

УДК 004.89:[616.83+331.582.2]

10.25209/2079-3316-2025-16-1-61-82



Комплекс онтологий как модель системы интеллектуальной поддержки в реабилитации пациентов, перенесших инсульт

Валерия Викторовна Грибова¹, Валентин Борисович Шуматов², Сергей Васильевич Лебедев³, Елена Арефьевна Шалфеева⁴, Евгений Юрьевич Шестопапов⁵, Дмитрий Борисович Окунь^{6,8}, Роман Игоревич Ковалев⁷, Екатерина Ивановна Шепета⁸, Леонид Александрович Федорищев⁹, Александр Яковлевич Лифшиц¹⁰

1, 4, 6, 7, 9, 10 Институт автоматизи и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия
2, 3, 5, 8 ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Владивосток, Россия

^{6,8}okdm@iacp.dvo.ru

Аннотация. Главным стимулом для внедрения компьютерных технологий в систему здравоохранения является стремление к значительному улучшению качества жизни людей. Это включает повышение качества и скорости лечения, уменьшение затрат на медицинские услуги и приобретение эффективных средств для соблюдения нормативных требований.

На современном этапе развития реабилитологии становится очевидной необходимость активного внедрения систем поддержки принятия врачебных решений и технологий искусственного интеллекта. Эти технологии способны существенно улучшить понимание клинических аспектов нарушений, уровня активности и участия пациентов, перенесших инсульт, в процессе реабилитации. Ключевым компонентом успешного применения этих систем является значимость формализации знаний и создание онтологий, которые обеспечивают структурированное и связанное представление медицинской информации, определяют правила их интерпретации.

В данной работе представлен комплекс взаимосвязанных онтологических моделей, лежащих в основе разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки решений в реабилитации пациентов, перенесших инсульт. Для реализации комплекса онтологий используется облачная платформа IACPaas. Онтологии и генерируемые на их основе целевые ресурсы выступают базовыми элементами разрабатываемой системы, которая в ближайшее время будет предоставлена специалистам здравоохранения для решения актуальных вопросов реабилитации. Предусмотрены механизмы планового расширения и уточнения базы знаний, что позволит системе легко адаптироваться к новым результатам медицинских исследований и оптимизировать работу в целом.

Ключевые слова и фразы: система поддержки принятия врачебных решений, интеллектуальный сервис, реабилитация, инсульт, база знаний, онтологический подход, инженерия знаний

Благодарности: Проект реализуется коллективом сотрудников ФГБОУ ВО ТГМУ МЗ РФ и ФГБУН ИАПУ ДВО РАН в рамках субсидии реализации программы стратегического академического лидерства "Приоритет-2030" и при поддержке Минобрнауки России № FFW-2021-0004

Для цитирования: Грибова В.В., Шуматов В.Б., Лебедев С.В., Шалфеева Е.А., Шестопапов Е.Ю., Окунь Д.Б., Ковалев Р.И., Шепета Е.И., Федорищев Л.А., Лифшиц А.Я. *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. https://psta.psisras.ru/read/psta2025_1_61-82.pdf



Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР) используются во многих сферах человеческой деятельности. Их популярность неуклонно возрастает. Это связано с массовой компьютеризацией разных сфер нашей жизни: политика, соцзащита, здравоохранение, образование и прочее. Всё больше людей вовлекаются в процесс принятия важных решений, одновременно растёт ответственность за их последствия. При этом многие области интересов и деятельности (здравоохранение, образование, юриспруденция, культура и др.) слабо формализуемы по своей сути [1–7]. Накопленные в этих областях знания и данные требуют специальных средств для их представления, организации доступа к ним и использования. Владение этими средствами, основанными на знаниях, необходимо для принятия грамотных, взвешенных решений. Поэтому так важны интеллектуальные системы, способные оказать помощь лицам, принимающим решения, в особенности в предметных областях (ПрОбл) с высокой ответственностью за их последствия.

В последние годы развитие медицинской реабилитации привлекает значительное внимание, акцентируясь на важности персонализации и раннего начала этого процесса. Эти принципы отражают глобальные тенденции в предоставлении реабилитационных услуг в различных национальных системах здравоохранения. Они заложены в современные стандарты медицинской реабилитации; активно применяются клинические рекомендации [8, 9], ориентированные на пациента и нацеленные на улучшение результатов реабилитации [10].

Раннее начало реабилитационных мероприятий способствует быстрому и полному восстановлению функций организма. Персонализация процесса реабилитации основана на учете индивидуальных особенностей пациента, обеспечивая максимально эффективное восстановление. Персонализированные программы лечения включают формулирование диагноза, постановку целей и планирование вмешательств, уделяют внимание улучшению взаимодействия между пациентом и терапевтом, – всё это играет ключевую роль в достижении реабилитационных целей [11].

Сообщество разработчиков интеллектуальных систем разрабатывает и апробирует модели и методы для создания систем поддержки реабилитации пациентов, способствующих персонализации данного процесса. Для формирования обоснованных рекомендаций используются знания, соответствующие реальным знаниям специалистов в этой области. В качестве эффективного инструмента для представления сложных знаний и имитации человеческих рассуждений зарекомендовали себя онтологические модели. Такие модели включают в себя правила структурированной организации информации, а также её интерпретации и логического вывода [12].

Цель работы – представить комплекс взаимосвязанных онтологических моделей, формирующих основу для разработки интеллектуальной системы поддержки персонализированного принятия решений для реабилитации пациентов, перенесших инсульт.

Материалы и методы

Для разработки комплекса онтологических моделей, формирующих основу систем поддержки принятия врачебных решений в реабилитации пациентов, перенесших инсульт, нужно выполнение задач:

- (1) Проанализировать предметную область, выделенные понятия и сгруппировать их по типам.
- (2) Создать комплекс онтологий для представления знаний для реабилитации пациентов, перенесших инсульт.

Анализ предметной области персонализированной реабилитации пациентов после инсульта проводился непосредственно с экспертами, обладающими практическим опытом реабилитации и применения клинических рекомендаций и стандартов медицинской реабилитации, и стал продолжением работы коллектива по структуризации и формализации знаний о патологиях системы кровообращения.

Создание комплекса онтологических моделей представляет собой один из наиболее интеллектуально сложных и ответственных этапов проектирования систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР).

Разработка комплекса онтологий велась на облачной платформе *IACPaaSSM*, реализующей двухуровневый подход для представления и формирования данных и знаний, где уровень, определяющий смысл понятий ПрОбл и их зависимостей, определяет форму изложения информации на уровне данных и знаний. Поскольку при таком подходе онтологическая модель явно отделена от генерируемых на ее основе ресурсов (коллекций данных, знаний, документов), обеспечивается независимое развитие важных компонентов системы (рисунок 1) [13], в частности, это позволяет модифицировать знания, не внося изменений в программный код.

Предлагаемый онтологический подход в сочетании с облачностью платформы *IACPaaS* дают возможность независимого участия в разработке группам специалистов разных компетенций, включая экспертов, предоставляющих и оценивающих знания ПрОбл. Подход обеспечивает связывание, согласованность и повторную используемость онтологических компонентов [13].

Для формального представления онтологических моделей используется язык описания метаинформации *IACPaaS* – орграфовой модели связей понятий [14, 15]. Язык предоставляет средства спецификации моделей

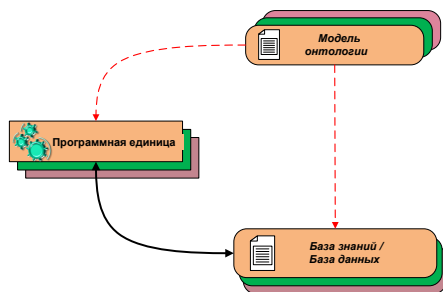


Рисунок 1. Онтологический двухуровневый подход к формированию данных и знаний: отделение предметных знаний от знаний о методах решения задач [13]

онтологий в форме размеченных иерархических орграфов: разметка определяет правила формирования орграфов целевой информации. Формируемая на основе моделей онтологий семантическая информация (например, знания ПрОбл) представляется такого же вида иерархическими орграфами.

Состав комплекса онтологических моделей, достаточного для формирования компонентов систем поддержки решений по реабилитации пациентов, определяется следующими факторами. Прежде всего, необходимо обеспечить возможность структуризации и формализации всей необходимой информации о тактике ведения пациентов, перенесших инсульт, а также о ключевых характеристиках используемых для этого методов исследования. Соответственно, должна быть обеспечена возможность поддержки внесения такой информации о пациенте, сохранения в виде информационных ресурсов и формирования отчетных документов.

Для обеспеченности данных процессов необходимы справочники и «терминологические» базы: уникальные (словарь жалоб пациента, шаблоны осмотра специалистов мультидисциплинарной реабилитационной командой (МДРК), протоколы заключений осмотров и др.) и универсальные (справочник Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ)).

Ресурсы для поддержки внесения клинических данных должны содержать описание шкал и методик осмотра, обследования и опроса пациентов. Ресурсы для документирования и хранения клинических данных должны отражать медицинскую реабилитационную карту. Ресурсы для сотрудничества реабилитационной бригады должны отражать участников и роли МДРК в данном процессе. Ресурсы для интеллектуальной поддержки должны содержать знания ПрОбл.

Выбор и применение облачной платформы IASPaas для создания СППВР дает возможность независимого участия разным группам специалистов как практического, так и научного звеньев здравоохранения. Для создания ресурсов перечисленных типов участвуют эксперты, инженеры, научные кадры.

Результаты

Совместно со специалистами практического здравоохранения проведен системный анализ, формализация и структуризация реабилитационного процесса больных, перенесших инсульт. Неоднократно пересмотрены и уточнены наблюдения, их характеристики с возможными значениями, важные как для описания патологических процессов, так и самой процедуры реабилитации при данной патологии.

Помимо предметно-ориентированных структур для знаний, документов и номенклатуры терминов, применяемых специалистами, были определены структуры для декларативных ресурсов-компонентов, обеспечивающих гибкость и масштабируемость программной «части» (компонентов) СППВР, в частности пользовательского интерфейса (GUI).

В результате был сформирован комплекс моделей онтологий и онтологических баз знаний, данных и терминов, необходимый для интеллектуальной поддержки принятия врачебных решений при реабилитации пациентов, перенесших инсульт. Полный перечень семантических моделей представлен на рисунке 2 (стрелками схематично указаны их связи с ресурсами других уровней).

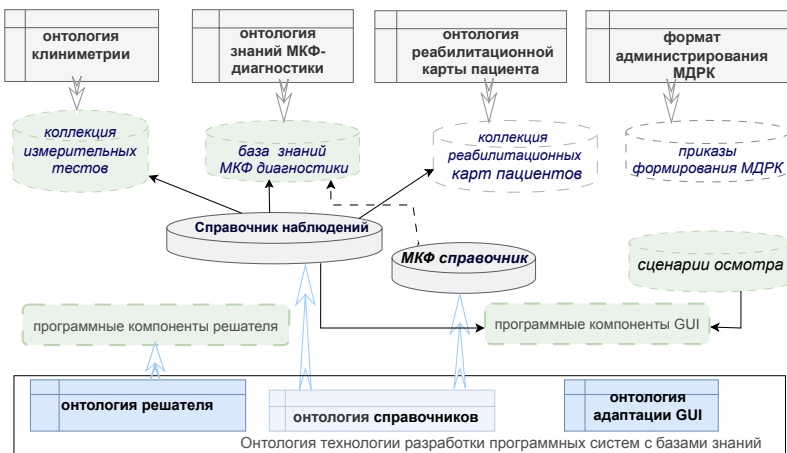
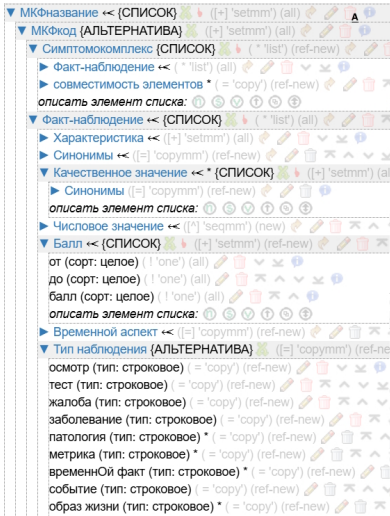


РИСУНОК 2. Схема комплекса онтологий

Одним из главных этапов реабилитации пациента является постановка реабилитационного диагноза с использованием кодировки по доменам Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ). В отличие от Международной классификации болезней и Международной классификации нарушений (версия 1980 г.), которые сосредоточены на последствиях болезней с этиологической точки зрения, МКФ предлагает классификацию компонентов здоровья и оценивает функционирование и ограничения жизнедеятельности человека, используя биопсихосоциальный подход. Основная цель МКФ – интеграция данных о состоянии здоровья и динамике заболевания с учетом биологических, социальных и личностных аспектов. Реабилитационный диагноз представляет собой подробное описание нарушений структур и функций органов и систем, возникших у пациента после инсульта. Эти нарушения приводят к ограничению активности и участия, а также учитывают факторы окружающей среды, которые могут как облегчать, так и затруднять выполнение пациентом повседневных задач и функций [16].

Сформирован ресурс – онтология знаний МКФ-диагностики (рисунок 3а), отражающий структуру знаний, позволяющих выдвигать гипотезы



(а) фрагмент онтологии



(б) фрагмент формируемого ресурса

Рисунок 3. Фрагменты онтологии МКФ-диагностики и формируемого на его основе ресурса

о наличии определенного нарушения, кодируемого классификатором МКФ в рамках интеллектуальной поддержки МДРК. Он представляет набор отношений, достаточных для связывания элементов клинической картины пациента с соответствующим кодом МКФ с определителем степени тяжести.

Ресурс группирует знания под узлами-вершинами: *B, D, S, E* – МКФ домены: функции организма, структуры организма, активность и участие, факторы окружающей среды. Информация соответствует элементам структуры:

МКФназвание – код и имя МКФ классификатора;

МКФкод – диагностируемый код МКФ классификатора с соответствующим определителем;

Симптомокомплекс – предназначен для группировки клинически значимых наблюдений, включая результаты тестов.

Факт-наблюдение – единица, отражающая клинически значимые данные пациента. Каждое наблюдение можно выразить как в простом варианте его описания, так и используя множество элементов или характеристик. Результаты проведения тестирования возможно указать как по итоговому балу, так и по результатам отдельных вопросов.

Тип наблюдения – представляет *принадлежность* к категории, такой как *метрика, наследственность, образ жизни, лабораторное исследование, инструментальное исследование, тест, осмотр, заболевание* и т.д.) для дифференцировки вводимых элементов;

Балл – условная единица, используемая для определения веса результатов тестирования;

Совместимость элементов – используется для определения полноты диагностируемых состояний через определение сочетаемости наблюдений. Используются следующие определения: *минимальное количество, любой, все*.

Знания о правилах кодирования нарушений организма пациента являются незаменимым ресурсом для поддержки принятых решений в работе МДРК при реабилитации после инсульта. На рисунке 3б представлен фрагмент базы знаний на основе предложенной структуры. Клинические данные, используемые в диагностике определенного кода МКФ формализованы и представлены в формате, привычном специалистам реабилитологам. Каждый тест/шкала имеет строгий порядок исследуемых параметров и данные об интерпретации полученных результатов.

Предусмотрены механизмы планового расширения и уточнения базы знаний. Специалисты этой компетенции и эксперты готовят обновление

знаний о диагностических методах и вносят их в независимые облачные ресурсы платформы IACPaasS. После оценивания и апробации знаний на контрольных тестовых случаях обновленные ресурсы заменяют ранее внедренные компоненты системы.

Сформирован ресурс – онтология клиниметрии – для правил формального описания шкал-тестов с интерпретацией (см. рисунок 4а).

Тест с интерпретацией (СПИСОК)

- Пункт (СПИСОК)
- Вопрос (сорт: строковое) << (| 'one') (all)
- Подобности (сорт: строковое) << (|) 'onemr
- Ответ << (^ 'seq') (new)
- Один вопрос из группы * (СПИСОК)
- Вопрос (сорт: строковое) << (| 'one') (all)
- Подобности (сорт: строковое) << (|) 'onen
- Ответ << (СПИСОК) (^ 'seq') (new)
- текст (сорт: строковое) (+ 'set') (all)
- балл (сорт: целое) (| 'one') (all)
- Подобности (сорт: строковое) << (|) 'onk
- описать элемент списка: (|) (|) (|) (|)
- Правило подсчета << (АЛЬТЕРНАТИВА)
- sum-mn (тип: строковое) * (= 'copy') (ref-ne
- sum (тип: строковое) * (= 'copy') (ref-new)
- max (тип: строковое) * (= 'copy') (ref-new)
- one (тип: строковое) * (= 'copy') (ref-new)
- one-mn (тип: строковое) * (= 'copy') (ref-ne
- especial (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new
- описать вариант альтернативы: (|) (|) (|) (|)
- описать элемент списка: (|) (|) (|) (|)
- Правило подсчета << (= 'copy') (ref-new)
- Интерпретация результата (СПИСОК)
- мин (сорт: вещественное) (| 'one') (all)
- макс (сорт: вещественное) (| 'one') (all)
- смысл (сорт: строковое) (| 'one') (all)
- описать элемент списка: (|) (|) (|) (|)
- описать элемент списка: (|) (|) (|) (|)

(а) фрагмент онтологии

Шкала комы FOUR [Тест с интерпретацией]

- Глазные реакции (E) [Пункт]
- 1 [Ответ]
- 2 [Ответ]
- 3 [Ответ]
- Глаза закрыты, открываются на громкий звук, но слюения нет [текст (сорт: строковое)]
- 2 [балл (сорт: целое)]
- 4 [Ответ]
- 5 [Ответ]
- Двигательные реакции (M) [Пункт]
- Стволовые рефлексы (B) [Пункт]
- Дыхательный паттерн (R) [Пункт]
- Правило подсчета
- 1 [Интерпретация результата]
- 2 [Интерпретация результата]
- 3 [Интерпретация результата]
- 4 [Интерпретация результата]
- 5 [Интерпретация результата]
- 6 [Интерпретация результата]
- 7 [Интерпретация результата]
- 8 [Интерпретация результата]
- Тест Френчай (выполнение пораженной рукой) [Тест с интерпретацией]
- Правило подсчета
- 1. Удержать линейку и с ее помощью начертить линию, держа карандаш в другой (непораженной) руке. [Пункт]
- 2. Взять в руку цилиндр диаметром 1,2 и длиной 5 см, поставленный вертикально на расстоянии 15–30 см от края стола, поднять на высоту

(б) фрагмент формируемого ресурса

РИСУНОК 4. Фрагменты онтологии МКФ-диагностики и формируемого на этой основе ресурса

Онтология отражает структуру, позволяющую представить тест со всеми возможными вопросами, ключами ответов и интерпретацией результатов. В процессе анализа структуры используемых тестов для диагностирования реабилитационных возможностей пациента были определены следующие ключевые вершины: *Пункт*, *Вопрос*, *Ответ*, *Правило подсчета*.

Кроме того, была выявлена когорта тестов, в которых используется группировка вопросов. Для таких случаев введено понятие *Один вопрос из группы*, которое позволяет определять свою пару *Вопрос – Ответ* и величину соответствующих ответу баллов.

Введено понятие *Подобности* для структурирования длинных текстов

вопросов. Вопрос получает расшифровку или уточнение, открывая возможность представления в текстовом варианте, привычном специалистам. При использовании наполненного теста ресурса баллы используются для дальнейшего расчета результатов теста на основе *Правила подсчета* (например, суммирования всех баллов).

Для поддержки внесения клинических данных процесса осмотра, обследования и опроса пациентов, сформирован справочник наблюдений (для реабилитации), см. рисунок 5. Была использована онтология справоч-

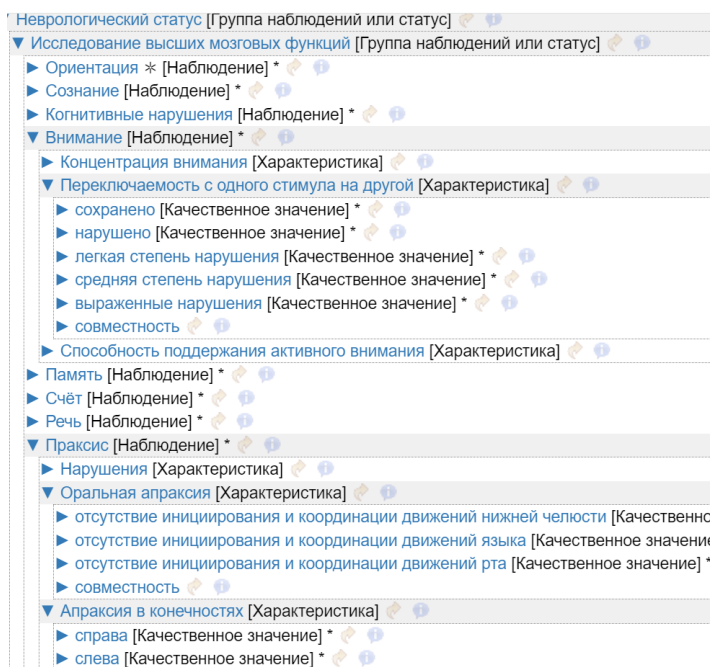


Рисунок 5. Фрагмент справочника наблюдений для реабилитации

ников, апробированная на медицинском портале платформы IASaaS. В нем группируются перечни Наблюдений разного типа. Онтология позволяет описать интересующее *Наблюдение* с использованием *простого* представления или с использованием описания данного наблюдения через множество *Характеристик*. Данный процесс регулируется через управляющий узел *Альтернатива типа наблюдений*. Данный узел в генерируемом целевом ресурсе позволяет выбрать только одно направление для описания наблюдения.

Кроме этого, структура позволяет вносить данные через описательный элемент *Отклонение*, через который сначала формируется вариант нормы или факт отклонения (*наличие отклонений или присутствие*), а только на следующем шаге идет генерация описания внутренней структуры признака. Данный комплексный процесс представления наблюдений в реабилитации, при предварительном тестировании, оправдал себя и является предпочтительным перед ранее используемой структурой простого и составного признака/наблюдения.

Для оптимизации обращения к кодам из GUI в процессе диагностики сформирован образ МКФ справочника-классификатора (по онтологии справочников). На рисунке 6 представлен фрагмент международного

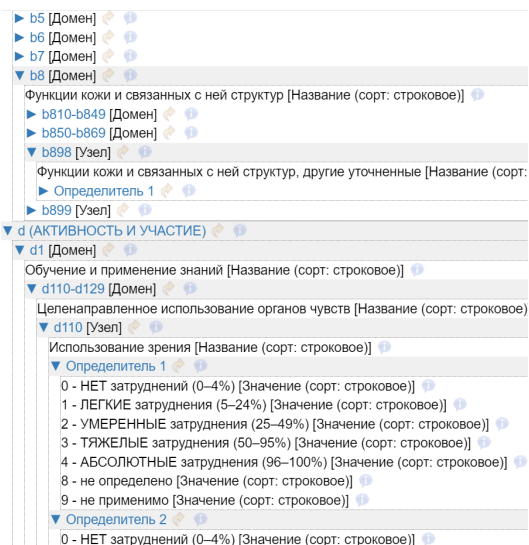


Рисунок 6. Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (фрагмент)

классификатора, он демонстрирует полное соответствие общепринятой структуре МКФ: определены все вершины, используемые в практической деятельности: *Функция организма, Домен, Узел, Определитель* и его значения.

Онтология реабилитационной медицинской карты построена таким образом, чтобы дать возможность клиническим специалистам внести все необходимые медицинские данные о пациенте, отразить динамичность вносимых данных. Структура медицинской карты позволяет каждому специалисту МДРК иметь свое пространство для проведения коллегиаль-

ных осмотров и ведения дневников ежедневных осмотров. Ввод данных в медицинскую карту осуществляется в формализованном виде: каждый раздел медицинской карты структурирован под соответствующий класс данных, используемых в медицинской практике.

Кроме этого, в медицинской карте предусмотрено пространство для внесения и хранения гипотез, генерируемых СППВР. На рисунке 7

А

Реабилитационная медицинская карта (история болезни) +

История болезни или наблюдений

- ▶ Сведения исследователя и организации <=< ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Паспортная часть <=< * ([=] 'copy') (new)
- ▶ Осмотры узких специалистов МДРК (СПИСОК) ([=] 'copy')
- ▶ Записи специалиста ([+] 'setlmm') (ref-new)
- ▶ Реабилитационная комиссия ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Диагноз <=< ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ дата обращения (сорт: дата и время) ([! 'one') (new)
- ▶ Эпикриз ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ История настоящего заболевания * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Жалобы * (СПИСОК) ([=] 'copy') (new)
- ▶ Жалобы при обращении (Прежде всего: признаки болезненного состояния. Кроме того, признаки, важные с точки зрения врача.)
- ▶ Наблюдение <=< ([! 'listmm') (ref-new)
- ▶ Объективное состояние <=< * (СПИСОК) ([=] 'copy') (new)
- ▶ Объективное состояние пациента в день обращения. (Заполняются важные с точки зрения врача наблюдения.)
- ▶ Общий осмотр ([=] 'copy') (new)
- ▶ Группа или система <=< ([+] 'setlmm') (ref-new)
- ▶ Исследования инструментальные * (СПИСОК) ([=] 'copy')
- ▶ Данные инструментальных исследований
- ▶ Вид исследования <=< ([+] 'setlmm') (all)
- ▶ Исследования лабораторные * (СПИСОК) ([=] 'copymm')
- ▶ Данные лабораторных исследований
- ▶ Вид исследования <=< ([+] 'setlmm') (all)
- ▶ Анамнез жизни * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Дополнительная информация ([=] 'copymm') (new)
- ▶ Предварительный диагноз ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Дневники (СПИСОК) ([=] 'copymm') (new)
- ▶ Номер записи (СПИСОК) ([! 'seqmm') (new)
- ▶ дата (сорт: дата и время) ([! 'onemmm') (all)
- ▶ Жалобы * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Объективное состояние <=< * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Сведения исследователя и организации <=< ([=] 'copy') (ref-new)
- ▶ Заключение (сорт: строковое) ([+] 'setlmm') (all)
- ▶ планируемое обследование (сорт: строковое) ([+] 'setlmm') (all)
- ▶ Синдромы и патосостояния * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Вычисляемые показатели * ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Прекращение наблюдения ([=] 'copymm') (ref-new)
- ▶ Лечение, назначенное врачом ([=] 'copymm') (new)
- ▶ Компьютерная диагностика ([=] 'copy') (ref-new)

Б

Осмотры узких специалистов МДРК

Логопед [Записи специалиста]

20.06.2024 [Дата осмотра специалистом]

Жалобы

- ▶ Нарушения глотания [Наблюдение]
- ▶ Нарушения речи [Наблюдение]
- ▶ Слюнотечение [Наблюдение]
- ▶ Шкала оценки дизартрии [Наблюдение]
- ▶ Нечеткость речи [Наблюдение]
- ▶ Боль в челюсти [Наблюдение]
- ▶ Сухость во рту [Наблюдение]
- ▶ Боль в челюсти [Наблюдение]
- ▶ Боль в челюсти [Наблюдение]
- ▶ Боль в челюсти [Наблюдение]
- ▶ Поперхивание [Наблюдение]

Логопедический статус [Статус специалиста]

Запросы на реабилитацию

Тесты и опросы

Краткая шкала оценки психического статуса (MMSE)

- ▶ Ориентация во времени [Пункт]
- ▶ 1 [Ответ]
- ▶ 3 [балл (сорт: целое)]
- ▶ Шкала Ходкинсона [Тест с интерпретацией]
- ▶ Итог теста
- ▶ 2 [итоговый балл (сорт: целое)]

МКФ-домены

Дневник

- ▶ 21.07.2024 [Дата осмотра специалистом]
- ▶ 22.07.2024 [Дата осмотра специалистом]
- ▶ 23.07.2024 [Дата осмотра специалистом]

Тесты и опросы

- ▶ Жалобы
- ▶ Логопедический статус [Статус специалиста]
- ▶ МКФ-домены
- ▶ 24.07.2024 [Дата осмотра специалистом]
- ▶ 25.07.2024 [Дата осмотра специалистом]

Врач ФРМ [Записи специалиста]

Объективное состояние *

Диагноз

Исследования инструментальные *

Жалобы *

Компьютерная диагностика

Логопед [Записи специалиста]

Врач ФРМ [Записи специалиста]

(а) Фрагмент онтологии

(б) Фрагмент формируемого ресурса

Рисунок 7. Фрагменты онтологии реабилитационной медицинской карты для ведения пациентов, находящихся на реабилитации и формируемого на этой основе ресурса

демонстрируется фрагмент онтологии для документирования клинических данных в виде медицинской реабилитационной карты. Совокупность заполненных медицинских карт формирует информационный ресурс – коллекцию реабилитационных медицинских карт пациента.

Для сотрудничества реабилитационной бригады предусмотрены сценарии осмотра пациентов и формирования реабилитационной карты, представляемые набором вкладок с определенными типами интерфейсных элементов. Ресурс для описания сценариев сотрудничающих *специалистов* должен отражать их роли в МДРК и в данном процессе. На рисунке 8 демонстрируется фрагмент универсальной онтологии, отвечающей за

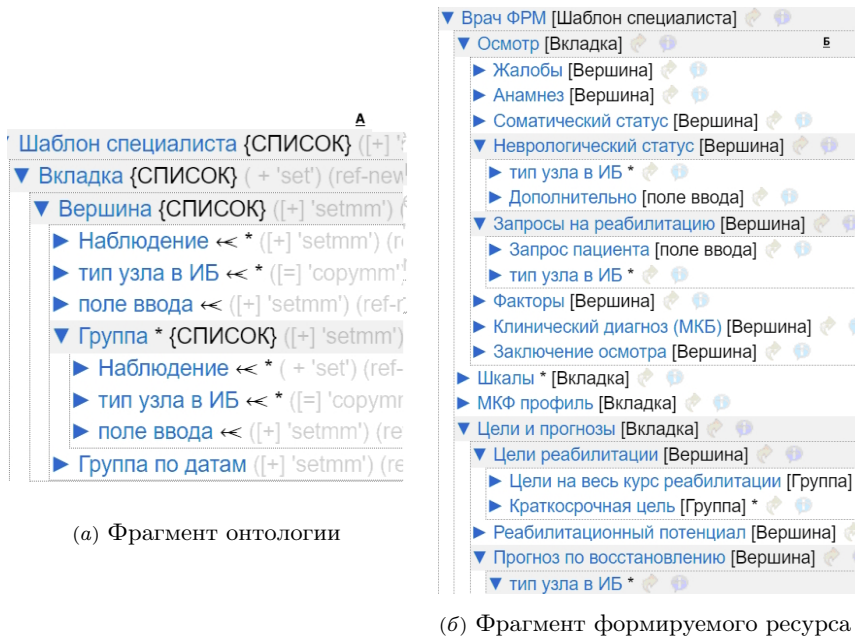


Рисунок 8. Фрагменты онтологии, отвечающей за управление вкладок и меню GUI и формируемого на его основе управляющего ресурса поддержки тактики ведения пациентов

управление вкладок и меню интерфейса – онтология адаптации GUI. Данная онтология формирует правила ввода данных (наблюдений разной сложности) в пользовательском интерфейсе через комплекс *Вкладок* с множеством элементов типа *Вершина*. Такая онтология апробирована и применяется для формирования структурированных *шаблонов* ввода информации разными *специалистами* команды. Онтология также определяет места на вкладках (вершины) для вывода отчетов. Данная

логика позволяет независимо от IT-специалистов формировать интерфейс для решения вопросов реабилитации пациентов конкретного класса, в частности, перенесших инсульт.

Для поддержки администрирования создана онтология администрирования МДРК (см. рисунок 9), задающая формат хранения формируемого

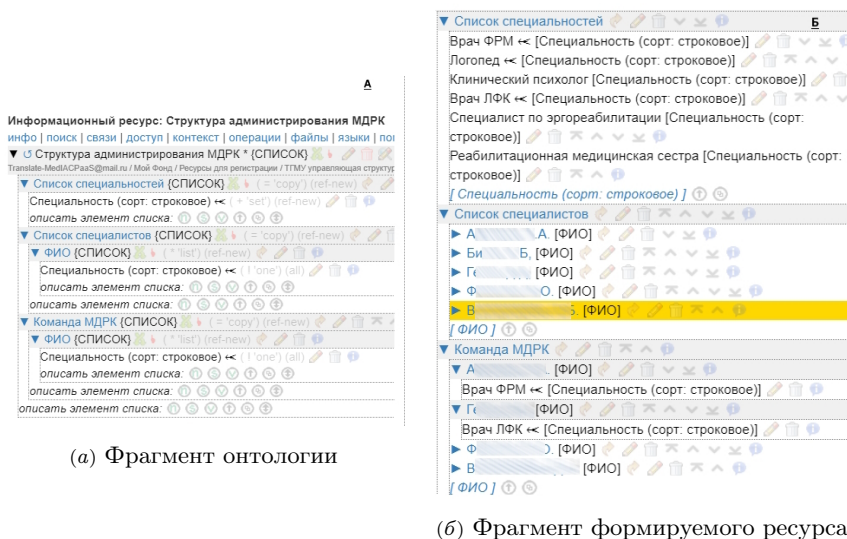


Рисунок 9. Фрагменты онтологии, отвечающей за формирование МДРК и формируемого на этой основе ресурса

списка участников процесса реабилитации с указанием медицинской специальности и принадлежностью команде МДРК. В данной структуре имеется 3 корневых понятия: *Список специальностей*, *Список специалистов* и *Команда МДРК*. *Список специальностей* - перечень специальностей. *Список специалистов* реализован как множество группировок *ФИО* и *Специальность*. Элемент *Команда МДРК* отвечает за формирование команд МДРК через множество пар *ФИО* и *Специальность*.

Онтология технологии IASaaS для разработки программных систем с базами знаний (как технологии искусственного интеллекта) включает онтологию решателя, онтологию адаптации GUI, инструментарий поддержки сборки программных и информационных компонентов в единую систему. Основа сборки – единый комплекс онтологий для всех формируемых и программно обрабатываемых ресурсов. Существующая технология и новый комплекс онтологий позволил реализовать новую версию СПВР для поддержки реабилитолога на первом этапе (см. рисунок 10).

The screenshot displays a medical software interface for patient management and rehabilitation. It is divided into several panels:

- Top Panel:** Shows the patient's name (ФИО В.В. (ф.ио_123/852)) and the doctor's name (Технологи лаб 35 (Врач ФРМ)).
- Left Panel (Anamnesis):** Lists various medical conditions and symptoms, such as "Жалоб не предъявляет", "Общая слабость", "Ограничение поворотов в кровати", "Ограничение ходьбы", "Ограничение ходьбы по неровной поверхности (на улице)", "Ограничение ходьбы по лестнице", and "Ограничение ходьбы на короткие расстояния".
- Center Panel (13.01.2025 Внесено):** Contains a list of rehabilitation goals and tasks, including "Цель на курс реабилитации" (самостоятельно пройти 10 метров используя ходунки без помощи ассистента) and "Задачи реабилитации" (сказать простые фразы, одеть рубашку, приготовить блюда, пациент сидит удерживая гравирующий градиент 90 градусов).
- Right Panel (Assessment):** Shows the results of a "Шкала реабилитационной маршрутизации (ШРМ)" and "Тестирование возможно". It includes a section for "Оценка нарушений жизнедеятельности" with radio button options for different levels of impairment.
- Bottom Left Panel (МКФ профиль):** Displays the Mini-Mental State Examination (MMSE) results for 13.01.2025, with a score of 8. It also includes fields for "Введите код МКФ" and "Комментарий".
- Bottom Right Panel (Summary Table):** Provides an "Объективизированная оценка состояния пациента по шкалам:" (Objective assessment of patient status by scales). The table is as follows:

Шкала	Результат расчета (баллов)	Заключение
Шкала реабилитационной маршрутизации (ШРМ)	5	Грубое нарушение процессов жизнедеятельности
Модифицированная шкала Рэнкин	3	Умеренное нарушение жизнедеятельности: требуется некоторая помощь, однако способен ходить без посторонней помощи.
Шкала тяжести инсульта Национального Института здоровья (NIHSS)	22	Крайне тяжелая степень

Рисунок 10. СПИВР для поддержки реабилитолога на первом этапе

Заключение

Представлен комплекс взаимосвязанных онтологических моделей, лежащих в основе разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для реабилитации пациентов, перенесших инсульт.

Разработка комплекса моделей базируется на двухуровневом подходе, где уровень онтологических моделей задает правила структурированного формирования и интерпретации целевой семантической информации (в частности, баз знаний). Для реализации комплекса онтологий используется облачная платформа IASPaas. Онтологии и генерируемые на их основе целевые ресурсы выступают базовыми элементами разрабатываемой СППР, которая в ближайшее время будет предоставлена специалистам здравоохранения для решения актуальных вопросов реабилитации. Целевые ресурсы (знания) не являются статичными элементами системы; предусмотрены механизмы свободного расширения базы знаний, что позволит системе легко адаптироваться к новым результатам медицинских исследований и оптимизировать работу в целом.

Следующий этап предусматривает расширение комплекса онтологических моделей для формализации и применения знаний, относящихся к оценке реабилитационного потенциала, прогнозированию восстановления и разработке персонализированных реабилитационных программ.

Учитывая, что онтологии отделены от целевых ресурсов – баз знаний, баз данных и справочников, они могут повторно использоваться для реализации других систем поддержки принятия решений в медицине (в том числе на других платформах). По запросу к администратору платформы IASPaas выдается доступ к ним на платформе. Возможен экспорт этих онтологий в формате json.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Соблюдение этических стандартов. Данный вид исследования не требует прохождения экспертизы локальным этическим комитетом.

Список использованных источников

- [1] Мальцева С. В. *Применение онтологических моделей для решения задач идентификации и мониторинга предметных областей* // Бизнес-информатика.– 2008.– № 3.– С. 18–24.   
- [2] Соловьев В. Д., Добров Б. В., Иванов В. В., Лукашевич Н. В. *Онтологии и тезаурусы*.– Казань-Москва: МАКС Пресс.– 2006.– 157 с.  
- [3] Ломов П. А. *Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний* // Онтология проектирования.– 2015.– Т. 5.– № 2.– С. 233–245.   
- [4] Плешкова А. Ю. *Онтологии в управлении образовательным процессом* // Онтология проектирования.– 2022.– Т. 12.– № 4.– С. 506–517.   
- [5] Лебедев С. В., Жукова Н. А. *Слияние медицинских данных на основе онтологий* // Онтология проектирования.– 2017.– Т. 7.– № 2.– С. 145–159.   
- [6] Волокитин Ю. И., Куприяновский В. П., Гринько О. В., Покусаев О. Н., Синягов С. А. *Проблемы цифровой экономики и формализованные онтологии* // International Journal of Open Information Technologies.– 2018.– Т. 6.– № 6.– С. 87–96.  
- [7] González C., Blobel B. G. M. E., Lopez D. M. *Ontology-based framework for electronic health records interoperability* // *User Centred Networked Health Care*, Proceedings of MIE 2011, Studies in Health Technology and Informatics.– vol. 169, eds. A. Moen et al.– IOS Press.– 2011.– ISBN 978-1-60750-805-2.– Pp. 694–698. 
- [8] *Приказ Минздрава РФ от 31 июля 2020 г. №788Н «Об утверждении порядка организации медицинской реабилитации взрослых»*.– 2021.  
- [9] Белкин А.А., Алашеев А.М., Белкин В.А., Белкина Ю.Б., Белова А.Н., Бельский Д.В., Бодрова Р.А., Брюсов Г.П., Варако Н.А., Вознюк И.А., Горбачев В.И., Гречко А.В., Гумарова Л.Ш., Даминов В.Д., Ершов В.И., Жигужевский Р.А., Заболотских И.Б., Зайцев О.С., Захаров В.О., Зинченко Ю.П., Иванова Г.Е., Кауркин С.Н., Князенко П.А., Ковязина М.С., Кондратьев А.Н., Кондратьева Е.А., Костенко Е.В., Кулакова А.А., Крылов В.В., Купрейчик В.Л., Лайшева О.А., Лебединский К.М., Левит А.Л., Лейдерман И.Н., Лубнин А.Ю., Лукоянова Е.А., Мальцева М.Н., Макарова М.Р., Мельникова Е.В., Митраков Н.Н., Мишина И.Е., Помешкина С.А., Петриков С.С., Петрова М.В., Пинчук Е.А., Пирадов М.А., Попугаев К.А., Полякова А.В., Погонченкова И.В., Проценко Д.Н., Расева Н.В., Рудник Е.Н., Руднов В.А., Рябинкина Ю.В., Савин И.А., Сафонова Т.Ю., Семенова Ж.Б., Скрипай Е.Ю., Солодов А.А., Суворов А.Ю., Супонева Н.А., Токарева Д.В., Уразов С.П., Усачев Д.Ю., Фадеева А.С., Хасанова Д.Р., Хасаншин В.Т., Царенко С.В., Чуприна С.Е., Шестопапов Е.Ю., Щеголев А.В., Щикота А.М., Энгаус Р.Е., Норвилл С.Н. *Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (РеабИТ). Методические*

- рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов // Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова.– 2022.– № 2.– С. 7–40. doi ✨ ↑62
- [10] O’Keeffe M., Cullinane P., Hurley J., Leahy I., Bunzli S., O’Sullivan P. B., O’Sullivan K. *What influences patient-therapist interactions in musculoskeletal physical therapy? Qualitative systematic review and meta-synthesis* // Physical Therapy.– 2016.– Vol. **96**.– No. 5.– Pp. 609–622. doi ↑62
- [11] Mead N., Bower P. *Patient-centredness: a conceptual framework and review of the empirical literature* // Social Science & Medicine.– 2000.– Vol. **51**.– No. 7.– Pp. 1087–1110. doi ↑62
- [12] Грибова В. В., Шалфеева Е. А. *Обеспечение жизнеспособности систем, основанных на знаниях* // Информационные технологии.– 2019.– Т. **25**.– № 12.– С. 738–746. doi ↑62
- [13] Грибова В. В., Кульчин Ю. Н., Никитин А. И., Тимченко В. А. *Ансамбль онтологических моделей для обеспечения интеллектуальной поддержки лазерных аддитивных технологических процессов* // Онтология проектирования.– 2024.– Т. **14**.– № 2.– С. 279–300. ✨ URL doi ↑63, 64
- [14] Gribova V. V., Kleshchev A. S., Moskalenko F. M., Timchenko V. A. *A two-level model of information units with complex structure that correspond to the questioning metaphor* // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics.– 2015.– Vol. **49**.– No. 5.– Pp. 172–181. doi ↑63
- [15] Gribova V. V., Kleshchev A. S., Moskalenko F. M., Timchenko V. A. *A model for generation of directed graphs of information by the directed graph of meta-information for a two-level model of information units with a complex structure* // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics.– 2015.– Vol. **49**.– No. 6.– Pp. 221–231. doi ↑63
- [16] Иванова Г.Е., Бодрова Р.А., Буйлова Т.В., Каримова Г.М., Комарницкий В.С. *Алгоритм формулирования реабилитационного диагноза с помощью Международной классификации функционирования пациенту, перенесшему инсульт: клинический случай* // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация.– 2022.– Т. **4**.– № 1.– С. 37–54. doi ↑66

Поступила в редакцию	28.11.2024;
одобрена после рецензирования	20.01.2025;
принята к публикации	21.02.2025;
опубликована онлайн	03.03.2025.

Рекомендовал к публикации

к.т.н. С. А. Амелкин

Информация об авторах:**Валерия Викторовна Грибова**

ИАПУ ДВО РАН, заместитель директора по научной работе, научный руководитель лаборатории интеллектуальных систем имени А.С. Клещева, д.т.н., чл.-корр. РАН. Научные интересы: онтологии и базы знаний, прикладные и проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях, управление базами знаний

 0000-0001-9393-351X

e-mail: gribova@iacp.dvo.ru

**Валентин Борисович Шуматов**


ТГМУ, чл.-корр. РАН, профессор, доктор медицинских наук, ректор, заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии, интенсивной терапии и скорой медицинской помощи

 0000-0003-3836-390X

e-mail: mail@tgmu.ru

**Сергей Васильевич Лебедев**

ТГМУ, проректор по развитию, руководитель центра цифровых компетенций, кандидат медицинских наук. Научные интересы: методы управления медицинскими знаниями.

 0000-0002-3378-4249

e-mail: lebedev@tgmu.ru

**Елена Арефьевна Шалфеева**

ИАПУ ДВО РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем имени А.С. Клещева, д.т.н. Научные интересы: онтологический инжиниринг, интерпретируемые клинические руководства, технология создания систем с декларативными знаниями, объяснительный искусственный интеллект, управление базами знаний.

 0000-0001-5536-2875

e-mail: shalf@dvo.ru

**Евгений Юрьевич Шестопалов**


ТГМУ, директор института клинической неврологии и реабилитационной медицины, кандидат медицинских наук. Научные интересы: систематизация экспертных медицинских знаний.

 0000-0002-7990-3602

e-mail: shestopalov77@mail.ru

**Дмитрий Борисович Окунь**


к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем имени А.С. Клещева ИАПУ ДВО РАН. Научные интересы: онтологический инжиниринг, информационные технологии, технологии обработки данных.

 0000-0002-6300-846X

e-mail: okdm@iacp.dvo.ru

**Роман Игоревич Ковалев**


ИАПУ ДВО РАН, научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем. Научные интересы: онтологии и базы знаний, интеллектуальные системы.

 0000-0002-1704-2675

e-mail: koval-995@mail.ru

**Екатерина Ивановна Шепета**


ТГМУ, институт клинической неврологии и реабилитационной медицины, ассистент. Научные интересы: разработка объективных методов оценки состояния пациента;

 0009-0002-0692-5664

e-mail: shepetae@mail.ru

**Леонид Александрович Федорищев**

ИАПУ ДВО РАН, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем имени А.С. Клещева. Научные интересы: инструменты для разработки программного обеспечения, основанные на методах искусственного интеллекта; прикладные интеллектуальные системы на основе веб-технологий; пользовательский интерфейс; программные системы на мобильных устройствах.

 0000-0001-5536-2875

e-mail: fleo1987@mail.ru

**Александр Яковлевич Лифшиц**

ИАПУ ДВО РАН, к.т.н., ведущий инженер-программист лаборатории интеллектуальных систем имени А.С. Клещева. Научные интересы: обработка баз знаний, логический вывод основанный на знаниях.

 0009-0000-5671-2881

e-mail: mmvb@iacp.dvo.ru

*Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Декларация об отсутствии личной заинтересованности: благополучие авторов не зависит от результатов исследования.*



The ontology complex as the model of intelligent system to support rehabilitation of patients after stroke

Valeria Viktorovna **Gribova**¹, Valentin Borisovich **Shumatov**², Sergey Vasilyevich **Lebedev**³, Elena Arefevna **Shalfeeva**⁴, Evgeny Yurievich **Shestopalov**⁵, Dmitri Borisovich **Okun**^{6,8}, Roman Igorevich **Kovalev**⁷, Ekaterina Ivanovna **Shepeta**⁸, Leonid Alexandrovich **Fedorishchev**⁹, Alexander Yakovlevich **Lifshits**¹⁰

^{1,4,6,7,9,10}Institute of Automation and Control Processes of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok, Russia

^{2,3,5,8}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pacific State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Vladivostok, Russia

^{6,8}okdm@iacp.dvo.ru

Abstract. The main incentive for the introduction of computer technologies into the healthcare system is the desire to significantly improve the quality of life of people. This includes improving the quality and speed of treatment, reducing the cost of medical services and acquiring effective means to comply with regulatory requirements.

At the present stage of rehabilitation development, the need for active implementation of medical decision support systems and artificial intelligence technologies becomes obvious. These technologies can significantly improve the understanding of the clinical aspects of disorders, the level of activity and participation of stroke patients in the rehabilitation process. A key component of the successful application of these systems is the importance of formalizing knowledge and creating ontologies that provide a structured and connected presentation of medical information and define the rules for their interpretation.

This paper presents a set of interrelated ontological models underlying the intellectual decision support system being developed in the rehabilitation of stroke patients. The IACPaaS cloud platform is used to implement the complex of ontologies. Ontologies and the target resources generated on their basis are the basic elements of the system being developed, which will soon be provided to healthcare professionals to solve urgent rehabilitation issues. Mechanisms are provided for the planned expansion and refinement of the knowledge base, which will allow the system to easily adapt to new medical research results and optimize its work as a whole.

(In Russian).

Key words and phrases: medical decision support system, intelligent service, rehabilitation, stroke, knowledge base, ontological approach, knowledge engineering









2020 Mathematics Subject Classification: 68P05; 92C50, 68T30

For citation: Valeria V. Gribova, Valentin B. Shumatov, Sergey V. Lebedev, Elena A. Shalfeeva, Evgeny Yu. Shestopalov, Dmitri B. Okun, Roman I. Kovalev, Ekaterina I. Shepeta, Leonid A. Fedorishchev, Alexander Ya. Lifshits. *The ontology complex as the model of intelligent system to support rehabilitation of patients after stroke*. Program Systems: Theory and Applications, 2025, **16**:1(64), pp. 61–82. (In Russ.). https://psta.psir.ru/read/psta2025_1_61-82.pdf



References

- [1] S. V. Mal'ceva. "Application of ontological models for solving problems of identification and monitoring of subject areas", *Biznes-informatika*, 2008, no. 3, pp. 18–24 (in Russian).
- [2] V. D. Solov'ev, B. V. Dobrov, V. V. Ivanov, N. V. Lukashevich. *Ontologies and Thesauri: models, tools and applications*, Intuit NOU, M., 2016, ISBN 978-5-9963-0007-5, 207 pp. (in Russian).
- [3] P. A. Lomov. "Application of ontology design patterns to development and use of ontologies in an integrated knowledge space", *Ontologiya proektirovaniya*, **5:2** (2015), pp. 233–245 (in Russian).
- [4] A. Yu. Pleshkova. "Ontologies in educational process management", *Ontologiya proektirovaniya*, **12:4** (2022), pp. 506–517 (in Russian).
- [5] S. V. Lebedev, N. A. Zhukova. "Ontology-driven approach to medical data fusion", *Ontologiya proektirovaniya*, **7:2** (2017), pp. 145–159 (in Russian).
- [6] Yu. I. Volokitin, V. P. Kupriyanovskij, O. V. Grin'ko, O. N. Pokusaev, S. A. Sinyagov. "On problems of the digital economy and formalized ontologies", *International Journal of Open Information Technologies*, **6:6** (2018), pp. 87–96 (in Russian).
- [7] S. González, B. G. M. E. Blobel, D. M. Lopez. "Ontology-based framework for electronic health records interoperability", *User Centred Networked Health Care*, Proceedings of MIE 2011, Studies in Health Technology and Informatics, vol. **169**, eds. A. Moen et al., IOS Press, 2011, ISBN 978-1-60750-805-2, pp. 694–698.
- [8] *Order of the Ministry of Health of Russia dated July 31, 2020 No. 788n "On approval of the Procedure for organizing medical rehabilitation of adults"*, 2021 (in Russian).
- [9] A.A. Belkin, A.M. Alashev, V.A. Belkin, Yu.B. Belkina, A.N. Belova, D.V. Bel'skij, R.A. Bodrova, G.P. Bryusov, N.A. Varako, I.A. Voznyuk, V.I. Gorbachev, A.V. Grechko, L.Sh. Gumarova, V.D. Daminov, V.I. Ershov, R.A. Zhiguzhevskij, I.B. Zabolotskix, O.S. Zajcev, V.O. Zaxarov, Yu.P. Zinchenko, G.E. Ivanova, S.N. Kaurkin, P.A. Knyazenko, M.S. Kovyazina, A.N. Kondrat'ev, E.A. Kondrat'eva, E.V. Kostenko, A.A. Kulakova, V.V. Krylov, V.L. Kuprejchik, O.A. Lajsheva, K.M. Lebedinskij, A.L. Levit, I.N. Lejderman, A.Yu. Lubnin, E.A. Lukoyanova, M.N. Mal'ceva, M.R. Makarova, E.V. Mel'nikova, N.N. Mitrakov, I.E. Mishina, S.A. Pomeshkina, S.S. Petrikov, M.V. Petrova, E.A. Pinchuk, M.A. Piradov, K.A. Popugaev, A.V. Polyakova, I.V. Pogonchenkova, D.N. Procenko, N.V. Raseva, E.N. Rudnik, V.A. Rudnov, Yu.V. Ryabinkina, I.A. Savin, T.Yu. Safonova, Zh.B. Semenova, E.Yu. Skripaj, A.A. Solodov, A.Yu. Suvorov, N.A. Suponeva, D.V. Tokareva, S.P. Urazov, D.Yu. Usachev, A.S. Fadeeva, D.R. Xasanova, V.T. Xasanshin, S.V. Carenko, S.E. Chuprina, E.Yu. Shestopalov, A.V. Shhegolev, A.M. Shhikota, R.E. Engaus, S.N. Norvils. "Rehabilitation in the intensive care unit (RehabICU). Clinical

- practice recommendations of the national Union of Physical and Rehabilitation Medicine Specialists of Russia and of the national Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists”, *Vestnik intensivnoj terapii imeni A.I. Saltanova*, 2022, no. 2, pp. 7–40 (in Russian). 
- [10] M. O’Keeffe, P. Cullinane, J. Hurley, I. Leahy, S. Bunzli, O’Sullivan P. B. , O’Sullivan K. . “What influences patient-therapist interactions in musculoskeletal physical therapy? Qualitative systematic review and meta-synthesis”, *Physical Therapy*, **96**:5 (2016), pp. 609–622. 
- [11] N. Mead, P. Bower. “Patient-centredness: a conceptual framework and review of the empirical literature”, *Social Science & Medicine*, **51**:7 (2000), pp. 1087–1110. 
- [12] V. V. Gribova, E. A. Shalfeeva. “Ensuring of viability of systems based on knowledge”, *Informacionnye tehnologii*, **25**:12 (2019), pp. 738–746 (in Russian). 
- [13] V. V. Gribova, Yu. N. Kul’chin, A. I. Nikitin, V. A. Timchenko. “An ensemble of ontological models for intelligent support of laser additive manufacturing processes”, *Ontologiya proektirovaniya*, **14**:2 (2024), pp. 279–300 (in Russian).  
- [14] V. V. Gribova, A. S. Kleshchev, F. M. Moskalenko, V. A. Timchenko. “A two-level model of information units with complex structure that correspond to the questioning metaphor”, *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, **49**:5 (2015), pp. 172–181. 
- [15] V. V. Gribova, A. S. Kleshchev, F. M. Moskalenko, V. A. Timchenko. “A model for generation of directed graphs of information by the directed graph of metainformation for a two-level model of information units with a complex structure”, *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, **49**:6 (2015), pp. 221–231. 
- [16] G.E. Ivanova, R.A. Bodrova, T.V. Bujlova, G.M. Karimova, V.S. Komarnickij. “Algorithm for formulation a rehabilitation diagnosis using the international classification of functioning in a patient with a stroke: clinical case”, *Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina, medicinskaya reabilitaciya*, **4**:1 (2022), pp. 37–54 (in Russian). 