

ПРИКЛАДНЫЕ ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522



Онтопологический комплекс представления знаний для реабилитации травматолого-ортопедических пациентов

© 2025, B.B. Грибова, Е.А. Шалфеева, Д.Б. Окунь , О.Н. Шевченко

Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН (ИАПУ ДВО РАН),
Владивосток, Россия

Аннотация

Системное структурирование клинических данных позволяет проводить комплексную оценку степени функциональных нарушений, уровня активности и степени вовлечённости в реабилитационный процесс пациентов травматолого-ортопедического профиля. Для стандартизации представления медицинских знаний и создания единого семантического пространства для всех участников процесса реабилитации выбрана онтологово-ориентированная технология разработки информационных систем. В работе представлен комплекс взаимосвязанных и логически согласованных онтологических моделей, формирующих семантическую основу интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений в области реабилитации. Разработаны модели медицинской диагностики, планирования восстановительных процедур, оценивания динамики состояния пациентов. Практическая реализация онтологического комплекса осуществляется на базе облачной платформы *IACPaaS*. Формируемые на основе онтологических моделей специализированные целевые ресурсы и программные средства составляют систему поддержки принятия решений травматолога.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, база знаний, онтология, инженерия знаний, реабилитация пациентов, травматология.

Цитирование: Грибова В.В., Шалфеева Е.А., Окунь Д.Б., Шевченко О.Н. Онтологический комплекс представления знаний для реабилитации травматолого-ортопедических пациентов. *Онтология проектирования*. 2025. Т.15, №4(58). С.509-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522.

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-11-20021).

Вклад авторов: Грибова В.В. - разработка концепции и плана исследования, формулировка целей и задач. Шалфеева Е.А. - формирование моделей онтологического комплекса. Окунь Д.Б. - сбор, анализ медицинских знаний, наполнение информационных ресурсов. Шевченко О.Н. - онтологическое проектирование и комплексирование информационных ресурсов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В здравоохранении особую медико-социальную значимость имеет реабилитация пациентов с последствиями травм и заболеваниями костно-мышечной системы. В России ежегодно выполняется свыше 120 тысяч операций по эндопротезированию, преимущественно тазобедренного и коленного суставов, причём ожидается дальнейшее увеличение объёма таких вмешательств [1]. В этих условиях системный подход к медицинской реабилитации, представляющей собой комплекс лечебных, диагностических и психологических мероприятий,

приобретает особую актуальность [2-5]. Оптимизация существующих реабилитационных стратегий остаётся важной научно-практической задачей¹.

Существующая система медицинской реабилитации травматолого-ортопедических пациентов включает её проведение в различных медицинских организациях, что сопряжено с необходимостью комплексного учёта множества факторов: индивидуальных особенностей травмы (локализация, степень повреждения, осложнения), сопутствующей патологии (возрастные изменения, хронические заболевания), разнообразия реабилитационных методик и восстановительного потенциала пациента (соблюдение рекомендаций, мотивация, социальные условия). Выбор тактики реабилитации часто осуществляется на основе клинического опыта врача, что может приводить к неполному восстановлению функций, развитию осложнений и преждевременной инвалидизации, значительным временным и ресурсным затратам.

Перспективным направлением является внедрение цифровых технологий и систем на основе искусственного интеллекта (ИИ), позволяющих анализировать клинические, функциональные и реабилитационные параметры в режиме реального времени, вырабатывать персонализированные рекомендации, преодолеть терминологическую неоднозначность, затрудняющую междисциплинарное взаимодействие [6]. Системы ИИ, которые обеспечивают объяснение результатов логического вывода и согласование терминологии, целесообразно строить с применением онтологических моделей (ОМ).

Цель работы – представить комплекс взаимосвязанных ОМ, формирующих основу для интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) в реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля.

1 Материалы и методы

Разработка онтологического комплекса для интеллектуальной СППР в области реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля осуществлялась с применением системного подхода, объединяющего принципы семантического моделирования, экспертного анализа и облачных вычислений.

ОМ – семантическая сеть или графовая модель предметной области (ПрО), показывающая связи всех существенных абстрактных понятий и соглашения об их использовании при решении профессиональных задач; онтологический комплекс – совокупность множества ОМ и номенклатурного справочника названий понятий (база медицинской номенклатуры), с помощью которых в ПрО рассматриваются проблемные ситуации.

В качестве исходных материалов исследования использованы:

- актуальные клинические рекомендации и протоколы ведения пациентов с травмами опорно-двигательного аппарата и после ортопедических операций;
- стандарты оказания медицинской помощи при травмах и заболеваниях костно-мышечной системы, утверждённые Министерством здравоохранения РФ;
- экспертные оценки травматологов-ортопедов и специалистов по медицинской реабилитации.

Методологическая схема исследования включает:

- *аналитический этап*, в рамках которого проведён системный анализ ПрО с выделением ключевых понятий, их классификацией и установлением взаимосвязей, выполнена концептуальная структуризация многоэтапного реабилитационного процесса, осуществлена формализация взаимосвязей между клиническими, функциональными и реабилитационными параметрами;

¹ Rehabilitation after traumatic injury. London: National Institute for Health and Care Excellence (NICE); 2022 Jan 18. (NICE Guideline, No. 211.) Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK579697/>.

- *этап онтологического моделирования*, в рамках которого разработана система взаимосвязанных ОМ с использованием специализированного языка платформы *IACPaaS*²;
- *этап технической реализации*, в котором осуществляется формирование информационных ресурсов – описаний оценочных шкал, справочников и других данных и знаний, важных для проведения травматолого-ортопедической реабилитации и интеграции с международной классификацией функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ)³ и другими существующими классификаторами и справочниками.

На облачной платформе *IACPaaS* за счёт онтологического уровня обеспечивается коллективная работа экспертов, инженеров и клиницистов.

2 Комплекс онтологических моделей

Разработанный комплекс ОМ включает следующие основные компоненты.

1) *ОМ пациента* в соответствии с форматом реабилитационной карты пациента объединяет: клинико-анамnestические данные; параметры функциональных нарушений; реабилитационный потенциал, задачи и мероприятия; динамику восстановительного процесса.

2) *ОМ клиниметрии* содержит формальное описание: набора валидированных оценочных шкал и тестов; способов интерпретации полученных результатов.

3) *ОМ диагностических методик* реализует принципы МКФ через: стандартизованное описание диагностических процедур; унификацию критериев оценки функционального статуса; объединение с общепринятыми классификационными системами.

4) *ОМ междисциплинарного взаимодействия* определяет: состав и функциональные роли членов мультидисциплинарной реабилитационной команды (МДРК); алгоритмы взаимодействия специалистов; этапность реабилитационного процесса.

5) *ОМ администрирования МДРК* задаёт формат хранения и управления данными об участниках реабилитационного процесса и обеспечивает: учёт всех специалистов, вовлечённых в процесс реабилитации; определение роли специалиста в команде; контроль прав доступа к данным пациента в зависимости от роли специалиста; логирование действий для аудита и отчётности; синхронизацию с организационными структурами медучреждения.

6) *ОМ содержимого медицинских справочников* обеспечивает: стандартизацию форматов представления клинических данных; согласование с международной клинической терминологией.

7) *База медицинских наблюдений и справочников (БМН)*, сформированная на основе соответствующей ОМ, является: расширяемой (позволяет динамически дополнять термины и связи в соответствии с развитием медицины и клинических стандартов); структурированной по ключевым разделам (медицинские расстройства, диагнозы, процедуры и вмешательства, медицинские изделия); выполняющей терминологическую унификацию используемых понятий; обеспечивающей семантическую согласованность между всеми ресурсами. Множество терминов БМН покрывает потребности описания знаний (в т.ч. инструкций из клинических рекомендаций) и составления сопутствующих реабилитационному процессу документов. Имена и/или значения терминов соотнесены с названиями и кодами из российских и международных номенклатурных перечней и классификаторов (в т.ч. *SNOMED CT*⁴).

² *IACPaaS* (*Intelligent Applications, Control and Platform as a Service*) – облачная платформа для разработки, управления и удалённого использования интеллектуальных облачных сервисов. <https://iacpaas.dvo.ru/>.

³ МКФ - Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья. <https://ergotherapy.ru/wp-content/uploads/2017/05/Mezhdunarodnaya-klassifikatsiya.pdf>.

⁴ *SNOMED CT* (Систематизированная медицинская номенклатура – Клинические термины) – это систематизированная машинно-обрабатываемая медицинская номенклатура. <https://www.snomed.org/what-is-snomed-ct>.

На рисунке 1 представлена схема разработанных ОМ, стрелками указаны их связи с целевыми ресурсами: базами знаний (БЗ) и данных, необходимых для интеллектуальной СППР при реабилитации.



Рисунок 1 – Схема онтологического комплекса для интеллектуальной системы поддержки принятия решений при реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля

Для оптимизации доступа к кодам МКФ и Международной классификации болезней (МКБ⁵) в процессе диагностики, для обеспечения совместимости электронных медицинских записей с системами отчёtnости (например, на уровне кодирования медицинских процедур) разработано онтологическое представление ресурсов, где определены, структурированы и сгруппированы термины и их коды, используемые в практической деятельности. Например, для интеграции с МКФ при постановке реабилитационного диагноза множество узлов *Домен*, *Определители* и их значения установлены для категорий: *Функция организма*, *Активность и участие*, *Факторы окружающей среды*, *Структуры организма*.

ОМ пациента даёт возможность клиническим специалистам внести необходимые медицинские данные о пациенте, отразить их динамичность. ОМ пациента структурирована в соответствии с форматом реабилитационной карты пациента и позволяет каждому специалисту МДРК иметь своё информационное пространство для проведения коллегиальных осмотров и ведения дневников ежедневных осмотров. Модель задаёт формализованный вид данных, вводимых в медицинскую карту: каждый раздел структурирован под соответствующий класс данных, используемых в медицинской практике согласно шаблону реабилитационной карты. На рисунке 2 приведён фрагмент онтологии для документирования клинических данных в виде медицинской реабилитационной карты. Совокупность заполненных карт формирует информационный ресурс – коллекцию медицинских реабилитационных карт пациента.

ОМ клиниметрии – это система формальных правил описания оценочных шкал и тестов, включая их интерпретацию (см. рисунок 3). Модель отражает структуру теста, позволяя представить возможные вопросы и варианты ответов, ключи для оценки результатов, правила интерпретации полученных данных. В ходе анализа структуры тестов, применяемых для диагностики реабилитационного потенциала пациента, выделены следующие ключевые элементы онтологии: *Исследуемая область*, *Пункт*, *Вопрос*, *Ответ*, *Правило подсчёта*. Выявлена определённая группа 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.

⁵ Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10). <https://mkb-10.com/>.

Введено понятие *Подробность* для фрагментирования длинных текстов вопросов: лаконичная часть используется как концепт, а сопровождающая текстовая часть даёт возможность представления вопроса в текстовом варианте, привычном для специалистов-пользователей. Баллы наполненного тестами ресурса используются для дальнейшего расчёта результатов теста на основе *Правила подсчёта* (например, суммирование всех баллов).

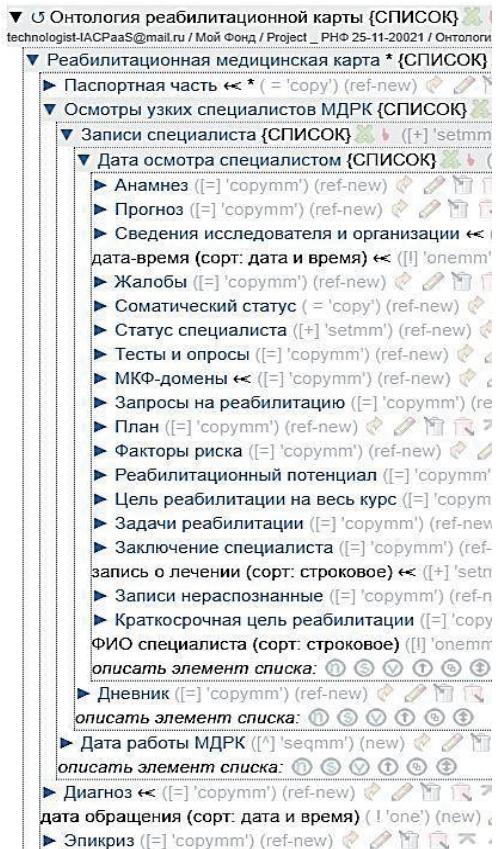


Рисунок 2 – Онтологическая модель пациента (фрагмент)

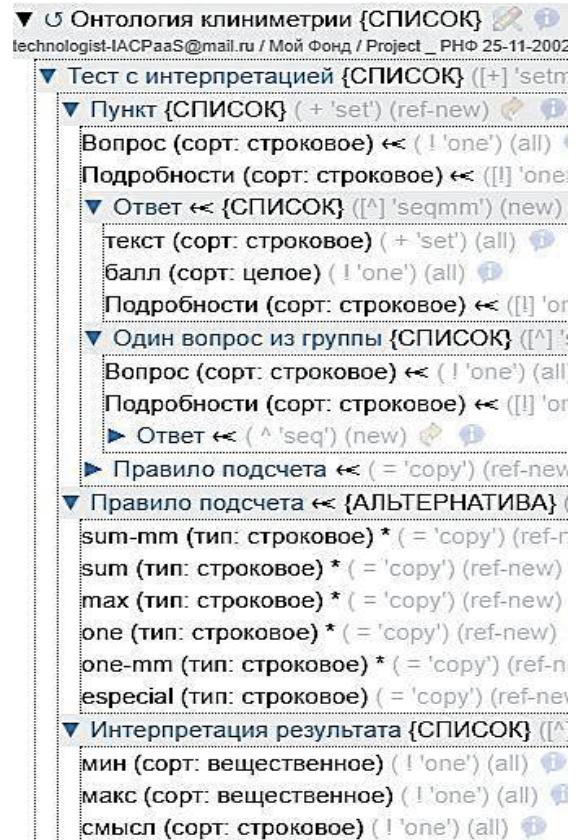


Рисунок 3 – Онтологическая модель клиниметрии (фрагмент)

В качестве примера (см. рисунок 4) предложен формализм шкал Гудвина [7] и Харриса [8], применяемых для оценки функциональных исходов хирургического лечения пациентов с переломами проксимального отдела бедренной кости. Эти шкалы позволяют оценить клинические исходы после остеосинтеза переломов проксимального отдела бедренной кости и эндопротезирования тазобедренного сустава. Шкала Гудвина для определения результатов операции на тазобедренном суставе включает качественную оценку критериев (боль, объём движений, ходьба), а результат оценивается как отличный, хороший, удовлетворительный, слабый и неудовлетворительный. Шкала Харриса для тазобедренного сустава содержит оценку четырёх категорий (боль, функция, деформация, амплитуда движений). Для каждой категории набирается определённое количество баллов. Максимальное число баллов равно 100. Сумма баллов от 90 до 100 оценивается как отличная функция сустава, от 80 до 89 – хорошая, от 70 до 79 – удовлетворительная и менее 70 – неудовлетворительная [8, 9].

Учитывая необходимость исследования каждого сустава по отдельности, для формализации шкалы Харриса используются вершины онтологии: *Исследуемая область*, которая имеет спецификатор [+setmm (*пустое упорядоченное множество*)), что позволяет в целевом ресурсе генерировать некоторое множество необходимых вершин.

▼ 🔍 База динамической клиниметрии в травматологической реабилитации [Онтология динамической клиниметрии в травматологической реабилитации] 📄 🎯 ⓘ
technologist.IACPaaS@mail.ru / Мой Фонд / Project... / РФ 25-11-20021 / База динамической клиниметрии в травматологической реабилитации

▼ шкала Харриса [Тест с интерпретацией] 📄 ⓘ

▼ Исследуемый левый тазобедренный сустав [Исследуемая область] 📄 ⓘ

▼ Боль (выберите 1 вариант ответа) [Пункт] 📄 ⓘ

▼ 1 [Ответ] 📄 ⓘ
Отсутствует [текст (сорт: строковое)] ⓘ
44 [балл (сорт: целое)] ⓘ

▼ 2 [Ответ] 📄 ⓘ
Слабая [текст (сорт: строковое)] ⓘ
40 [балл (сорт: целое)] ⓘ

▼ 3 [Ответ] 📄 ⓘ
Умеренная (временами) [текст (сорт: строковое)] ⓘ
30 [балл (сорт: целое)] ⓘ

▼ 4 [Ответ] 📄 ⓘ
Умеренная [текст (сорт: строковое)] ⓘ
20 [балл (сорт: целое)] ⓘ

▼ 5 [Ответ] 📄 ⓘ
Сильная [текст (сорт: строковое)] ⓘ
10 [балл (сорт: целое)] ⓘ

▼ 6 [Ответ] 📄 ⓘ
Невыносимая [текст (сорт: строковое)] ⓘ
0 [балл (сорт: целое)] ⓘ

► Хромота [Пункт] 📄 ⓘ
► Опора [Пункт] 📄 ⓘ
► Расстояние, преодолеваемое при ходьбе [Пункт] 📄 ⓘ
► Сидение [Пункт] 📄 ⓘ
► Пользование общественным транспортом [Пункт] 📄 ⓘ
► Ходьба по лестнице [Пункт] 📄 ⓘ
► Надевание обуви и носков [Пункт] 📄 ⓘ
► Отсутствие деформации [Пункт] 📄 ⓘ
► Объем движений (значение в норме) [Пункт] 📄 ⓘ
► Разброс объема движений: [Пункт] 📄 ⓘ
► Правила подсчета 📄 ⓘ

▼ 1 [Интерпретация результата] 📄 ⓘ
100.0 [макс (сорт: вещественное)] ⓘ
90.0 [мин (сорт: вещественное)] ⓘ
Отличная функция сустава [смысл (сорт: строковое)] ⓘ

▼ 2 [Интерпретация результата] 📄 ⓘ
89.0 [макс (сорт: вещественное)] ⓘ
80.0 [мин (сорт: вещественное)] ⓘ
Хорошая функция сустава [смысл (сорт: строковое)] ⓘ

▼ 3 [Интерпретация результата] 📄 ⓘ
79.0 [макс (сорт: вещественное)] ⓘ
70.0 [мин (сорт: вещественное)] ⓘ
Удовлетворительная функция сустава [смысл (сорт: строковое)] ⓘ

▼ 4 [Интерпретация результата] 📄 ⓘ
69.0 [макс (сорт: вещественное)] ⓘ
0.0 [мин (сорт: вещественное)] ⓘ
Неудовлетворительная функция сустава [смысл (сорт: строковое)] ⓘ

► Исследуемый правый тазобедренный сустав [Исследуемая область] 📄 ⓘ

Рисунок 4 – База динамической клиниметрии в травматологической реабилитации (фрагмент)

В данном примере это: *Исследуемый левый тазобедренный сустав*, *Исследуемый правый тазобедренный сустав*. Каждая порождённая вершина имеет идентичную внутреннюю структуру по причине единого онтологического «донора» (см. рисунок 5). Каждый вопрос шкалы соответствует онтологической структуре *Пункт*, в котором сгенерированы варианты ответов с текстовой их интерпретацией и бальным соответствием. Для каждой вершины внесены соответствующие правила подсчёта и логика интерпретации результатов.

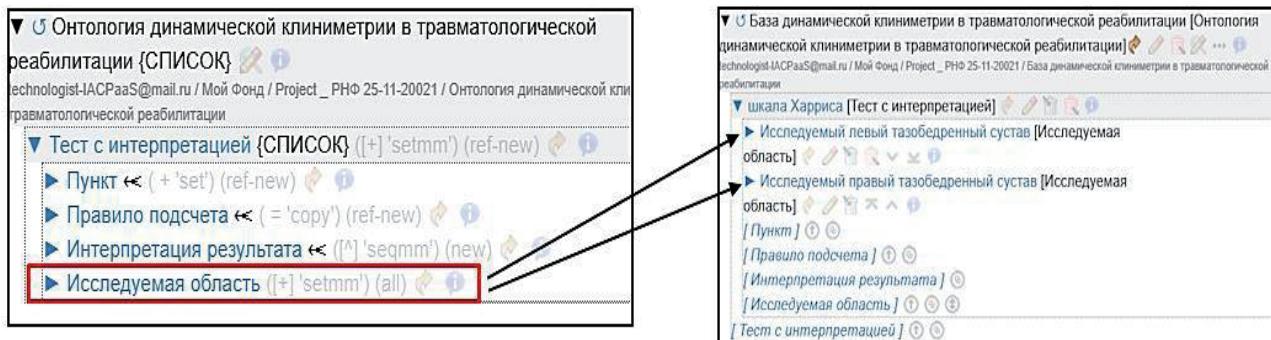


Рисунок 5 – Множественное порождение вершины целевого ресурса (пример)

ОМ диагностических методик. Одним из главных этапов реабилитации пациента является постановка реабилитационного диагноза с использованием кодировки по доменам МКФ. В отличие от МКБ и Международной классификации нарушений⁶, которые сосредоточены на последствиях болезней с этиологической точки зрения, в МКФ предлагается классификация компонентов здоровья и оценивается функционирование и ограничения жизнедеятельности человека, используя биopsихосоциальный подход. Основная цель МКФ – интеграция данных о состоянии здоровья и динамике заболевания с учётом биологических, социальных и личностных аспектов. Реабилитационный диагноз представляет собой подробное описание нарушений структур и функций органов и систем, которые приводят к определённым ограничениям, и учитывает факторы окружающей среды, которые могут как облегчать, так и затруднять выполнение пациентом повседневных задач и функций [10].

ОМ диагностических методик в травматологии и ортопедии (см. рисунок 6), отражает структуру знаний, позволяющих выдвигать гипотезы о наличии определённого нарушения, кодируемого классификатором МКФ в рамках интеллектуальной поддержки МДРК. Данная модель содержит набор отношений, достаточный для связывания элементов клинической картины пациента с кодом МКФ и определителем степени тяжести.

Знания группируются под узлами-вершинами: В, D, S, E (МКФ домены: функции организма, структуры организма, активность и участие, факторы окружающей среды). Информация соответствует элементам структуры: МКФ название – код и имя МКФ классификатора; МКФ код – диагностируемый код МКФ классификатора с соответствующим определителем.

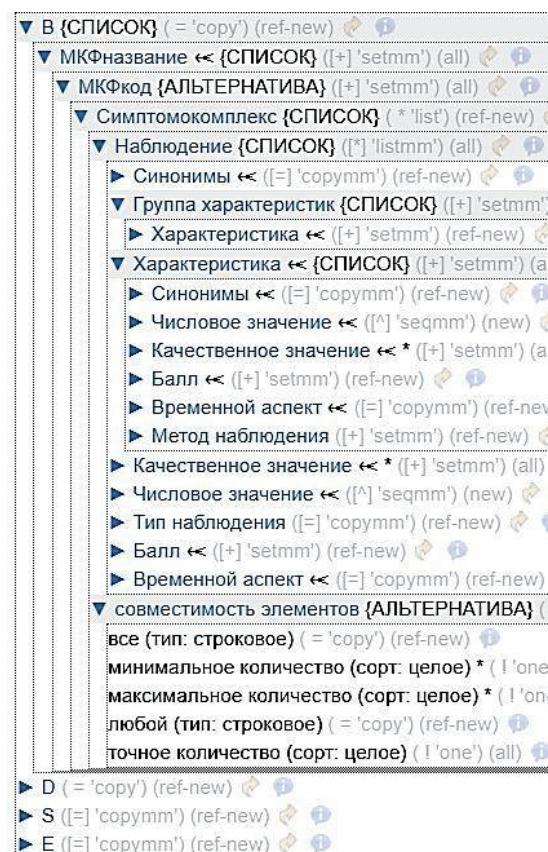


Рисунок 6 – Онтологическая модель диагностических методик в травматолого-ортопедической реабилитации (фрагмент)

⁶ МКФ - Международная классификация функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья.
<https://ergotherapy.ru/wp-content/uploads/2017/05/Mezhdunarodnaya-klassifikatsiya.pdf>.

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

Наблюдение – единица, отражающая клинически значимые данные пациента. Каждое наблюдение можно выразить в простом варианте его описания или используя множество элементов или характеристик. К ним относятся и итоговые результаты проведения тестирования и опросов по шкалам, и результаты отдельных вопросов таких тестов.

Тип наблюдения представляет принадлежность к категории (*метрика, наследственность, образ жизни, лабораторное исследование, осмотр, заболевание* и т.д.) для различия вводимых элементов. Совместимость элементов используется для определения полноты диагностируемых состояний через определение сочетаемости наблюдений. Используются определения: *минимальное количество, любой, все*.

Справочник медицинских терминов и наблюдений. Справочники необходимы для согласованного взаимодействия участников, корректного употребления терминов при описании особенностей пациента, полученной травмы, реабилитационных методик и лечебных мероприятий, особенностей восстановительного потенциала пациента и т.д. Для поддержки формирования номенклатуры согласованных терминов и клинических данных сформирована *ОМ содержимого медицинских справочников*, апробированная на платформе *IACPaaS*. В ней группируются перечни наблюдавших фактов разного типа, позволяя описывать интересующее *Наблюдение* с использованием простого представления или с использованием множества элементов или характеристик. Для жалоб и нарушений структура БМН позволяет вносить данные через управляющий узел *Наличие отклонений от нормы*, открывающий на следующем уровне возможность подробного описания.

Справочники медицинских терминов отвечают современным требованиям электронного здравоохранения обширным содержанием с детализацией терминов-наблюдений состояния пациентов и с указанием международных названий и кодов терминов (в т.ч. *SNOMED CT*) для стандартизации медицинской документации (см. рисунок 7). В частности, в [11] представлена выборка приоритетных кодов и их описание по МКФ, которые необходимы при постановке реабилитационного диагноза у пациентов при патологии опорно-двигательной системы: изменение и поддержание положения тела (d410-d429); ходьба и передвижение (d450-d469); передвижение и использование транспорта (d470-d489); приобретение предметов первой необходимости (d610-d629) и др. Реабилитационный диагноз описывается в категориях МКФ, имеющих четыре уровня детализации нарушения структур, функций, жизнедеятельности и факторов среды. Интеграции со справочником помогает вложенная структура от метапонятия *Домен* до комплекса *Определителей* через Узел, представляющий код нарушения.

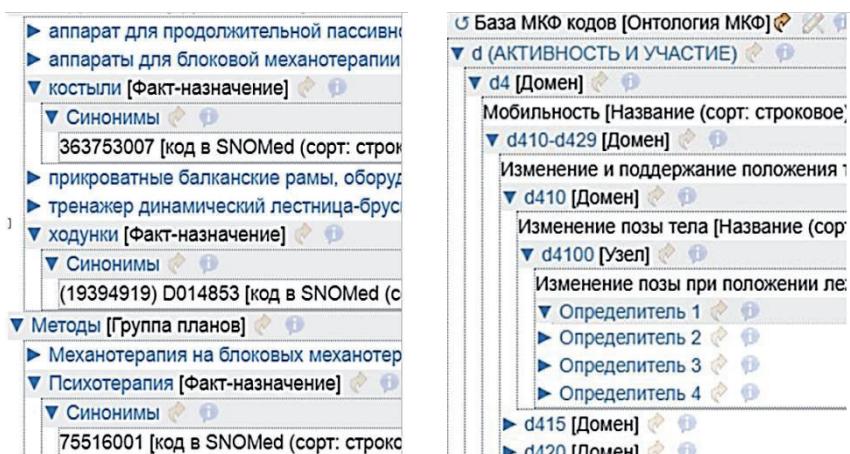


Рисунок 7 – Фрагменты номенклатурных справочников (слева *SNOMED CT*, справа МКФ)

ОМ администрирования (A) и междисциплинарного взаимодействия (Б) обеспечивают процесс формирования плана работы реабилитационной бригады (см. рисунок 8).

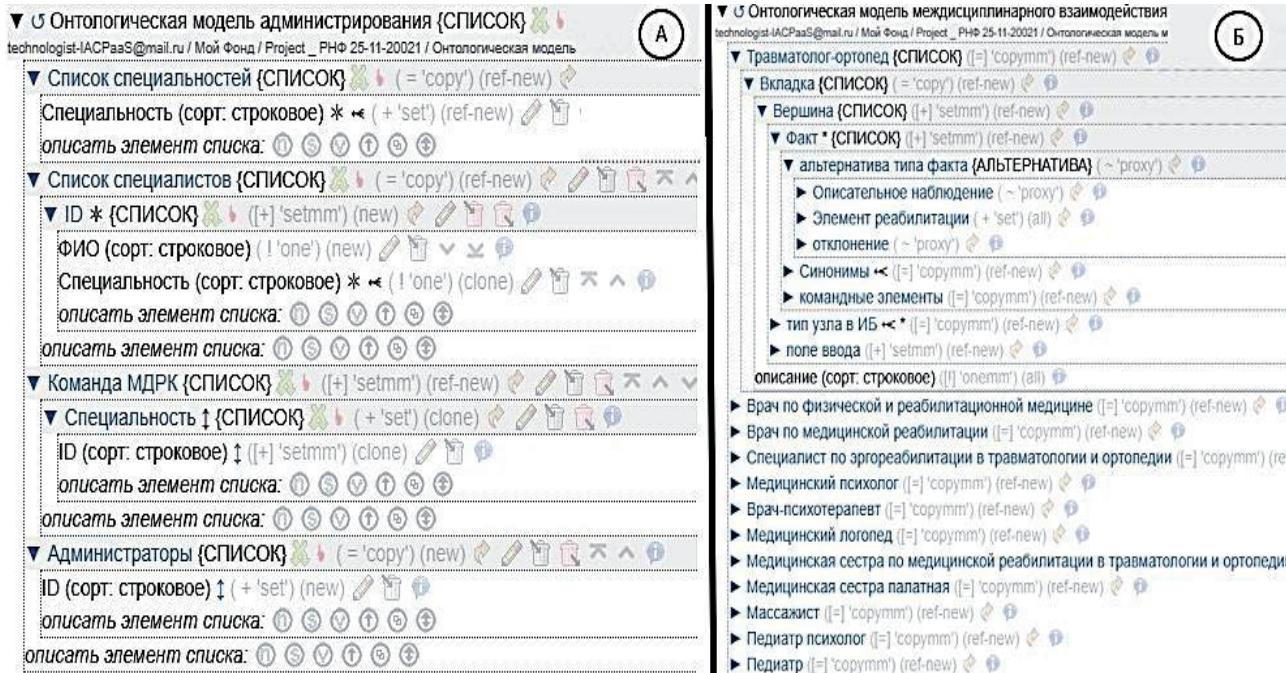


Рисунок 8 – Онтологическая модель управления мультидисциплинарной реабилитационной команды

ОМ междисциплинарного взаимодействия предназначена для декларативного описания сценария работы врача через комплекс Вкладок с множеством элементов Вершина для документирования опроса, осмотра пациента, анамнеза заболевания, формирования плана реабилитации, проведение тестирования пациента с использованием утверждённых шкал и тестов. ОМ обеспечивает формирование структурированных шаблонов ввода информации (и правил ввода данных в пользовательском интерфейсе) разными специалистами МДРК, а также правила формирования отчётов по реабилитации пациентов.

ОМ администрирования предназначена для координации между специалистами, сокращения ошибок администрирования и обеспечения открытости реабилитационного процесса в МДРК и представляет собой структуру, задающую формат хранения списка всех вовлечённых в реабилитацию участников с указанием медицинской специальности и принадлежностью МДРК. ОМ имеет следующие корневые понятия: список специальностей, список специалистов, команда МДРК, администраторы. Список специальностей организован как множество возможных специальностей, определяющих МДРК. Список специалистов реализован как множество ID, состоящее из ФИО (Фамилия Имя Отчество) и специальностей. МДРК включает множество пар ID и специальностей. Администраторы – вершина, формирующая некоторое множество ID лиц, допущенных к принятию административных решений.

3 Обсуждение

В работе представлен комплекс ОМ для СППР в реабилитации пациентов травмато-ортопедического профиля, обеспечивающий полный цикл разработки онтологий, графовых БЗ, а также основанных на них СППР [12]. К наиболее известным медицинским онтологиям

можно отнести клинические онтологии *SNOMED CT*, *UMLS*⁷, *ICD-11*⁸, различные специализированные онтологии (например, онтология сердечно-сосудистых заболеваний [13], онтология диабета [14], онтология рака [15], онтология *COVID - 19* [16] и др.; онтологии для конкретных медицинских задач (например, онтология лекарственных средств [17], онтология побочных эффектов [18], онтология медицинских устройств [19], онтология клинических анализов [20], онтологии для реабилитации [21], онтология функционального восстановления [22], онтология инвалидности [23]). Анализ медицинских онтологий показал, что каждая из них имеет специфическую область использования, уникальную структуру понятий, особые механизмы актуализации, конкретные сферы применения в клинической практике.

Представленный в данной работе комплекс онтологий обладает рядом принципиальных отличий от других медицинских ОМ. Наиболее существенным является предложенная форма ОМ, позволяющая создавать актуальные БЗ, управлять ими и использовать в СППР. Ноизна содержания заключается в предназначении для поддержки комплексной оценки состояния пациента с использованием МКФ. Это позволяет учитывать нозологическую форму заболевания и весь спектр функциональных возможностей пациента, включая двигательные функции, когнитивные способности, психологическое состояние и факторы окружающей среды, что особенно важно для разработки эффективных реабилитационных программ.

Важной особенностью является применение онтологических компонентов для реализации гибкой программно-сервисной поддержки системного подхода к процессу диагностики и планирования реабилитации. Это позволяет управлять составом специалистов МДРК: физиотерапевтов, эрготерапевтов, психологов и др. Командный подход соответствует клиническим рекомендациям Министерством здравоохранения РФ. Состав МДРК обеспечивает учёт всех аспектов состояния пациента, позволяет разрабатывать индивидуальные программы реабилитации.

Список источников

- [1] Погонченкова И.В., Рассурова М.А., Макарова М.В. Система организации медицинской помощи по профилю «медицинская реабилитация» больным, перенесшим эндопротезирование в Москве. *Московская медицина*. 2018. № 5(27). С.44-49. EDN: VNPQI.
- [2] Амбражусук И.И., Яковлев М.Ю., Фесюн А.Д. Отечественный опыт в разработке стратегии развития отделений медицинской реабилитации. *Russian journal of rehabilitation medicine*. 2018. №3. С.42-49.
- [3] Колышенков В.А., Решетников Р.В., Шумская Ю.Ф., Омелянская О.В., Владимиристкий А.В. Возможности применения телемедицинских технологий в реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2023. № 3. С.60-70.
- [4] Папина И.В., Арсентьев В.В., Телегин Р.С. Методика роботизированной реабилитации как средства восстановления двигательного акта ходьбы. *Modern Humanities Success*. 2024. № 1. С.212-217. DOI: 10.58224/2618-7175-2024-1-212-217.
- [5] Антоненков Ю.Е., Кириленко К.Ю., Чернов А.В., Титова С.Н. Современные проблемы организации ортопедической помощи населению (обзор). *Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии*. 2023. №1. С.68-81. DOI: 10.17238/issn1999-2351.2023.1.68-81.
- [6] Грибова В.В., Шалфеева Е.А. Обеспечение жизнеспособности систем, основанных на знаниях. *Информационные технологии*. 2019. Т.25. №12. С.738-746. DOI: 10.17587/it.25.738-746.
- [7] Goodwin R.A. The Austine Moore prothesis in fresh femoral neck fractures. A review of 611 post-operative cases. *Am. J. Orthop. Surg.* 1968. Vol.10. №2. P.40-43.

⁷ *Unified Medical Language System (UMLS)* - средство для разработки компьютерных систем в сфере здравоохранения. Разработка начата в 1986 году в Национальной медицинской библиотеке США. <https://www.nlm.nih.gov/research/umls/index.html>.

⁸ *International Classification of Diseases 11th Revision (ICD-11)*. МКБ-11 — одиннадцатый пересмотр Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем. <https://icd.who.int/en>.

- [8] **Harris W.H.** Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment of mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am.* 1969. Vol.51. №4. P.737-755.
- [9] **Загородний Н.В., Еремушкин М.А.** Методическое пособие по эндопротезированию тазобедренного сустава с реабилитацией. М., 2019. 40 с. <https://ds8mos.ru/wp-content/uploads/2021/07/Metodich-posobie-po-endoprotezirovaniyu-15.02.pdf>.
- [10] **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.
- [11] **Цыкунов М.Б.** Реабилитационный диагноз при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация.* 2019. Т.1. № 2. С.107-125.
- [12] **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.* 2024. Vol.50. №5. P.406-413. DOI: 10.3103/S0147688223050064.
- [13] **Chalepioglou A., Poulos M., Papavlasopoulos S.** The Development of a Cardiological Ontology to Describe Medical, Genetic and Pharmaceutical Entities and Interplay // 2018 5th International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and Industry (MCSI), Corfu, Greece. IEEE, 2018. P.34-39, DOI: 10.1109/MCSI.2018.00017.
- [14] **El-Sappagh S., Ali F.** DDO: a diabetes mellitus diagnosis ontology. *Applied Informatics.* 2016. Т.3. С.1-28. DOI: 10.1186/s40535-016-0021-2.
- [15] **Kumar A., Smith B.** Oncology ontology in the NCI thesaurus // In: Miksch, S., Hunter, J., Keravnou, E.T. (eds) *Artificial Intelligence in Medicine.* AIME 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol.3581. Berlin: Heidelberg Springer, 2005. P.213-220. DOI: 10.1007/11527770_30.
- [16] **He Y., Yu H., Ong E., et al.** CIDO: The Community-Based Coronavirus Infectious Disease Ontology // Proceedings of the 11th International Conference on Biomedical Ontologies (ICBO) and 10th Workshop on Ontologies and Data in Life Sciences (ODLS). 2021. <https://philpapers.org/rec/HECTC>. (дата обращения 04.07.2025).
- [17] **Hanna J., Joseph E., Brochhausen M., Hogan W.R.** Building a drug ontology based on RxNorm and other sources. *Journal of biomedical semantics.* 2013. Vol.4. P.1-9. DOI: 10.1186/2041-1480-4-44.
- [18] **He Y., Sarntivijai S., Lin Y., et al.** OAE: the ontology of adverse events. *Journal of biomedical semantics.* 2014. Vol.5. P.1-13. DOI: 10.1186/2041-1480-5-29.
- [19] **Santos I.C.T., Gazelle G.S., Rocha L.A., Tavares J.M.R.** An ontology model for the medical device development process in Europe // The 1st International Conference on Design and Processes for Medical Devices-PROMED 2012. 8 p.
- [20] **Huser V., Taft L.M., Cimino J.J.** Suitability of LOINC document ontology as a reference terminology for clinical document types: a case report of a research-oriented EHR. 2023. DOI: 10.20935/AcadQuant7613.
- [21] **Berges I., Antón D., Bermúdez J., Goñi A., Illarramendi A.** TrhOnt: building an ontology to assist rehabilitation processes. *Journal of biomedical semantics.* 2016. Vol. 7. P.1-21. DOI: 10.1186/s13326-016-0104-y.
- [22] **Townsend C., Huang J., Dou D., Liu H., He L., Hayes P., Rudnick R., Shah H., Fell D., Liu W.** Ontology-based knowledge acquisition for neuromotor functional recovery in stroke // 2010 IEEE International Conference on Bio-informatics and Biomedicine Workshops (BIBMW), Hong Kong, China, 2010. P.424-429. DOI: 10.1109/BIBMW.2010.5703839.
- [23] **Spoladore D., Sacco M., Trombetta A.** A review of domain ontologies for disability representation. *Expert Systems with Applications.* 2023. Vol.228. P.120467. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120467.

Сведения об авторах



Грибова Валерия Викторовна, 1965 г. рождения. Окончила Ленинградский политехнический институт (1989). Заместитель директора по научной работе, научный руководитель лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН, д.т.н. (2008), чл.-корр. РАН (2022). Научные интересы: онтологии и БЗ, прикладные и проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях, управление БЗ. В списке научных трудов более 400 работ. Author ID (РИНЦ): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631; ORCID: 0000-0001-9393-351X. gribova@iacp.dvo.ru.

Шалфеева Елена Арефьевна, 1967 г. рождения. Окончила математический факультет Дальневосточного государственного университета (1989), д.т.н. (2022). Ведущий научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН, доцент. В списке научных трудов более 120 работ. Author ID (Scopus): 6508163590; ORCID: 0000-0001-5536-2875. shalf@dvo.ru.



Окунь Дмитрий Борисович, 1973 г. рождения. Окончил Владивостокский государственный медицинский университет (1996), к.м.н. (2000). Старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН. Author ID (РИНЦ): 642886; Author ID (Scopus): 57204598165; ORCID: 0000-0002-6300-846X. okdm@iacp.dvo.ru. ☐.

Шевченко Олег Николаевич, 1999 г. рождения. Аспирант, ведущий инженер-программист лаборатории интеллектуальных систем ИАПУ ДВО РАН. Научные интересы: онтологии и базы знаний, интеллектуальные системы поддержки принятия решений. ORCID: 0009-0002-5766-8055. oleg-555-13@mail.ru.



Поступила в редакцию 07.07.2025, после рецензирования 15.08.2025. Принята к публикации 25.08.2025.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522

Ontological knowledge representation framework for rehabilitation of traumatology and orthopedic patients

© 2025, V.V. Gribova, E.A. Shalfeeva, D.B. Okun ☐, O.N. Shevchenko

Institute for Automation Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract

Systematic structuring of clinical data provides a comprehensive foundation for assessing the degree of functional impairment, activity level, and patient engagement in the rehabilitation process for traumatology and orthopedic cases. To standardize the representation of medical knowledge and establish a unified semantic environment for all participants in rehabilitation, an ontology-oriented approach to information system development has been adopted. The paper presents a set of interconnected, logically consistent ontological models that form the semantic core of an intelligent decision support system for medical rehabilitation. Models of medical diagnostics, rehabilitation procedure planning, and patient progress evaluation have been developed. The practical implementation of the proposed ontological framework is based on the IACPaaS cloud platform. The specialized resources and software tools derived from these ontological models constitute the foundation of a trauma surgeon's decision support system.

Keywords: decision support, knowledge base, ontology, knowledge engineering, patient rehabilitation, traumatology.

For citation: Gribova VV, Shalfeeva EA, Okun DB, Shevchenko ON. Ontological knowledge representation framework for rehabilitation of traumatology and orthopedic patients [In Russian]. *Ontology of designing*. 2025; 15(4): 509-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-509-522.

Financial Support: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation (project no. 25-11-20021).

Authors' contributions: Gribova V.V. – development of the research concept and plan, formulation of research objectives and tasks. Shalfeeva E.A. – development of ontological models. Okun D.B. – collection and analysis of medical knowledge, population of information resources. Shevchenko O.N. – ontological engineering and deployment of information resources.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

- Figure 1 – Structure of the ontological framework for an intelligent decision support system in the rehabilitation of traumatology and orthopedic patients
Figure 2 – Ontological model of the patient (fragment)
Figure 3 – Ontological model of clinimetry (fragment)
Figure 4 – Database of dynamic clinimetry in trauma rehabilitation (fragment)
Figure 5 – Multiple generation of a target resource node (example)
Figure 6 – Ontological model of diagnostic methods in traumatological and orthopedic rehabilitation (fragment)
Figure 7 – Fragments of nomenclature reference books
Figure 8 – Ontological model for managing a multidisciplinary rehabilitation team

References

- [1] **Pogonchenkova IV, Rassulova MA, Makarova MV.** The system of organization of medical care in the field of "medical rehabilitation" for patients who have undergone endoprosthetic replacement in Moscow [In Russian]. *Moskovskaya medicina*. 2018; 5(27): 44-49.
- [2] **Ambrazhuk II, Yakovlev MYu, Fesyun AD.** Russian experience in developing a strategy for development of medical rehabilitation departments [In Russian]. *Russian journal of rehabilitation medicine*. 2018; 3: 42-49.
- [3] **Kolyshenkov VA, Reshetnikov RV, Shumskaya YF, Omelyanskaya OV, Vladzimyrskyy AV.** Opportunities for applying telemedicine technologies in the rehabilitation of traumatology and orthopedic patients [In Russian]. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*. 2023; 3: 60-70.
- [4] **Papina IV, Arsentiev VV, Telegin RS.** Method of robotic rehabilitation as a means of restoring motor act of walking [In Russian]. *Modern Humanities Success*. 2024; 1: 212-217. DOI 10.58224/2618-7175-2024-1-212-217.
- [5] **Antonenkov YuE, Kirilenko KYu, Chernov AV, Titova SN.** Modern problems of the organization of orthopedic care to the population (review) [In Russian]. *Vestnik Vserossijskogo obshchestva specialistov po mediko-social'noj ekspertize, reabilitacii i reabilitacionnoj industrii*. 2023; 1: 68-81. DOI 10.17238/issn1999-2351.2023.1.68-81.
- [6] **Gribova VV, Shalfeeva EA.** Ensuring of Viability of Systems Based on Knowledge. [In Russian]. *Information technology*. 2019; 25(12): 738-746.
- [7] **Goodwin RA.** The Austine Moore prothesis in fresh femoral neck fractures. A review of 611 post-operative cases. *Am. J. Orthop. Surg.* 1968; 10(2): 40-43.
- [8] **Harris WH.** Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment of mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am.* 1969; 51(4): 737-755.
- [9] **Zagorodnj NV, Eremushkin MA.** Methodical manual on hip arthroplasty with rehabilitation [In Russian]. Moscow, 2019. 40 p. <https://ds8mos.ru/wp-content/uploads/2021/07/Metodich-posobie-po-endoprotezirovaniyu-15.02.pdf>.
- [10] **Ivanova GE, Bodrova RA, Builova TV, Karimova GM, Komarnitsky VS.** Algorithm for formulation a rehabilitation diagnosis using the international classification of functioning in a patient with a stroke: clinical cas. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022; 4(1): 37-54. DOI: 10.36425/rehab96918.
- [11] **Tsykunov MB.** Rehabilitation diagnosis in the pathology of the musculoskeletal system using the categories of the international classification of functioning [In Russian]. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2019; 1(2): 107-125.
- [12] **Gribova VV, Moskalenko PM, Timchenko VA, Shalfeeva EA.** The IACPaaS Platform for Developing Systems Based on Ontologies: A Decade of Use. *Scientific and Technical Information Processing*. 2023; 50(5): 406-413.
- [13] **Chalepioglou A, Poulos M, Papavlasopoulos S.** The Development of a Cardiological Ontology to Describe Medical, Genetic and Pharmaceutical Entities and Interplay. In: 2018 5th Int. Conf. on Mathematics and Computers in Sciences and Industry (MCSI), Corfu, Greece. IEEE, 2018: 34-39, DOI: 10.1109/MCSI.2018.00017.
- [14] **El-Sappagh S, Ali F.** DDO: a diabetes mellitus diagnosis ontology. *Applied Informatics*. 2016; 3: 1-28. DOI: 10.1186/s40535-016-0021-2.
- [15] **Kumar A., Smith B.** Oncology ontology in the NCI thesaurus. In: Miksch, S., Hunter, J., Keravnou, E.T. (eds) Artificial Intelligence in Medicine. AIME 2005. Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Heidelberg Springer, 2005; 3581: 213-220. DOI: 10.1007/11527770_30.
- [16] **He Y, Yu H, Ong E, et al.** CIDO: The Community-Based Coronavirus Infectious Disease Ontology. In: Proc. of the 11th Int. Conf. on Biomedical Ontologies (ICBO) and 10th Workshop on Ontologies and Data in Life Sciences (ODLS). 2021. <https://philpapers.org/rec/HECTC>. (accessed 4 June 2025).
- [17] **Hanna J, Joseph E, Brochhausen M, Hogan WR.** Building a drug ontology based on RxNorm and other sources. *Journal of biomedical semantics*. 2013; 4: 1-9. DOI: 10.1186/2041-1480-4-44.

- [18] **He Y, Sarntivijai S, Lin Y, et al.** OAE: the ontology of adverse events. *Journal of biomedical semantics*. 2014; 5: 1-13. DOI: 10.1186/2041-1480-5-29.
 - [19] **Santos ICT, Gazelle GS, Rocha LA, Tavares JMR.** An ontology model for the medical device development process in Europe. In: The 1st Int. Conf. on Design and Processes for Medical Devices-PROMED 2012. 8 p.
 - [20] **Huser V, Taft LM, Cimino JJ.** Suitability of LOINC document ontology as a reference terminology for clinical document types: a case report of a research-oriented EHR. 2023. DOI: 10.20935/AcadQuant7613.
 - [21] **Berges I, Antón D, Bermúdez J, Goñi A, Illarramendi A.** TrhOnt: building an ontology to assist rehabilitation processes. *Journal of biomedical semantics*. 2016; 7: 1-21. DOI: 10.1186/s13326-016-0104-y.
 - [22] **Townsend C, Huang J, Dou D, Liu H, He L, Hayes P, Rudnick R, Shah H, Fell D, Liu W.** Ontology-based knowledge acquisition for neuromotor functional recovery in stroke. In: 2010 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops (BIBMW). Hong Kong, China, 2010: 424-429. DOI: 10.1109/BIBMW.2010.5703839.
 - [23] **Spoladore D, Sacco M, Trombetta A.** A review of domain ontologies for disability representation. *Expert Systems with Applications*. 2023; 228: 120467. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120467.
-

About the authors

Valeriya Viktorovna Gribova (b. 1965) graduated from Leningrad Polytechnic Institute (1989), Doctor of Technical Sciences (2008), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (2022), Deputy Director for Scientific Work, Scientific supervisor of the Laboratory of Intelligent Systems at Institute for Automation and Control Processes of the FEB RAS. The scientific interests are ontologies and knowledge bases, applied and problem-oriented systems based on knowledge. There are more than 400 works in the list of scientific papers. Author ID (RSCI): 7400; Author ID (Scopus): 7801667631; ORCID: 0000-0001-9393-351X. gribova@iacp.dvo.ru

Elena Arefjevna Shalfeeva (b. 1967) graduated from the Faculty of Mathematics at Far Eastern State University with a degree in Applied Mathematics in 1989, Doctor of Technical Sciences (2022). Leading Researcher at the Laboratory of Intelligent Systems at the Institute for Automation and Control Processes of the FEB RAS, Associate Professor. In her list of scientific works there are over 120 publications. Author ID (Scopus): 6508163590; ORCID: 0000-0001-5536-2875. shalf@dvo.ru.

Okun Dmitry Borisovich (b. 1973) graduated from Vladivostok State Medical University with a degree in General Medicine in 1996, Candidate of Medical Sciences (2000). Senior Researcher at the Laboratory of Intelligent Systems at the Institute for Automation and Control Processes of the FEB RAS. Author ID (RSCI): 642886; Author ID (Scopus): 57204598165; ORCID: 0000-0002-6300-846X. okdm@iacp.dvo.ru. 

Oleg Nikolaevich Shevchenko (b. 1999) is a postgraduate student at the Institute for Automation and Control Processes of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. He is a leading software engineer at the A.S. Kleshchev Laboratory of Intelligent Systems. His scientific interests include ontologies and knowledge bases, and intelligent decision support systems. ORCID: 0009-0002-5766-8055. oleg-555-13@mail.ru.

Received July 7, 2025. Revised August 15, 2025. Accepted August 25, 2025.
