позволит эффективно восстановить двигательную активность верхних конечностей человека с определенными дисфункциями, обеспечивая высокую степень адаптивности и индивидуализации реабилитационного процесса. Предлагаемые модели, методы и алгоритмы будут использоваться для управления физическим объектом с помощью нейронной сети, что позволит устройству адаптироваться к конкретному пациенту и обеспечить наиболее оптимальные условия для его восстановления. В состав ИПАК войдет комплекс восстановления специального назначения с интеллектуальным управлением, камерами и микрофонами для сбора данных.

Ключевые слова: Интеллектуальный программно-аппаратный комплекс; машинное обучение; интеллектуальные информационные системы управления; технологии искусственного интеллекта; повышение квалификации; цифровые технологии.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 15 июля 2025 г.

Title: The concept of building an intelligent hardware and software system based on LSTM for controlling a rehabilitation glove.

Authors: Rodionova L. E.

Abstract: To address patient health issues caused by various diseases (e.g., stroke with cognitive impairment, brain injury, limb injuries, etc.), rehabilitation is necessary. This rehabilitation, along with restoring functional capacity, aims to reduce the risk of relapse. Cyber-physical systems designed for rehabilitation include cyberspace, which provides decision support for restorative and regenerative medicine processes, and various physical objects. Examples of specialized rehabilitation systems include rehabilitation gloves: Hand Tutor, Gloreha, Music Glove, Amadeo, Rehab-Robotics Hand of Hope, and Anika. The main disadvantages of these devices are that not all similar devices offer an individualized approach to the patient, the lack of bioregulations for comparing different conditions after training, the lack of autonomous control of the device, and their high cost. This article examines an approach to creating a cyber-physical system for restorative medicine in the form of an intelligent hardware-software complex (HSSC) that will effectively restore motor activity in the upper limbs of patients with specific dysfunctions, ensuring a high degree of adaptability and individualization of the rehabilitation process. The proposed models, methods, and algorithms will be used to control the physical object using a neural network, allowing the device to adapt to a specific patient and provide the most optimal conditions for their recovery. The HSSC will include a special-purpose rehabilitation system with intelligent controls, cameras, and microphones for data collection.

Key words: Intelligent software and hardware complex; machine learning; intelligent control information systems; artificial intelligence technologies; reinforcement training; digital technologies.

Language: Russian.

The editors received the article on 15 July 2025.