

УДК 004.89

doi: 10.15622/rcai.2025.083

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПАТТЕРН ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ КОМАНДЫ¹

В.В. Грибова (*gribova@iacp.dvo.ru*)

Е.А. Шалфеева (*shalf@dvo.ru*)

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток

Одним из ключевых направлений оптимизации реабилитационного процесса является внедрение интеллектуальных компьютерных систем, способных обеспечивать поддержку принятия клинических решений на основе комплексного анализа медицинских данных. Использование онтологического инжиниринга и методов логического вывода на основе формализованных знаний создают основу для агрегирования экспертных и нормативных знаний и применения методов объяснимого искусственного интеллекта. Целью исследования является разработка онтологического паттерна для создания интеллектуальных компьютерных помощников в сфере реабилитации, способных к анализу клинических документов и медицинских знаний. Разработанный онтологический паттерн включает структуру электронной медицинской карты с информацией о пациенте; онтологии знаний для клинических задач; специализированные решатели; медицинский терминологический словарь реабилитологов; компоненты графического пользовательского интерфейса (GUI-компоненты); инструментарий для наполнения и развития знаний. Построение систем поддержки принятия решений с помощью паттерна состоит в наполнении баз знаний и их интеграции со специализированными решателями и GUI-компонентами. Такие системы призваны оказывать эффективную помощь в решении актуальных проблем современной реабилитологии от диагностики функциональных нарушений до планирования лечебных программ.

Ключевые слова: онтологический паттерн, цели реабилитации, МКФ-коды, план реабилитационных мероприятий.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-11-20021).

Введение

Современная система здравоохранения сталкивается с растущей необходимостью повышения эффективности реабилитационных мероприятий, что обусловлено увеличением числа пациентов с хроническими заболеваниями, последствиями травм и возрастными нарушениями. Одним из ключевых направлений оптимизации реабилитационного процесса является внедрение интеллектуальных компьютерных систем, способных не только автоматизировать рутинные задачи, но и обеспечивать поддержку принятия клинических решений (прежде всего, диагностики, планирования и контроля реабилитационных вмешательств) на основе комплексного анализа медицинских данных. Однако применение новейших методов искусственного интеллекта, в частности нейросетевых технологий, в медицинской реабилитации остаётся ограниченным в силу ряда факторов. Во-первых, для их эффективного функционирования требуются обширные массивы обучающих данных, которые зачастую отсутствуют или недостаточно формализованы. Во-вторых, критически важным аспектом является обеспечение доверия со стороны медицинских специалистов, что предполагает необходимость объяснимости результатов, выдаваемых системами поддержки принятия решений (СППР). В этой связи перспективным направлением представляется использование онтологических паттернов [Ghosh et al., 2021], [Боровикова, 2017] и методов логического вывода на основе формализованных знаний, которые позволяют закладывать в СППР свойства прозрачности, согласованности и интеграции с другими эффективными технологиями поиска решений. Онтологический подход обеспечивает унификацию клинических данных, нормативных документов и экспертных знаний, что создаёт основу для применения методов объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ).

Целью данного исследования является разработка онтологического паттерна для создания интеллектуальных помощников и СППР в сфере реабилитации, способных агрегировать экспертные и нормативные знания.

1. Материалы

Для систематизации существенных понятий предметной области и установления взаимосвязей между ними требуется анализ клинических рекомендаций, методов принятия решений и практик реабилитационного ведения пациентов [Николаев и др., 2024]. В рамках исследования были выбран раздел медицины «травматология» и отобраны нозологии, характеризующиеся высокой распространённостью и наличием регламентированных клинических рекомендаций (КР), включая: переломы проксимального отдела бедренной кости, переломы диафиза и дистальных отделов бедренной кости (за исключением проксимальных), перелом шейки

бедра, повреждения связочного аппарата коленного сустава, переломы и вывихи грудного, поясничного и крестцового отделов позвоночника [Дубров и др. 2021], [Клинические, 2024].

Дополнительно рассмотрены варианты оперативных вмешательств, в частности гемиартропластика тазобедренного сустава [Ямщиков и др., 2024], [Дубров и др., 2021], а также ограниченный датасет, содержащий клинические описания пациентов и индивидуальные планы реабилитации.

В ходе анализа выявлены задачи, требующие интеллектуальной поддержки:

- Формирование кодов Международной классификации функционирования (МКФ) как структурных компонентов комплексного диагноза, отражающего не только нозологию, но и уровень функциональных нарушений [Ivanova et al., 2022].
- Установление целей и задач реабилитации на основе интеграции клинических данных, стандартов лечения и индивидуальных особенностей пациента.
- Подбор оптимальных методик и инструментов реабилитации с учётом доказательной базы и ресурсных ограничений.

Интеграция поддержки разных задач основана на аккумуляции всех значимых данных и принятых предварительных и окончательных решений в едином структурированном документе – электронной медицинской карте (ЭМК).

Полученные результаты позволяют определить направления расширения разработанной ранее онтологии предметной области, интегрированной в платформу MedPortal IACPaaS [Gribova et al., 2023], за счёт включения модулей, ответственных за планирование реабилитационных мероприятий. Это предполагает также разработку специализированных онтологических решателей, способных осуществлять логический вывод на основе структурированных клинических знаний и формализованных нормативных документов. Реализация данного подхода призвана обеспечить повышение эффективности поддержки принятия решений в клинической практике реабилитологии.

2. Методы

Для создания систем поддержки принятия решений, способных к непрерывному совершенствованию знаний в процессе эксплуатации при сохранении прозрачности и верифицируемости, нами применяется онтологический подход. Его преимущества заключаются в: обеспечении структурной согласованности знаний; поддержке логического вывода; возможности развития системы экспертами предметной области.

Для генерации множества специализированных СППР, решающих актуальные задачи медицинских учреждений (в частности, для реабилитационных команд), нами разработана концепция **онтологических медицинских паттернов**. Каждый паттерн включает:

- Унифицированную структуру информации о пациенте – ЭМК или реабилитационную карту.
- Предметно-ориентированные онтологии знаний (формализующие структуру знаний о связях понятий для решаемых задач, сопровождаемую онтологическими соглашениями об их интерпретации).
- Специализированные решатели (алгоритмы логического вывода) и GUI-компонент.
- Медицинский терминологический словарь.
- Инструментарий для наполнения и развития знаний.

Структура информации о пациенте – ЭМК обеспечивает: формирование и хранение реальных клинических случаев (создание формализованных датасетов), которая может выступать в дальнейшем для методов машинного обучения, формирования прецедентной базы, создания тестовых примеров для валидации СППР.

Предметно-ориентированная онтология знаний определяет: семантические связи между понятиями, структуру хранения знаний, правила и ограничения интерпретации данных.

Специализированные решатели – программные модули, реализующие формальные механизмы обработки знаний для решения конкретных классов медицинских задач в рамках СППР. Они обеспечивают прозрачность механизмов вывода, которые критически важны для клинического доверия и валидации решений.

Медицинский терминологический словарь в структуре онтологического паттерна представляет собой формализованную систему описания терминов, обеспечивающую семантическую согласованность данных и знаний.

Инструментарий для наполнения и развития знаний представляет собой комплекс программных средств, обеспечивающих формирование, непрерывное обновление и валидацию знаний в СППР. Он включает следующие ключевые компоненты: редакторы актуализации онтологий, редакторы знаний, управляемые онтологиями, для экспертного формирования баз знаний и средства коллективной работы экспертного сообщества, программные средства автоматического извлечения знаний из текстов клинических рекомендаций с использованием больших языковых моделей (LLM); для снижения трудоемкости создания интерфейсов паттерн дополняется средствами автоматической генерации пользовательских интерфейсов СППР на основе шаблонов (GUI-компонент).

Технологическим стеком реализации является платформа IACPaaS, обеспечивающая: повторное использование апробированных онтологий; интеграцию существующих решателей; применение готовых паттернов (например, для генерации МКФ-кодов реабилитационного диагноза).

3. Результаты

Структурно-содержательные характеристики элементов паттерна соответствуют задачам работы междисциплинарной команды реабилитологов, а именно: формирование комплексного МКФ-диагноза; целей и задач реабилитации; плана реабилитации как комплекса реабилитационных методик.

Структура информации о пациенте (ЭМК) основана на принципе детерминированного размещения информационных элементов в строго определенных структурных единицах документа (рис. 1). Такая организация обеспечивает однозначную локализацию данных для всех категорий пользователей, включая как людей, так и программных агентов, что гарантирует сохранение целостности информационных потоков при выполнении операций чтения и записи.

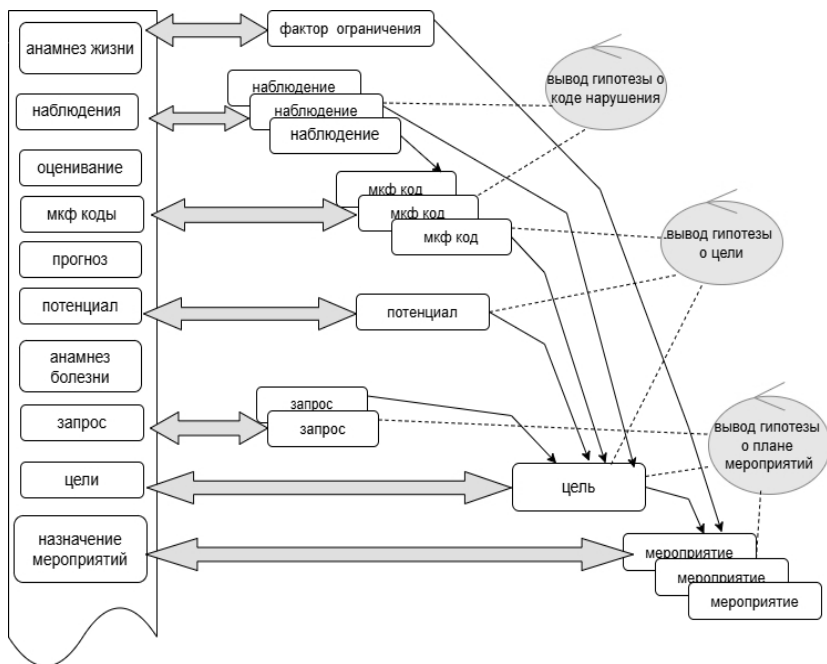


Рис. 1. Схема связи задач и документируемых сведений при реабилитации

Анализ порядка ведения пациентов, формирования документации и существующей взаимозависимости мнений и решений участников команды реабилитологов дал основание для определения *комплекта онтологических моделей*, достаточных для интеллектуальной поддержки их деятельности (вышеперечисленных трех важных этапов).

Онтология знаний о связях понятий для формирования полного МКФ-диагноза на основе тестов со шкалами и наблюдений определена ранее и прошла апробацию [Грибова и др., 2025].

Онтология знаний о связях понятий для формирования целей реабилитации после перенесенного заболевания или операции такова:

Заболевание | Проведенная операция ('set')

Цель на весь курс реабилитации ('set')

ЗАВИСИТ ОТ

АЛЬТЕРНАТИВА

- Факт ('list')

Тип факта

(МКФкод,

запрос,

реабилитационный потенциал,

Элемент анамнеза)

АЛЬТЕРНАТИВА

Элемент-Характеристика факта ('set')

Значение ('set')

(Качественное,

Числовое или Балл)

+ реабилитационный потенциал,

- Комплекс ('set') {

Факт ('list')

Тип факта}

совместимость элементов.

ДОСТИГАЕТСЯ ЧЕРЕЗ

Цель краткосрочная ('set')

Онтология знаний о связях понятий для формирования плана реабилитационных мероприятий состоит из двух частей: для конструирования индивидуального плана и для описания условий применения типовых планов.

На онтологическом портале эксплуатируется онтология для описания зависимости лечебно-восстановительного мероприятия (с подробностями: средство, режим | способ применения) от условий: особенности организма, результаты осмотров, проведенные вмешательства-операции, цели.

Онтология представления знаний о типичных планах реабилитационных мероприятий имеет следующий вид:

План мероприятий

мероприятие | методика ('set')

средство | аппарат, инструмент

режим | способ применения аппарата, инструмента

упражнение | процедура

ПРИВЯЗАН К

Цель краткосрочная ('set')

ПРОТИВОПОКАЗАНИЕ

- Факт ('list')

Тип факта

(реабилитационный потенциал,

элемент анамнеза)

Онтологические соглашения для интерпретации знаний и фактов.

Правила интерпретации структурированных знаний и данных отражают соглашения экспертов предметной области, документируются (записываются явно) и являются одной из опор программирования решателей.

В рамках исследования были зафиксированы:

- правило о выдвижении гипотезы о *Цели на весь курс реабилитации* (из базы знаний), если факты в реабилитационной карте (истории болезни) «согласуются» со знаниями, т.е. соответствуют фактам (одному или Комплексу Фактов), связанным в базе знаний с этой целью связью «ЗАВИСИТ ОТ»; Комплекс условий считается выполненным, если указаны (и совпадают) все перечисленные в нем факты;
- правило о выражении *Цели на весь курс реабилитации* через ограниченный набор *Целей краткосрочных*;
- правило о выдвижении гипотезы о необходимости назначения *Плана мероприятий*, если в базе знаний он хранится в связке «ПРИВЯЗАН К» с *Целью краткосрочной*, которая зафиксирована в реабилитационной карте.

Специализированные решатели соответствуют выделенными этапами процесса и реализованы на базе формализованных онтологических моделей, включая механизмы обработки онтологических соглашений:

- решатель выдачи гипотез-кодов МКФ (по наблюдениям и шкалам);
- решатель выдачи гипотез о целях и задачах в соответствии с правилом выдвижения гипотезы о *Цели на весь курс реабилитации*;
- решатель выдачи гипотез о плане реабилитации или его компонентах в соответствии с правилом выдвижения гипотезы о необходимости назначения *Плана мероприятий*, и правилом учета ограничений по возможности назначения пациенту активности / мероприятия.

Обработка имеет несколько этапов: поиск в описании текущей ситуации имен фактов для подтверждения условий для гипотезы, поиск в описании текущей ситуации значений фактов для подтверждения варианта

либо опровержения (попутно производится вывод в отчет-объяснение каждого подтверждаемого условия проверяемого процесса и всех фактов, соответствующих подтверждаемому условию). Решатели проходят апробацию на медицинском портале IACPaas.

Медицинский терминологический словарь. Интегрируемость с клиническими документами, другими программными средствами и источниками знаний (экспертных, нормативных, прецедентных) стимулирует к развитию возможностей словаря, входящего в онтологический базис. Разработанный ранее коллективом терминологический словарь дополнен дополнительными описаниями терминов:

- Словарь-тезаурус наблюдений с синонимией расширен ссылками на коды-идентификаторы из перечней Минздрава и международных номенклатур клинических терминов.
- Словарь-тезаурус активностей (мероприятий, воздействий) расширен иерархическим представлением мероприятий от общих методик до конкретных упражнений, используемых аппаратов, процедурных аспектов, режимов применения.

Инструментарий для наполнения и развития знаний являются инструменты платформы IACPaas, а также набор специализированных инструментов медицинского портала, включая средства генерации компонентов адаптивного пользовательского интерфейса на основе шаблонов (GUI-компонентов).

Обновленный паттерн включает:

- структуру ЭМК с информацией о пациенте;
- онтологии знаний для трех подзадач (структуры для хранения знаний и соглашения экспертов о правилах их интерпретации для вывода гипотезы о решении);
- три специализированных решателя (алгоритмы логического вывода);
- медицинский терминологический словарь реабилитологов;
- повторно используемый (адаптируемый к терминологии и профилю знаний) GUI-компонент для координации и распределения совместной работы (по разным направлениям) на «вкладках» единого «диалогового пространства»;
- инструментарий для наполнения и развития знаний, инструментарий для оценивания качества баз знаний (по контрольным прецедентам).

Построение версии СППВР на основе паттерна состоит в наполнении баз знаний и ее интеграции со специализированными решателями и GUI-компонентами. ЭМК с информацией о пациенте, базы знаний и информация на «вкладках» GUI выражаются в терминах единого медицинского словаря реабилитологов.

Заключение

Обсуждение представленного исследования позволяет выделить ключевые достижения и перспективные направления развития предложенного подхода к созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений в области медицинской реабилитации. Разработанный авторами онтологический паттерн демонстрирует эффективное решение актуальных проблем современной реабилитологии, связанных с необходимостью персонализации лечебных программ, обеспечением прозрачности и обоснованности выдаваемых рекомендаций, а также интеграцией разнородных источников медицинских знаний. Важным преимуществом исследования является его комплексный характер, охватывающий весь цикл реабилитационного процесса – от первичной диагностики функциональных нарушений до планирования индивидуальных вмешательств.

Практическая значимость работы заключается в апробировании предложенного решения на конкретных нозологиях, таких как переломы проксимального отдела бедренной кости и повреждения позвоночника, а также учетом реальных клинических сценариев, включая послеоперационную реабилитацию после эндопротезирования. Техническая реализация на платформе IACPaaS обеспечивает важные преимущества с точки зрения масштабируемости решения и возможности его адаптации к различным медицинским учреждениям. Особого внимания заслуживает разработка специализированных решателей для конкретных задач реабилитолога, что существенно повышает практическую ценность системы.

Перспективы дальнейшего развития исследования видятся в нескольких направлениях. Во-первых, требуется расширение базы прецедентов для контроля качества баз знаний. Во-вторых, представляет интерес интеграция предложенного подхода с большими языковыми моделями для обработки неструктурированных клинических записей. В-третьих, необходима комплексная клиническая валидация системы, включающая контролируемые испытания ее эффективности, оценку влияния на рабочую нагрузку специалистов и анализ улучшения клинических исходов пациентов. Следует отметить и существующие практические ограничения, прежде всего, связанные с необходимостью значительных усилий по интеграции с существующими электронными системами здравоохранения. Дальнейшее развитие системы должно быть направлено на повышение степени автоматизации обработки знаний по диагностике, назначению персонализированных реабилитационных мероприятий и прогнозу реабилитационного потенциала.

Список литературы

- [Боровикова и др., 2017] Боровикова О.И., Загоруйко Г.Б., Загоруйко Ю.А., Шестаков В.К. Использование паттернов для разработки онтологии информационно-аналитического интернет-ресурса «поддержка принятия решений» // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2017. – № 3(7). – С. 171-183.
- [Грибова и др., 2025] Грибова В.В. [и др.]. Комплекс онтологий как модель системы интеллектуальной поддержки в реабилитации пациентов, перенесших инсульт // Программные системы: теория и приложения. – 2025. – Т. 16, № 1(64). – С. 61-82. – doi: 10.25209/2079-3316-2025-16-1-61-82.
- [Дубров и др., 2021] Дубров В.Э. [и др.]. Переломы проксимального отдела бедренной кости. Клиника, диагностика и лечение (Клинические рекомендации, в сокращении) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2021. – Т. 28, № 4. – С. 49-89. – doi: 10.17816/vto100763.
- [Клинические, 2024] Клинические рекомендации. переломы бедренной кости (кроме проксимального отдела бедренной кости). – 2024. – URL: https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-perelomy-bedrennoi-kosti-krome-proksimalnogo-otdela-bedrennoi_1.
- [Николаев и др., 2024] Николаев Н.С., Преображенская Е.В., Петрова Р.В., Андреева В.Э. Полный цикл медицинской реабилитации пациентов после травматолого-ортопедических операций на примере профильного федерального центра // Национальное здравоохранение. – 2024. – Т. 4, № 4. – С. 23-36. – doi: 10.47093/2713-069X.2023.4.4.23-36.
- [Ямщиков и др., 2024] Ямщиков О.Н., Емельянов С.А., Чумаков Р.В. Гемартропластика тазобедренного сустава биполярным эндопротезом при несостоятельном остеосинтезе шейки бедренной кости // Уральский медицинский журнал. – 2024. – Т. 23(1). – С. 112-120. – doi 10.52420/2071-5943-2024-23-1-112-120.
- [Ghosh et al., 2021] El Ghosh M. et al. Modeling logical definitions in biomedical ontologies by reusing ontology design patterns // ICBO'21: International Conference on Biomedical Ontologies. – 2021. – Vol. 3073. – P. 56-62.
- [Gribova et al., 2023] Gribova V.V., Moskalenko P.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. The IACPaaS Platform for Developing Systems Based on Ontologies: A Decade of Use // Scientific and Technical Information Processing. – 2023. – Vol. 50(5). – P. 406-413.
- [Ivanova et al., 2022] Ivanova G.E., Bodrova R.A., Builova T.V., Karimova G.M., Komarnitsky V.S. Algorithm for formulation a rehabilitation diagnosis using the international classification of functioning in a patient with a stroke: clinical case // Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. – 2022. – Vol. 4(1). – P. 37-54. – doi: 10.36425/rehab96918.