

Е.А. ШАЛФЕЕВА, В.В. ГРИБОВА
**ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ МАШИНОПОНИМАЕМЫХ SMART-
СТАНДАРТОВ НА ОСНОВЕ ГРАФОВ ЗНАНИЙ**

Шалфеева Е.А., Грибова В.В. **Вопросы создания машино понимаемых SMART-стандартов на основе графов знаний.**

Аннотация. Развитие цифровой трансформации требует широкого использования новых технологий в документах по стандартизации. Одной из задач является создание стандартов с машино понимаемым содержанием, которые позволяют использовать цифровые документы на различных этапах разработки и производства без необходимости участия человека-оператора. Целью данной работы является описание подхода для создания и перевода в машино понимаемое представление нормативных документов отрасли для дальнейшего их использования в программных сервисах и системах. Содержимое SMART-стандарта бывает трех видов: машино читаемое, машино интерпретируемое и машино понимаемое. Для формализации данных и знаний при решении различных задач активно используются графы знаний. Предложен новый двухуровневый подход для создания и перевода в машино понимаемое представление нормативных документов как графов знаний. Подход определяет два вида интерпретации такого документа (человекочитаемость и машино понимаемость) через два связанных формата: граф, каждый семантический узел которого представляет текст на естественном языке, и сеть понятий и строгих связей. Каждому узлу «человекочитаемого» графа соответствует (в общем случае) поддерево машино понимаемого графа знаний. В качестве основы для обеспечения преобразования одной формы представления SMART-стандарта в другую форму служат LLM модели, дополняемые специализированным адаптером, полученным в результате дообучения с помощью подхода Parameter-Efficient Fine-Tuning. Установлены требования к набору проблемно- и предметно-ориентированных инструментальных средств формирования графов знаний. Показана концептуальная архитектура системы поддержки решения комплекса задач на основе SMART-документов в виде графов, установлены принципы реализации программных компонентов, работающих со знаниями, для интеллектуальных программных сервисов.

Ключевые слова: SMART-стандарт, нормативный документ, машино понимаемое представление, граф знаний, двухуровневое представление, LLM модели.

1. Введение. В настоящее время профессиональная деятельность в социально-экономической, технико-технологической, правовой, медицинской и других сферах невозможна без использования различных типов нормативных документов (рекомендации, своды правил, ГОСТы, инструкции, технические задания, технические условия и др.). Они концентрируют накопленный опыт и знания, которые необходимы для работы и принятия решений; устанавливают требования к продукции, услугам, процессам и системам; помогают обеспечить качество работ, эффективность процессов, повысить безопасность и надежность. Число таких документов непрерывно растет, они представляются в различных

текстовых форматах (.doc, .txt, .pdf и др.), могут включать таблицы, рисунки, формулы, графики.

Традиционные методы работы с документами имеют ограниченные возможности автоматизации их обработки, управления, применения, и, как правило, не совместимы с современными ИТ-технологиями. Такие документы понятны специалистам предметной области, но не являются машинопонимаемыми или машиноисполняемыми при решении различных задач отрасли.

Именно поэтому актуальной является разработка так называемых SMART-стандартов (от англ. SMART: Standards Machine Applicable, Readable and Transferable) [1, 2, 3], которые являются неотъемлемой частью Индустрии 4.0 и соответствует четвертому уровню развития цифровизации в сфере стандартизации по классификации ИСО/МЭК. Главная особенность этого уровня – достижение такого качества стандартов в электронном представлении (изложении), которое делает их машинопонимаемыми и машиноисполняемыми, то есть, наряду с возможностью чтения человеком, дает возможность обработки и использования информационными и киберфизическими системами, минуя человека [4]. Понимая исключительную важность и актуальность создания таких стандартов, 23 октября 2023 года Росстандарт утвердил первый из серии предварительных национальных стандартов на умные стандарты (ПНСТ 864-2023. Наименование: Умные (SMART) стандарты. Общие положения. Статус: Принят. Дата введения: 01.02.2024) [4]. Этот нормативный документ существенно влияет на цифровизацию экономики в целом и определяет разработку таких стандартов в качестве одной из приоритетных задач для всех отраслей.

Развитие цифровой трансформации требует создания стандартов с машинопонимаемым содержанием, которые позволят использовать умные документы на различных этапах разработки и производства без необходимости участия человека-оператора. В работах [5, 6] отмечается, что, несмотря на высокую актуальность, исследования в области создания SMART-стандартов недостаточно освещены в научных публикациях и рассматриваются сообществом исследователей как весьма специфическая тема. Их создание является сложной и важной научной задачей.

Целью данной работы является описание подхода для создания и перевода в машинопонимаемое представление нормативных документов отрасли для дальнейшего их использования в прикладных программных системах.

2. Материалы: SMART-стандарты. Умные стандарты (в рамках использования цифровых технологий в документах по стандартизации) представляют собой взаимосвязанные информационные модели, пригодные к автоматизированной обработке.

Согласно ПНСТ 864-2023 «Умные (SMART) стандарты. Общие положения» содержимое SMART-стандарта бывает трех видов: машиночитаемое, машиноинтерпретируемое и машинопонимаемое.

Первый формат – машиночитаемый, он нужен для обработки автоматизированными средствами и для представления в воспринимаемой человеком форме, с его помощью специалист может ознакомиться с текстом документа и проанализировать его самостоятельно. Как правило, это документы в форматах DOCX, PDF, HTML.

Второй тип – машиноинтерпретируемый, позволяет создавать человеко-ориентированные аналитические сервисы, в частности выделять из документа отдельные формулировки-требования. Применяет их в таком случае по-прежнему человек, но SMART-стандарты и созданные на их базе SMART-сервисы позволяют сэкономить много ресурсов на поиске, анализе и подборе этих требований под конкретную задачу, а также снизить количество ошибок при передаче информации и адресно доставить те или иные формулировки к рабочему месту специалиста. Такие человекочитаемые требования и другие SMART-данные можно экспортировать во внешнее прикладное программное обеспечение и автоматизировать проверку их актуальности. Как правило, это документы в форматах XML, XHTML. Методы автоматической интерпретации разнообразны: от подключения лингвистических методов до семантико-графового моделирования [7, 8, 9].

Третий тип – машинопонимаемый, он позволяет передавать в другие информационные системы и напрямую на оборудование машинопонимаемые данные, а также создавать машиноориентированные SMART-сервисы. Однако для качественных изменений в производительности труда мало цифровизировать отдельные предприятия – нужно, чтобы они взаимодействовали друг с другом в информационной среде. И здесь на помощь приходит мощный инструмент кооперации: стандартизированные документы в SMART-формате позволяют разным организациям обмениваться более полными данными, в т.ч. через коммуникацию информационных систем без участия человека. Назначение SMART-документов – быть не просто контентом, а информационной базой и базовым

компонентом создаваемых умных человеко- и машиноориентированных сервисов и специализированных программных систем.

Стандарты нормируют деятельность специалистов всех областей, и их применяют для разных профессиональных задач. Спектр задач охватывает:

- технический и нормативный контроль объектов и условий их существования,
- диагностику, определение нарушений и их причин,
- определение критичности состояния (угроз),
- определение потенциала устранения, планов исправления и доработки,
- поиск сведений (в т.ч. с фильтрами) или ответов на вопросы,
- критику предлагаемых решений,
- прогноз изменения состояния, мониторинг,
- подбор средств воздействия, планов построения, обработки, возделывания, и многое другое.

Стандарт, в отличие от художественных произведений, призван быть однозначным:

- каждое понятие ассоциируется с его точным определением и, возможно, местом в иерархии от общих понятий; возможно, сопровождается распространенными синонимами;
- каждая формулировка включает нормирующую или объясняющую «связку» понятий, условия, параметры, степень строгости, обязательности.

В настоящее время различные отрасли только формируют подходы и форматы к созданию SMART-стандартов. Именно поэтому исследования в этом направлении [1, 3, 10, 11] являются исключительно важной научной задачей.

В работе [12] предложен модульный подход к формированию содержимого SMART-документа. На основе существующих подходов к модульности проектируется такая концепция для формул и, в частности, разработка модуля формул. Идентифицируются и структурируются описательные элементы формул. Такие модули служат шаблоном для будущей документации формул в стандартах XML и потенциально применимы в рамках предоставления стандартов на основе контента без необходимости предоставления целых документов.

3. Методы: графы знаний. Для формализации данных и знаний при решении различных задач активно используются графы знаний; они используются для генерации рекомендаций, аналитических сведений, поддержки принятия решений, предиктивной аналитики. Одним из ключевых преимуществ графов знаний, специфичных для предметной области, является их возможность описывать сложные семантические связи предметной области, и, таким образом, обеспечить возможность отвечать на специфические вопросы предметной области, выявлять скрытые связи между элементами, т.е. они обеспечивают представление семантического контента в машинопонимаемом формате.

Графы знаний могут быть «общими», а также ориентированными на конкретные сценарии использования или задачи, второе считается наиболее актуальным [11, 13, 14]. Примерами таких сфер приложения графов знаний являются: обнаружение и предотвращение финансового мошенничества; оценка финансовых рисков; управление на соответствие нормативным требованиям; улучшение обслуживания, поддержки клиентов и предоставления им точной и контекстно-зависимой помощи с интеграцией данных о клиентах, информации о продуктах и вспомогательной документации; оптимизация грузовых перевозок, управление транспортными средствами; анализ дорожного движения в режиме реального времени; анализ исторических закономерностей о погоде; помощи прокладки оптимальных маршрутов для транспортных средств и многие другие.

Графы знаний активно используются и в медицине, их построение является «горячей точкой» исследований в области искусственного интеллекта. Технология построения и использования графов знаний имеет широкие перспективы применения в данной области [14, 15].

Построение графов знаний неуклонно прогрессирует от ручного до полуавтоматического и далее – к автоматическому их построению [15, 16, 17]. Для этого активно применяются различные технологии и подходы обработки естественного языка. Отмечается, что автоматизация создания графов знаний имеет преимущества, среди которых: снижение трудозатрат на проведение всех этапов построения графов знаний, улучшение функциональной совместимости, поддержка принятия решений в режиме реального времени, масштабируемость решений. Также отмечается сложность автоматизации формирования экспертных знаний. При создании графа знаний для конкретной предметной области необходимо учитывать

сложные семантические связи разных типов между объектами. Недостаточно точное и полное представление или упрощение семантических связей может привести к неэффективному процессу поиска решения [17].

В настоящее время для построения графов знаний активно используются большие языковые модели (Large Language Models – LLM) [14, 18]. Однако их известной проблемой являются «галлюцинации». Языковая модель, обученная на существующих данных, может не иметь доступа к последним результатам текущих исследований. Отсутствие актуальной информации может препятствовать способности модели генерировать контекстуально релевантные ответы, что может привести к устаревшим или неполным выводам, невозможно закодировать все доступные знания в параметрах LLM для всестороннего понимания.

Гипотеза исследования состоит в целесообразности использования графов знаний для разработки машинопонимаемых документов и стандартов.

Их создание может осуществляться вручную, для этого привлекаются эксперты предметной области и применяются инструменты редактирования графов знаний, часто управляемые онтологиями знаний предметной области.

Для автоматизации построения графов знаний используют методы анализа естественного языка; в настоящее время актуально использование LLM. Однако, несмотря на некоторые положительные результаты, проблема далека от решения и требует создания новых моделей, методов и подходов к созданию SMART-стандартов.

LLM, обученные (на существующих текстах по нужной тематике) пониманию вопросов и формированию ответов на вопросы, дорогостоящи и ориентированы на интерактивное взаимодействие с пользователем. Альтернативой является метод двух связанных предметно-ориентированных форматов – связанных предметно-ориентированных языков. Один подобен структурированному, упорядоченному, размеченному тексту. Второй – детализирует сведения в текстах смысловых элементов-концептов и связей. Именно детализированный предметно-ориентированный формат позволит обращаться к нужным фрагментам, манипулировать ими при решении либо объяснении некоторой задачи. Смысловые элементы записываются как узлы графов знаний, а связи образуют именованные дуги (ребра).

4. Методы: описание графового подхода к созданию SMART-стандартов. Главными свойствами умных стандартов является их

понятность человеку (с соответствующими профессиональными знаниями), пригодность и достаточность для стандартизируемой информации, а также «понятность» для программных сервисов, используемых при решении профессиональных задач в предметной области.

Интерес в SMART-стандартах, прежде всего, представляют знания. Здесь графы могут обеспечить понятное и естественное представление знаний, например, с именованнием дуг-связей узлов-понятий, с иерархией вложенности понятий, что отличается от других моделей представления знаний (например, в виде триплетов или правил).

Наличие редакторов графов знаний, дающих возможность при порождении новых элементов знаний выбирать их смысл и тип их «предметной» связи (предопределяемых онтологией знаний) с уже порожденными элементами знаний, делает более строгим процесс создания и редактирования и упрощает чтение таких структур. Некоторые редакторы графов знаний (с представлением информации «сверху-вниз») дополняют именованные дуги спецификаторами и ограничителями (и могут связывать с правилами интерпретации).

Но очевидно, что все профессиональное сообщество не готово перейти к чтению и особенно созданию документов, представленных такими графами. Представление документа в таком формальном виде, где каждому узлу графов знаний соответствует смысловые элементы (как атомарные элементы), а «предметным» связям – именованные дуги/ребра этих графов, эксперту предметной области, не всегда удобно. Понятность человеку и «понятность программам» являются отчасти противоположными целями: максимально структурированная для программной обработки информация не удобна для восприятия человеком.

Поэтому предлагается обеспечить два вида интерпретации нормативного документа (человекочитаемость и машинопонимаемость) через два связанных формата (два предметно-ориентированных языка). Один формат (машинопонимаемый уровень) – сеть понятий и строгих формулировок (часть онтологии предметной области), другой (человекочитаемый уровень) – граф понятий и связей, каждый узел которого представляет текст на естественном языке, соответствующий типу узла-контейнера. «Человекочитаемое» представление – некий «компромисс» между строгостью, однозначностью и удобством чтения и создания человеком; этому графу ставится в соответствие детализированное и формальное представление, предназначенное для обработки программными

сервисами. Иными словами каждому узлу «человекочитаемого» графа соответствует (в общем случае) поддерево машинопонимаемого графа знаний.

Формирование графовых знаний каждого из этих двух «уровней» должно осуществляться по своей структуре, но с использованием единой отраслевой лексики, присущей действующим нормативно-правовым актам (ограниченный русский язык).

В традициях онтологического подхода (где под управлением одной онтологии создается любое число баз знаний) на предметно-ориентированном языке одного и второго уровня может быть написано произвольное множество (класс) документов и их версий.

Схема общего подхода приведена на рисунке 1.

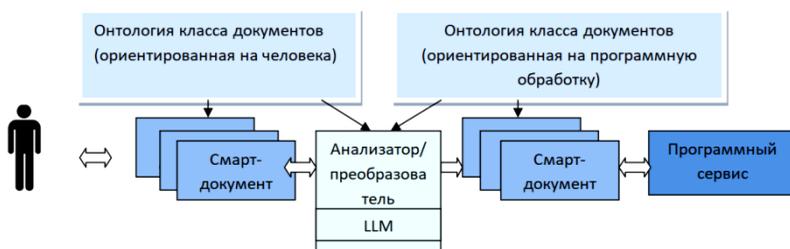


Рис. 1. Схематическое представление онтологического подхода к SMART-стандартам

5. Результаты: общая архитектура программного комплекса. Общая архитектура программного комплекса состоит из предметно и проблемно-независимых инструментальных средств, а также проблемно- и предметно-ориентированных. К таким инструментальным средствам относятся редактор онтологической (графовой) структуры, редакторы тезаурусов или баз терминов предметной области, редакторы графов знаний под управлением онтологии и с поддержкой лексикона из тезаурусов, визуализаторы человеко- и машинопонимаемых графовых документов отрасли в виде графов знаний.

В качестве инструментальной среды предлагается использовать платформу IACRaaS. Для формального представления онтологической структуры или структурных частей (модулей) онтологии предметной области применяется язык информации различных уровней общности (ИРУО, описан на <https://iacraas.dvo.ru/infores>) [19]. Онтологической структура строится как ориентированный граф (орграф) со

специальной разметкой, описывающей характеристики узлов (понятий) и отношений. Узлы орграфа делятся на два типа: нетерминалы и терминалы. Дуги орграфа описывают направленные отношения между парами понятий. Согласно нотации языка ИРУО отношения характеризуются набором спецификаторов, которые определяют правила порождения понятий и отношений в графах (графовых документах): $\text{copy}(=)$ – "копия"; $\text{one}(!)$ – "в точности один"; $\text{set}(+)$ – "непустое множество"; $\text{seq}(\Delta)$ – "непущая последовательность"; $\text{copymm}(=[])$ – "возможное отсутствие"; $\text{onemmm}(!)$ – "ноль или один"; $\text{setmm}(+[])$ – "возможно пустое множество"; $\text{seqmm}([\Delta])$ – "возможно пустая последовательность".

В качестве редакторов/просмотрщиков графов знаний могут выступать и другие редакторы, реализованные вне платформы IACPaaS, поскольку все графы знаний, созданные на платформе, экспортируются в Json-формат (и импортируются из него на платформу).

Предметно-ориентированными средствами являются терминологические базы знаний для каждой предметной области, для которой создаются умные стандарты (графовые документы отрасли), преобразователи человекопонимаемого стандарта в машинопонимаемый, все интерпретирующие и обрабатывающие их специализированные сервисы, размещаемые на специализированных порталах SMART-стандартов, в частности, на платформе IACPaaS.

В качестве основы для обеспечения преобразования одного формата представления SMART-стандарта в другой служат LLM модели. В качестве такой модели взята доступная модель Llama2. Для каждой предметной области LLM дополняется специализированным адаптером – проблемно-ориентированной надстройкой, полученной в результате дообучения LLM модели с помощью подхода PEFT (Parameter-Efficient Fine-Tuning), обеспечивающего тонкую настройку модели на требуемый класс задач на основе датасета из примеров, снижая при этом требования к памяти и вычислительным мощностям.

Анализатор текста, обращаясь к LLM модели с заданным адаптером, обеспечивает перевод текста из одного формата представления SMART-стандарта в другой. Результат формируется в формате JSON и экспортируется/импортируется на платформу IACPaaS. Удобные и понятные экспертам редакторы онтологий, средства просмотра и редактирования SMART-стандартов экспертами производятся на платформе IACPaaS, где создаются соответствующие порталы знаний (рисунок 2).

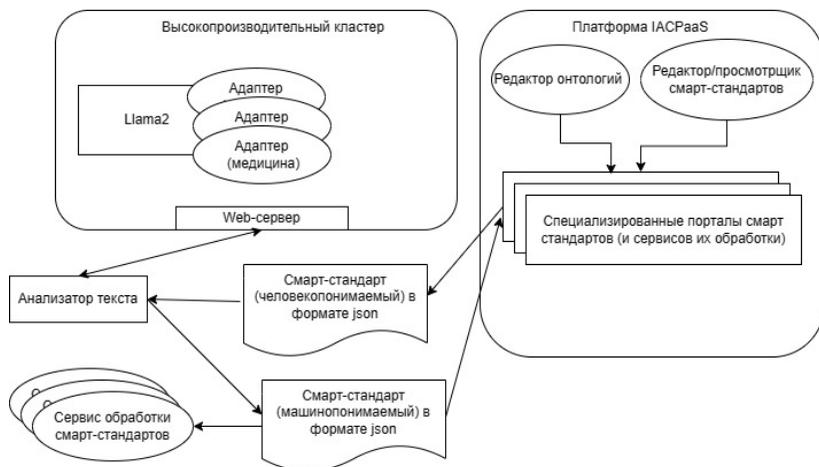


Рис. 2. Общая архитектура программного комплекса

Отдельной задачей является обеспечение качества преобразования человекопонимаемого SMART-стандарта в машинопонимаемый. В настоящее время данная задача исследуется. В качестве решений мы видим перманентное улучшение адаптера через расширение датасетов с примерами, использованием различных доступных LLM моделей, например, Mistral, Mixtral и др., и сравнение полученных результатов, а также настройкой различных гиперпараметров модели, например, получение одинакового результата при задании высокой «температуры» (температура – стандартный гиперпараметр LLM).

6. Результаты: примеры человеко- и машинопонимаемых SMART-стандартов. Рассмотрим примеры двухуровневого представления SMART-стандартов для предметной области «медицина» и «строительство».

Основным регламентирующим документом в медицине являются клинические рекомендации, которые определяют правила профилактики, диагностики, лечения, мониторинга и прогноза состояний пациента по различным заболеваниям [20, 21]. Каждая клиническая рекомендация представлена многостраничным документом с определенной в его оглавлении структурой. В общем случае – это текстовый документ, в некоторых случаях содержащий диаграммы и таблицы. Размеры этих документов варьируются в зависимости от заболевания и доходят (по одному заболеванию)

до 250 страниц текста (например, методические рекомендации по лечению covid-19, 18-ая версия [20]).

Рассмотрим фрагмент клинической SMART-рекомендации, вносимой через интерфейс семантического редактора, для описания этиологии и патогенеза (рисунок 3). Его компоненты требуются для решения разных задач (оценка риска, диагностика, прогноз, мониторинг) [21].

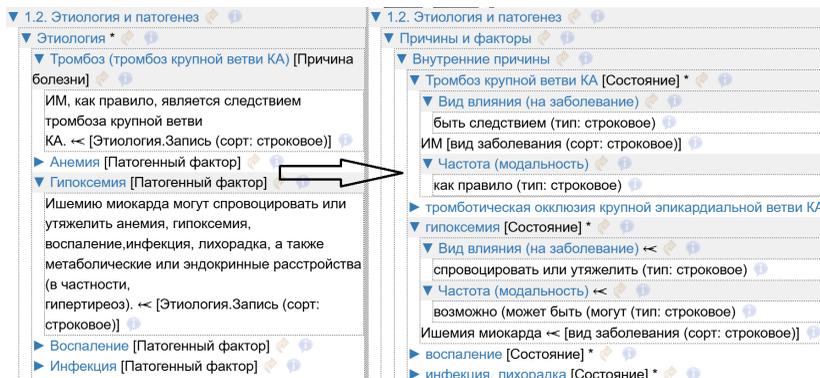


Рис. 3. Фрагмент двухуровневого представления клинической рекомендации

При обработке машинопонимаемой части стандарта (рисунок 3, справа) для потенциального запроса «Каковы наиболее частые внутренние причины этого заболевания?» ответ в терминах онтологии мог бы быть построен так:

найти в документе раздел «1.2. Этиология и патогенез»,
в разделе – подсеть «Причины и факторы. Внутренние причины»,

в подсети – все узлы типа-[состояние] с внутренним узлом типа-[Вид влияния (на заболевание)] с внутренним значением «быть следствием», и с внутренним узлом типа-[частота (модальность)], внутри которого значение = «как правило»,

и вывести значения таких найденных узлов типа-[состояние].

Были проведены эксперименты с вносимой через семантический редактор документации от технического комитета по стандартизации в сфере строительства (рисунок 4).

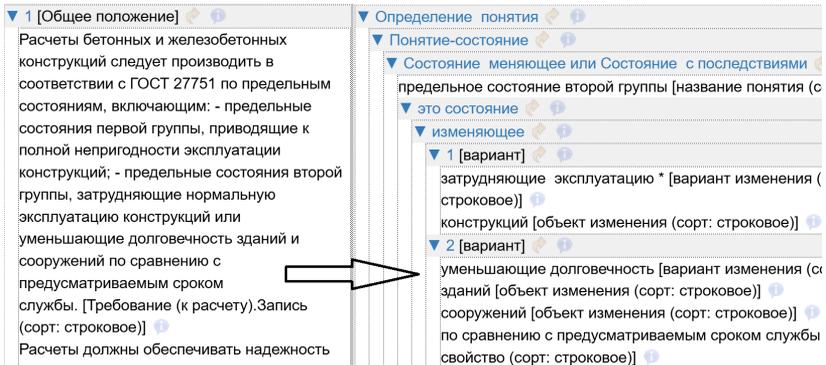


Рис. 4. Фрагмент двухуровневого представления SMART-свода правил

Пример потенциального запроса на способ расчета на изгиб бетонной конструкции без арматуры в терминах онтологии свода правил (рисунок 4, справа) может быть построен так: «Найти в документе узел [Требование] с внутренним узлом [Наименование объекта] = «бетонные конструкции» и с узлом [тип воздействия] = «изгиб»; найти в подсети найденного узла [Требование] узел [предельная величина], а в его подсети узел [формула] и показать его значение.

7. Анализ текста с помощью LLM. В общем случае процесс формирования графа знаний на основе текста является сложной и в целом пока неразрешимой проблемой, особенно для текстов, которые содержат сложные семантические связи. Примером является медицина. Вместе с тем, декомпозиция целостного текста на фрагменты, соответствующие элементам человекопонимаемого SMART-стандарта, упрощает процесс его семантического анализа. Каждому фрагменту человекочитаемого стандарта соответствует фрагмент онтологии машинопонимаемого стандарта.

Приведем пример разбора медицинского текста (из узла-контейнера в человеко-ориентированном графовом формате) с помощью обученной LLM. Возьмем фрагмент лечения COVID-19 с помощью препарата Фавипиравир [20]. Исходный текст:

«Механизм действия: Ингибирует РНК-зависимую РНК-полимеразу вируса SARS-CoV-2. Схема назначения. Таблетки. Для пациентов:

- с массой тела <75 кг: по 1600 мг 2 р/сут в 1-й день и далее по 600 мг 2 р/сут в 2-10-й дни;
- с массой тела 75 кг и более: по 1800 мг 2 раза/сут в 1-й день, далее по 800 мг 2 раза/сут со 2 по 10 день».

Результат обработки в формате JSON имеет следующий вид (Листинг 1):

```
{
  "name": "COVID-19",
  "meta": "Заболевание",
  "successors": [
    {
      "name": "Фавипиравир",
      "meta": "Рекомендуемый препарат",
      "successors": [
        {
          "name": "Механизм действия",
          "successors": [
            {
              "name": "Ингибирует РНК-зависимую РНК-полимеразу вируса SARS-CoV-2"
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ],
  {
    "name": "Схема назначения",
    "successors": [
      {
        "name": "1",
        "meta": "Вариант назначения",
        "successors": [
          {
            "name": "Таблетки",
            "successors": [
              {
                "name": "Суточная дозировка",
                "successors": [
                  {
                    "name": "Условие для дозировки",
                    "successors": [
                      {
                        "name": "Тип условия",
                        "successors": [
                          {
                            "name": "Блок критериев",
                            "successors": [
                              {
                                "name": "Масса тела < 75 кг",
                                "meta": "Критерий",
                                "successors": [
                                  {

```


промттов позволило уточнить запросы к модели и получить более релевантные и точные результаты.

В результате обработки текста с использованием LLM с fine-tuning и специализированными промптами, мы получили структурированные данные в формате json, этот json-формат может использоваться для обработки различными сервисами, а может быть импортирован на платформу IASaaS, на которой в настоящее время функционирует программная оболочка для создания систем поддержки принятия решений по назначению медикаментозного лечения.

Для валидации графовых знаний, проверки свойств качества написанных SMART-стандартов и обеспечения доверия к ним будут создаваться эталонные задачи для конкретных ситуаций на основе ранее решенных в предметной области. Будут применяться средства проверки решений, вырабатываемых по формализованным графовым базам знаний. Признаком готовности (но не гарантией) становится 100%-ное соответствие вырабатываемых результатов или решений эталонным. Критерии соответствия будут разрабатываться с учетом решаемых задач. На сегодняшний день хорошо понятны критерии правильности решения для задач типа диагностики и распознавания класса ситуаций или сущностей.

8. Заключение. Предложен новый двухуровневый подход для создания и перевода в машинопонимаемое представление нормативных документов для дальнейшего их использования в прикладных системах и интеллектуальных сервисах. Показана концептуальная архитектура системы поддержки решения комплекса задач на основе графов знаний, установлены принципы реализации программных компонентов для подготовки к интерпретации графового документа со знаниями.

Авторы считают, что процесс проецирования графа понятий и строгих формулировок в детализированный граф понятий и связей (с помощью LLM с fine-tuning и специализированными промптами) и построение графо-интерпретатора (решателя профессиональных задач пользователя) эффективнее «обучения» LLM «решению» таких профессиональных задач (определения нарушений, поиска по критериям и т.д.), поскольку формализованный граф знаний может быть использован для широкого класса сервисов, в то время как LLM необходимо обучать для каждого класса задач и этот процесс является достаточно дорогим. Кроме того, интерпретатор вырабатывает предсказуемый результат, а обученная LLM «решает» задачу с правдоподобным, но непрозрачным и нестабильным результатом,

поэтому предложенный авторами подход делает вклад в доверие к результатам применения SMART-стандартов. Вместе с тем проблема все еще не «закрыта», авторы продолжают работы в данном направлении, связанные, прежде всего, с обеспечением качества предложенных решений.

Литература

1. Smart Standards – From a market and industry perspective // Societal and technology trend report. URL: https://www.iec.ch/system/files/2023-10/iec_str_smart_standards_en_lr_0.pdf (дата обращения: 18.03.2024).
2. Елагин Ф.Н. Цифровые технологии стандартизации // Инновации и инвестиции. 2023. № 8. С. 243–246.
3. Денисова О.А., Дмитриева С.Ю. SMART-стандарты: нормативные документы для цифровой экономики будущего // Стандарты и качество. 2023. № 6. С. 42–44.
4. Предварительный национальный стандарт российской федерации. ПНСТ 864-2023. Умные (SMART) стандарты. Общие положения. Издание официальное. Москва: Российский институт стандартизации, 2023. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728306620> (дата обращения: 18.03.2024).
5. Van de Kaa G., Stoccutto S., Calderón C.V. A battle over smart standards: Compatibility, governance, and innovation in home energy management systems and smart meters in the Netherlands // Energy Research & Social Science. 2021. vol. 82.
6. Mutule A., Antoskova I., Papadimitriou C., Efthymiou V., Morch A. Development of Smart Grid Standards in View of Energy System Functionalities // 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). IEEE, 2021. pp. 1–6. DOI: 10.23919/SpliTech52315.2021.9566337.
7. Peleg M. Computer-interpretable clinical guidelines: A methodological review // Journal of biomedical informatics. 2013. vol. 46. № 4. pp. 744–763.
8. Young O., Shahar Y., Liel Y., Lunenfeld E., Bar G., Shalom E., Martins S., Vaszar L., Marom T., Goldstein M.K. Runtime application of Hybrid-Asbru clinical guidelines // Journal of biomedical informatics. 2007. vol. 40. no. 5. pp. 507–526.
9. Novais P., Oliveira T., Satoh K., Neves J. The Role of Ontologies and Decision Frameworks in Computer-Interpretable Guideline Execution // Synergies between Knowledge Engineering and Software Engineering. 2018. vol. 626. pp. 197–216.
10. Головин С.А., Лоцманов А.Н., Тихомиров С.Г. Цифровая трансформация стандартизации требует системного подхода и практических действий // ИТ-Стандарт. 2023. № 3. С. 4–22.
11. Liu J., Peng G. Designing a Smart Standards Information Service: A Research Framework // International Conference on Human-Computer Interaction. Cham: Springer Nature Switzerland. 2023. pp. 348–365.
12. Luttmner J., Ehring D., Pluhnu R., Kocks C., Nagarajah A. SMART Standards: Modularization Approach for Engineering Standards // Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. 42nd Computers and Information in Engineering Conference. 2022. vol. 2(42). DOI: 10.1115/DETC2022-88206.
13. Zhong L., Wu J., Li Q., Peng H., Wu X. A Comprehensive Survey on Automatic Knowledge Graph Construction // ACM Computing Surveys. 2023. vol. 56. no. 4. pp. 1–62.
14. Qu J. A Review on the Application of Knowledge Graph Technology in the Medical Field // Scientific Programming. 2022. vol. 2022. 12 p.

15. Sezgin E., Hussain S.A., Rust S., Huang Y. Extracting medical information from free-text and unstructured patient-generated health data using natural language processing methods: feasibility study with real-world data // *JMIR Formative Research*. 2023. vol. 7.
16. Melnyk L., Dognin P., Das P. Knowledge graph generation from text // *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2211.10 511v1. 13 p.
17. Ibáñez L-D., Domingue J., Kirrane S., Seneviratne O., Third A., Vidal M-E. Trust, Accountability, and Autonomy in Knowledge Graph-Based AI for Self-Determination // *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2310.19503. 33 p. DOI: 10.48550/arXiv.2310.19503.
18. Sajid H. Combining Large Language Models and Knowledge Graphs. URL: <https://www.wisecube.ai/blog/combining-large-language-models-and-knowledge-graphs/> (дата обращения: 15.03.2024).
19. Грибова В.В., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Платформа IACPaaS для разработки систем на основе онтологий: десятилетие использования // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2022. № 4. С 55–65.
20. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 18. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/064/610/original/BMP_COVID-19_V18.pdf (дата обращения: 15.03.2024).
21. Клинические рекомендации. Острый инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST электрокардиограммы. 2020. 157 с. URL: https://cardioweb.ru/files/glavny-kardiolog/rekomendation/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BD_%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%9E%D0%9A%D0%A1_%D1%81_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BC_ST_2020.pdf (дата обращения: 18.03.2024).

Шалфеева Елена Арефьевна — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория интеллектуальных систем, Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. Область научных интересов: онтологический инжиниринг, интерпретируемые клинические руководства, технология создания систем с декларативными знаниями, объяснительный искусственный интеллект, управление базами знаний. Число научных публикаций — 170. shalf@dvo.ru; улица Радио, 5, 690041, Владивосток, Россия; р.т.: +7(423)231-0424.

Грибова Валерия Викторовна — д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, научный руководитель лаборатории, лаборатория интеллектуальных систем, Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. Область научных интересов: онтологии и базы знаний, прикладные и проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях, управление базами знаний. Число научных публикаций — 280. gribova@iacp.dvo.ru; улица Радио, 5, 690041, Владивосток, Россия; р.т.: +7(423)231-3999.

Поддержка исследований. Работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН (тема FFW-2021-0004 – подход для создания нормативных документов как двухуровневых графов знаний), и ДВФУ (тема FZNS-2023-0010 – подход для перевода с помощью LLM моделей нормативных документов в машиночитаемое представление).

E. SHALFEEVA, V. GRIBOVA

THE ISSUES OF CREATION OF MACHINE-UNDERSTANDABLE SMART STANDARDS BASED ON KNOWLEDGE GRAPHS

Shalfееva E., Gribova V. The Issues of Creation of Machine-Understandable Smart Standards Based on Knowledge Graphs.

Abstract. The development of digital transformation requires the widespread use of digital technologies in standardization documents. One of the goals is to create standards with machine-understandable content that will allow the use of digital documents at various stages of development and production without the need for a human operator. The purpose of this work is to describe an approach for creating and translating industry normative documents into a machine-understandable representation for their further use in software services and systems. There are three types of SMART standard content: machine-readable, machine-interpretable, and machine-understandable. Knowledge graphs are actively used to formalize data and knowledge when solving various problems. The new two-level approach is proposed for the creation and translation into a machine-understandable representation of regulatory documents as knowledge graphs. The approach defines two types of interpretation of a smart document (human readability and machine understandability) through two related formats: a graph, each semantic node of which represents text in a natural language, and a network of concepts and strict connections. Each node of a human-readable graph corresponds (in general) to a subtree of a machine-readable knowledge graph. As the basis for ensuring the transformation of one form of smart standard representation into another form, LLM models are used, supplemented by a specialized adapter obtained as a result of additional training using the Parameter-Efficient Fine-Tuning approach. Requirements have been established for a set of problem- and subject-oriented tools for generating knowledge graphs. The conceptual architecture of the system for supporting the solution of a set of problems based on knowledge graphs is shown, and the principles for implementing software components that work with smart knowledge for intelligent software services are established.

Keywords: smart standard, regulatory document, machine-understandable representation, knowledge graph, two-level representation, LLM models.

References

1. Smart Standards – From a market and industry perspective // Societal and technology trend report. Available at: https://www.iec.ch/system/files/2023-10/iec_str_smart_standards_en_lr_0.pdf (accessed: 18.03.2024).
2. Elagin F.N. [Digital standardization technologies]. Innovacii i investicii – Innovations and investments. 2023. no. 8. pp. 243–246. (In Russ.).
3. Denisova O.A., Dmitrieva S.Ju. [SMART standards: regulatory documents for the digital economy of the future]. Standarty i kachestvo – Standards and quality. 2023. no. 6. pp. 42–44. (In Russ.).
4. PNST 864-2023. Predvaritel'nyy natsional'nyy standart rossiyskoy federatsii. Umnyye (SMART) standarty. Obshchiye polozeniya [Preliminary national standard of the Russian Federation. Smart (SMART) standards. General provisions]. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728306620> (accessed: 18.03.2024).
5. Van de Kaa G., Stoccuto S., Calderón C.V. A battle over smart standards: Compatibility, governance, and innovation in home energy management systems and smart meters in the Netherlands. Energy Research & Social Science. 2021. vol. 82.

6. Mutule A., Antoskova I., Papadimitriou C., Efthymiou V., Morch A. Development of Smart Grid Standards in View of Energy System Functionalities. 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). IEEE, 2021. pp. 1–6. DOI: 10.23919/SpliTech52315.2021.9566337.
7. Peleg M. Computer-interpretable clinical guidelines: A methodological review. *Journal of biomedical informatics*. 2013. vol. 46. № 4. pp. 744–763.
8. Young O., Shahar Y., Liel Y., Lunenfeld E., Bar G., Shalom E., Martins S., Vaszar L., Marom T., Goldstein M.K. Runtime application of Hybrid-Asbru clinical guidelines. *Journal of biomedical informatics*. 2007. vol. 40. no. 5. pp. 507–526.
9. Novais P., Oliveira T., Satoh K., Neves J. The Role of Ontologies and Decision Frameworks in Computer-Interpretable Guideline Execution. Synergies between Knowledge Engineering and Software Engineering, 2018. vol. 626. pp. 197–216.
10. Golovin S.A., Locmanov A.N., Tihomirov S.G. [Digital transformation of standardization requires a systematic approach and practical actions]. *IT Standard – AT-Standart*. 2023. no. 3. pp. 4–22. (In Russ.).
11. Liu J., Peng G. Designing a Smart Standards Information Service: A Research Framework. *International Conference on Human-Computer Interaction*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. pp. 348–365.
12. Luttmner J., Ehring D., Pluhnu R., Kocks C., Nagarajah A. SMART Standards: Modularization Approach for Engineering Standards. *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. 42nd Computers and Information in Engineering Conference. 2022. vol. 2(42). DOI: 10.1115/DETC2022-88206.
13. Zhong L., Wu J., Li Q., Peng H., Wu X. A Comprehensive Survey on Automatic Knowledge Graph Construction. *ACM Computing Surveys*. 2023. vol. 56. no. 4. pp. 1–62.
14. Qu J. A Review on the Application of Knowledge Graph Technology in the Medical Field. *Scientific Programming*. 2022. vol. 2022. 12 p.
15. Sezgin E., Hussain S.A., Rust S., Huang Y. Extracting medical information from free-text and unstructured patient-generated health data using natural language processing methods: feasibility study with real-world data. *JMIR Formative Research*. 2023. vol. 7.
16. Melnyk I., Dognin P., Das P. Knowledge graph generation from text. *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2211.10511v1. 13 p.
17. Ibáñez L-D., Domingue J., Kirrane S., Seneviratne O., Third A., Vidal M-E. Trust, Accountability, and Autonomy in Knowledge Graph-Based AI for Self-Determination. *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2310.19503. 33 p. DOI: 10.48550/arXiv.2310.19503.
18. Sajid H. Combining Large Language Models and Knowledge Graphs. Available at: <https://www.wisecube.ai/blog/combining-large-language-models-and-knowledge-graphs/> (accessed: 15.03.2024).
19. Gribova V.V., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. [IACPaaS platform for ontology-based systems development: a decade of use]. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij – Artificial Intelligence and Decision Making*. 2022. no. 4. pp. 55–65. (In Russ.).
20. Vremennye metodicheskie rekomendacii. Profilaktika, diagnostika i lechenie novoj koronavirusnoj infekcii (COVID-19). Versija 18 (26.10.2023) [Temporary guidelines. Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 18]. Available at: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/064/610/original/BMP_COVID-19_V18.pdf (accessed: 15.03.2024).

21. Klinicheskie rekomendacii. Ostryj infarkt miokarda s podedom segmenta ST jelektrokardiogrammy [Clinical recommendations. Acute myocardial infarction with ST segment elevation of the electrocardiogram]. 2020. 157 p. Available at: https://cardioweb.ru/files/glavny-kardiolog/rekomendation/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BD_%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%9E%D0%9A%D0%A1_%D1%81_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BC_ST_2020.pdf (accessed: 18.03.2024).

Shalfieva Elena — Ph.D., Dr.Sci., Leading researcher, Laboratory of intelligent systems, Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests: ontological engineering, interpretable clinical guidelines, technology for creating systems with declarative knowledge, explanatory artificial intelligence, knowledge base management. The number of publications — 170. shalf@dvo.ru; 5, Radio St., 690041, Vladivostok, Russia; office phone: +7(423)231-0424.

Gribova Valeria — Ph.D., Dr.Sci., Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Deputy director for research, scientific director of the laboratory, Laboratory of intelligent systems, Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests: ontologies and knowledge bases, applied and problem-oriented knowledge-based systems, knowledge base management. The number of publications — 280. gribova@iacp.dvo.ru; 5, Radio St., 690041, Vladivostok, Russia; office phone: +7(423)231-3999.

Acknowledgements. The research was carried out within the state assignment of IACP FEB RAS (Theme FFWF-2021-0004 – an approach for translating models of regulatory documents into a machine-understandable representation using LLM), and the Far Eastern Federal University (Theme FZNS-2023-0010 – an approach for creating regulatory documents as two-level graphs knowledge).