ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.891.3:004.822 *Научная статья* DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-369-396

Подход к формализации базы знаний научного направления на примере онтологии проектирования

© 2026, Н.М. Боргест ✉, С.И. Ширинбегзода

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Аннотация

Цель статьи – предложить подход к формализации базы знаний разрабатываемого научного направления, который позволит определить место научного направления в общей картине имеющихся знаний, горизонты и пробелы в научном направлении, служить основой для создания инструментов оценки новых научных работ в этом направлении и включения подтверждённых результатов в его базу знаний. Базу знаний научного направления составляют только верифицируемые знания, опубликованные в рецензируемых изданиях. Для определения места научного направления используются научные классификации, включая классификацию научных специальностей ВАК. В качестве примера рассмотрено научное направление «онтология проектирования». Кроме одноимённого журнала, использовались научные публикации в родственных научных журналах, трудах конференций и форумов, которые составили ядро базы знаний научного направления. Для создания локальной базы знаний научного направления используются алгоритмы машинного обучения. Локальное хранение и использование контролируемой базы знаний снижает риск формирования ответов, не подтверждённых включёнными в неё источниками, и позволяет применять такую систему при входном контроле и рецензировании новых работ с соблюдением требований конфиденциальности и норм научной этики. Предложена структура базы знаний научного направления, включающая библиографические сведения, содержание работ, понятия, связи между ними и доказательные основания утверждений. Каждое утверждение связывается с первоисточником и подтверждающим фрагментом, что обеспечивает возможность его проверки. Выполнено сопоставление построенного графа знаний, основанного на статьях в журнале «Онтология проектирования», и данных *OpenAlex*. Проведено предварительное сопоставление журнальных публикаций с паспортами научных специальностей ВАК. Возможность представления и проверки знаний рассмотрена на примере трудов основоположника онтологии проектирования Витрувия. Предложенный подход позволяет структурировать научные знания, выявлять тематические пересечения и связи между публикациями, научными методами и результатами. Формируемая база знаний может использоваться для анализа развития научного направления, сопоставления новых результатов с накопленными знаниями, поддержки редакционной и рецензионной деятельности.

Ключевые слова: *онтология проектирования, база знаний, научное направление, компетентностные вопросы, проверка онтологии, научные специальности, Витрувий.*

Цитирование: *Боргест Н.М., Ширинбегзода С.И.* Подход к формализации базы знаний научного направления на примере онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2026. Т.16, №3(61). С.369-396. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-369-396.

Вклад авторов: *Боргест Н.М.* - постановка задачи, разработка концепции исследования, подбор источников; *Ширинбегзода С.И.* - разработка онтологической модели и базы знаний, визуализация результатов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта: средства искусственного интеллекта использовались при подготовке и оформлении отдельных рисунков и схем, а также пилотной версии онтологического ассистента. Авторы несут ответственность за все содержащиеся в работе утверждения.

Введение

Научное направление (НН) развивается по мере накопления знаний, представленных в публикациях, в виде понятий, методов, моделей, проектных решений и результатов исследований [1-5]. С увеличением числа публикаций усложняется анализ их содержания. Для понимания современного состояния НН необходимо отмечать новые знания, прослеживать развитие понятий, сопоставлять применяемые методы и результаты, выявлять вопросы, требующие дальнейшего изучения. Решение этих задач предполагает дополнение библиографического поиска структурированным представлением содержания научных публикаций.

Тематический научный журнал может служить одним из центров развития НН: объединять исследователей, поддерживать обсуждение их общих научных проблем и обеспечивать преемственность понятий, методов и получаемых результатов. При этом границы НН определяются не конкретным изданием, а содержанием исследований и могут охватывать статьи журналов, монографии, материалы конференций, научных форумов и другие источники научной информации.

В настоящей работе в качестве примера рассматривается НН «онтология проектирования» (ОП) как сформировавшаяся предметная область (ПрО) со своим объектом, предметом и методом. Объектом выступает проектная деятельность – информационная подготовка к созданию и изменению искусственных объектов; предметом – знания об этой деятельности: понятия, отношения, требования, ограничения и принимаемые решения субъектом деятельности[1]; методом – онтологический анализ, то есть выявление сущностей ПрО, их свойств и связей, формальное описание и проверка согласованности полученного представления. Именно такое понимание ОП принято в настоящей работе и определяет состав классов и отношений предлагаемой модели.

Научный базис НН сформулирован в [3], основные термины уточнены в [4], границы дисциплины рассмотрены в [5], истоки – в [6], процесс становления – в [7, 8]. Задача классификации наук связана с разработкой онтологии науки [9]. Исследования понятия «множество» [10] и различий между системным и онтологическим анализом [11] имеют значение для обоснованного выбора классов и отношений создаваемой базы знаний (БЗ) НН. Обзор состояния компьютерных онтологий [12], модель связей между терминами тезауруса [13] и сравнение языков описания онтологий [14] уточняют способы формального представления знаний. Эту основу дополняют методы построения онтологий научных ПрО [15], использования онтологических шаблонов [16] и создания средств работы с БЗ [17].

Современные исследования методологии НН дополняют эту основу методами построения онтологических графов знаний (ГЗ) [18, 19], анализом аргументативных отношений и извлечением информации из научных текстов [20, 21], методами извлечения знаний из документов [22], представлением научных понятий в онтологиях [23], а также построением и автоматизированным расширением ГЗ научных организаций и ПрО [24-26].

За время существования журнала «Онтология проектирования» сформирован значительный массив публикаций, содержащих сведения об объектах исследований, поставленных задачах, применяемых методах, проектных решениях и полученных научных результатах. Эти сведения распределены между отдельными текстами, а содержательные связи между публикациями не представлены в общей формальной структуре. Это затрудняет анализ накопленных результатов и определение места новых исследований в структуре НН ОП.

В работе предлагается подход к формированию БЗ НН (БЗНН) на основе онтологии НН (ОНН). ОНН определяет классы объектов, их свойства, отношения и ограничения; БЗНН включает описанные в соответствии с онтологией сведения, извлечённые из публикаций, а

[1] О субъекте см. статью «От редакции» в этом номере журнала.

также ссылки на источники, подтверждающие включённые утверждения. Такое представление создаёт основу для поиска и анализа накопленных научных знаний [27, 28].

БЗНН может применяться для изучения структуры НН: распределения публикаций по ПрО, исследуемым объектам, поставленным задачам, использованным методам и полученным результатам. На этой основе возможно выделять наиболее разработанные темы, вопросы, требующие дополнительного исследования, а также находить работы со сходными задачами, объектами или ограничениями. Выявленные связи могут служить основанием для рассмотрения возможности переноса методов, подходов или отдельных результатов между различными ПрО. Обоснованность и допустимость такого переноса должны оцениваться специалистом соответствующей области знаний.

Перспективное применение БЗНН связано с предварительным анализом новых научных рукописей. Сопоставление их содержания с опубликованными работами может помогать находить близкие исследования, уточнять связь заявленных результатов с накопленными знаниями и выявлять возможные содержательные несогласованности. Такая поддержка должна рассматриваться как информационный инструмент для редактора и рецензента, а не как замена экспертной оценки [29].

1 Постановка задачи

В работе предлагается подход к решению задачи формализации БЗНН. Под формализацией понимается разработка общей структуры, которая объединяет библиографические сведения, описание содержания исследований и связей между ними. Каждое включённое в БЗНН утверждение должно сопровождаться данными, позволяющими установить его происхождение и проверить соответствие первоисточнику.

Объект исследования – процесс формирования БЗНН на основе научных публикаций.

Предмет исследования – структура БЗНН, способы представления объектов и отношений, требования к указанию источников сведений, а также методы проверки модели.

Цель исследования – предложить подход к формализации БЗНН на примере НН ОП, определив структуру, порядок наполнения и способы проверки включаемых в БЗНН данных.

При наполнении БЗНН необходимо различать сведения из первоисточника, их формальное представление, экспертные пояснения и результаты автоматической обработки. Качество БЗНН определяется формальной корректностью модели и соответствием представленных сведений первоисточникам и поставленным задачам.

Средства искусственного интеллекта (ИИ) рассматриваются как вспомогательный инструмент обработки научных публикаций. Автоматически полученные результаты требуют проверки специалистом до их включения в состав подтверждённых сведений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать структуру БЗНН, определив классы объектов, свойства, отношения, ограничения и правила связи утверждений с первоисточниками;
- предложить методику построения, наполнения, верификации и валидации БЗНН с разграничением автоматизируемых операций и действий, требующих экспертной проверки;
- определить инструменты формирования и использования локальной БЗНН с учётом воспроизводимости обработки, сохранения сведений об источниках, конфиденциальности рукописей и требований к применению ИИ;
- показать возможность формального представления знаний на примере труда Витрувия;
- сопоставить публикации журнала «Онтология проектирования» с тематической классификацией *OpenAlex* и паспортами научных специальностей (НС) ВАК.

2 Состав базы знаний научного направления

ОНН описывает схему понятий и связей, используемую в БЗНН: ОНН = (C, P, A), где C – множество классов; P – множество свойств, включающее объектные отношения и свойства данных; A – множество аксиом и ограничений. Экземпляры классов и утверждения о них образуют содержательное наполнение БЗНН и не включаются в ОНН. Например, конкретная научная статья является экземпляром класса «Публикация», её автор – экземпляром класса «Автор», а применённый в исследовании способ – экземпляром класса «Метод». Состав понятий, связей и ограничений определяется с учётом границ ПрО и научных источников. Достаточность модели для решаемых задач проверяется с помощью компетентностных вопросов, ответы на которые должна обеспечивать БЗНН. Логический вывод позволяет получать следствия и выявлять противоречия в формализованной модели [18, 19].

Множество классов ОНН разделено на четыре функциональные группы. Составы групп и классов приведены на рисунке 1 и в таблице 1.

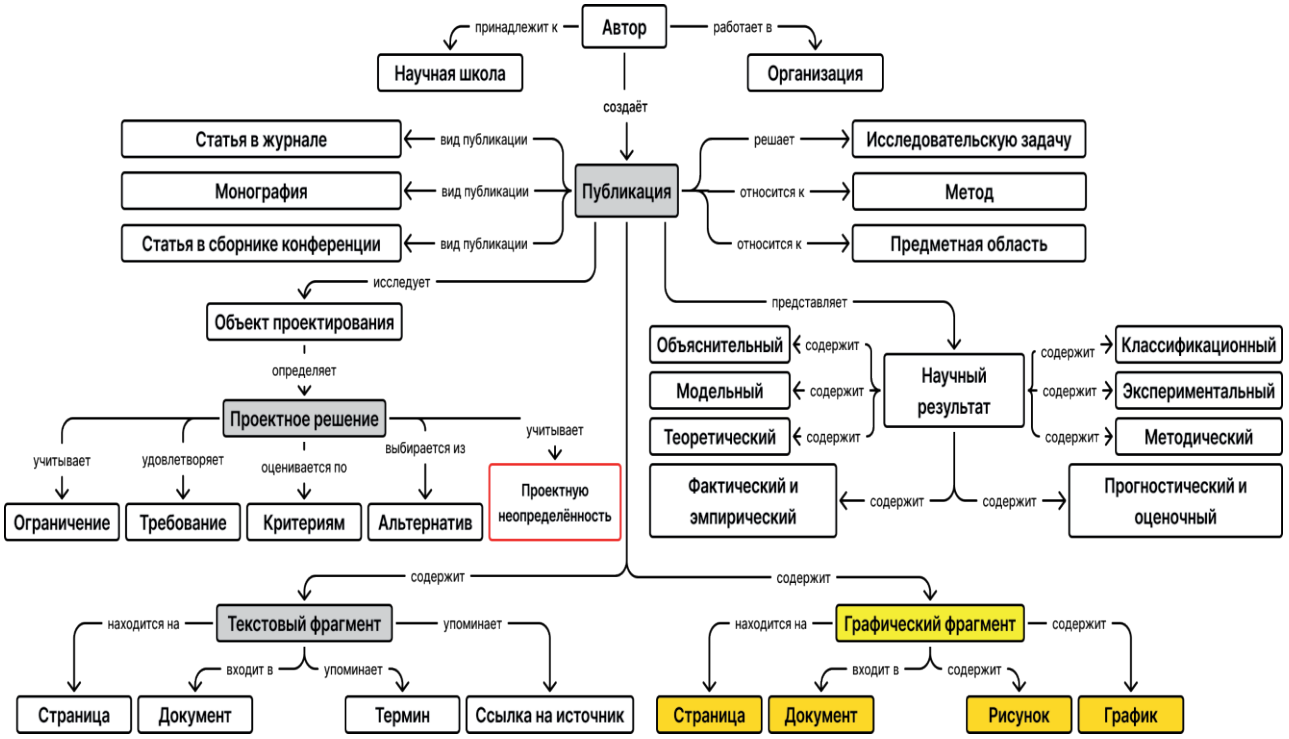


Рисунок 1 – Укрупнённая структура базы знаний научного направления

Таблица 1 - Группы и основные классы онтологии научного направления

Группа	Классы онтологии
Публикации и участники научной деятельности	Публикация: статья в журнале; монография; статья в сборнике конференции; автор; организация; научная школа
Содержание исследования	Предметная область; исследовательская задача; научный результат
Процесс проектирования	Объект проектирования; проектное решение; метод; ограничение; требование; критерий; альтернатива; (проектная неопределённость как свойство всех классов)
Источники и подтверждение сведений	Документ; страница; текстовый фрагмент; графический фрагмент; термин; ссылка на источник; рисунок; график

Основные связи между функциональными группами классов задаются правилами и последующим описанием отношений и проверяемых утверждений (см. таблицы 2–5).

Таблица 2 – Основные понятия процесса проектирования и правила создания экземпляров

Понятие	Рабочее определение	Проверочный вопрос	Условие, при котором экземпляр не создаётся
Объект проектирования	Объект, создание или изменение которого осуществляется в процессе проектирования и в отношении которого принимаются проектные решения	Какой объект создаётся или изменяется, и в отношении какого объекта принимаются проектные решения?	Если объект только упоминается в источнике и не является объектом создания, изменения или принятия проектного решения
Проектная деятельность	Деятельность человека, группы лиц или организации, направленная на информационную подготовку создания или изменения явно указанного объекта	Какой объект создаётся или изменяется, кто выполняет деятельность, и какие действия образуют процесс?	Если публикация только анализирует понятия или явления и не описывает создание либо изменение объекта
Этап проектирования	Часть проектной деятельности с собственной задачей, исходными условиями и результатом	С чего начинается этап, какая задача на нём решается и чем он завершается?	Если проектная деятельность не подтверждена либо в источнике нельзя обоснованно выделить границы этапа
Проектное решение	Зафиксированный выбор свойств, структуры или способа создания либо изменения объекта, сделанный субъектом проектирования	Кто принимает решение, какие варианты рассматривались, и какой вариант выбран?	Если в тексте отсутствует подтверждённый выбор, относящийся к создаваемому или изменяемому объекту
Требование	Обязательное условие, которому должен удовлетворять объект, процесс или результат проектирования	Кем или каким источником установлено условие, и что именно требуется выполнить?	Если приведено только желательное свойство, рекомендация или общий тезис без признака обязательности
Ограничение	Дополнительное условие задачи (технологии, ресурсы и др.), уменьшающее множество допустимых вариантов решения	Какое условие ограничивает выбор, и какие варианты оно исключает или делает недопустимыми?	Если речь идёт только о границе понятия или области исследования, а не об ограничении проектного выбора
Критерий	Показатель или правило, используемое для сравнения и выбора допустимых вариантов	По какому показателю или правилу сравниваются варианты, и как принимается решение?	Если приведён показатель результата, но не показано его использование при сравнении или выборе вариантов
Альтернатива	Вариант проектного решения, рассмотренный в процессе проектирования	Какие варианты рассматривались, и какой из них был выбран?	Если сопоставляемые объекты или понятия не являются вариантами решения
Субъект проектирования	Человек, группа лиц или организация, которые участвуют в выработке или принятии проектного решения	Кто вырабатывает или принимает решение, и каким фрагментом источника подтверждена эта роль?	Если известен только автор публикации, но его участие в проектировании в источнике не подтверждено
Проектная неопределённость	Недостаточность, неполнота или неоднозначность исходной информации, учитываемая при выборе проектного решения	Неопределённость каких параметров, условий, критериев, моделей учитывается при выборе проектного решения, и каково влияние этих неопределённостей?	Если неопределённость не связана с выбором, обоснованием или принятием проектного решения

В предметной части ОНН описывается процесс проектирования и связанные с ним сущности. Состав понятий сформирован с учётом терминологии и подходов, представленных в работах по ОП [3-11]. Экземпляр соответствующего класса создаётся только при наличии содержательного основания в анализируемой публикации. Связи между экземплярами устанавливаются только при наличии подтверждения в источнике. Содержательные соответствия

между ними оформляются как отдельные проверяемые утверждения. При формировании БЗНН необходимо разграничивать сущности, близкие по представлению, но различающиеся по назначению.

Для организации сведений в БЗНН выделяются четыре взаимосвязанных информационных слоя: библиографический, документный, понятийный и доказательный (см. таблицу 3). Такое деление характеризует функции сведений при их хранении, связывании и проверке.

Таблица 3 – Основные информационные слои базы знаний научного направления

Информационный слой	**Основные элементы**	**Назначение**	**Связь с другими слоями**
Библиографический	Публикация, автор, организация, журнал, том, выпуск; цитирование	Идентификация публикации и фиксация её библиографического контекста	Публикация связывается с одним или несколькими документами
Документный	Документ, страница файла, номер страницы, текстовый и графический фрагмент, координаты фрагмента, рисунок, график, ссылка на источник	Точная адресация и воспроизводимое извлечение фрагментов исходного текста и графических материалов	Фрагменты служат основаниями проверяемых утверждений и содержат употребления терминов
Понятийный	Термин, понятие, вариант наименования, рубрика, предметная область, научная школа	Нормализация терминологии и смысловое связывание сведений из разных публикаций	Текстовые и графические фрагменты связываются с соответствующими нормализованными понятиями
Доказательный	Проверяемое утверждение, тип утверждения, основание утверждения, статус проверки, сведения о проверке, история изменений	Разграничение подтверждённых утверждений, исходных текстовых и графических фрагментов и результатов автоматического анализа	Утверждение связывается с подтверждающими фрагментами либо, при логическом выводе, с исходными утверждениями и правилом вывода

Проверяемое утверждение – самостоятельная формулировка, связанная с объектами ОНН, основанием и статусом проверки. При его формировании сохраняется модальность исходного текста: формулировки «может», «предполагается» и «доказано» не рассматриваются как взаимозаменяемые.

Между текстовыми фрагментами и непосредственно извлечёнными проверяемыми утверждениями может устанавливаться отношение типа «многие ко многим»: одно утверждение может подтверждаться несколькими фрагментами источника, а один фрагмент – служить основанием для нескольких утверждений. Для такого утверждения обязательным условием присвоения статуса «проверенное» является наличие одного или нескольких подтверждающих фрагментов.

Для утверждения, полученного логическим выводом, должны быть зафиксированы проверенные исходные утверждения, применённое правило вывода и последовательность получения результата. Способ получения должен быть явно указан, чтобы выведенные утверждения однозначно отличались от утверждений, подтверждённых текстом источника.

Качество БЗНН оценивается по полноте и корректности записей, прослеживаемости оснований, доступности источников и воспроизводимости обработки [30]. Для записей в БЗНН определяется минимальный состав сведений, необходимый для их идентификации, связывания с другими элементами БЗ и проверки (см. таблицы 4 и 5).

Автоматически сформированные записи первоначально рассматриваются как кандидаты и получают проверенный статус только после соответствующей проверки. Результаты автоматического анализа не заменяют исходные сведения и их доказательные основания. Критерии качества структурированной базы знаний представлены в таблице 6.

Таблица 4 - Минимальный состав сведений проверяемого утверждения

Поле	Содержание	Проверка
Идентификатор	Устойчивый интернационализированный идентификатор ресурса (IRI) либо иной уникальный идентификатор (ID), принятый в БЗНН	Уникальность идентификатора и соблюдение принятой политики версий
Тип утверждения	Определение, тезис, научный результат, ограничение, проектное решение и другие предусмотренные типы	Соответствие значению из контролируемого перечня типов утверждений
Формулировка	Краткая самостоятельная формулировка, сохраняющая содержание и модальность исходного основания	Сопоставление с основанием и проверка отсутствия смыслового усиления, ослабления или искажения
Связанные объекты	Классы и экземпляры ОНН, к которым относится утверждение	Корректность смысловой связи утверждения с соответствующими объектами
Способ получения	Непосредственное извлечение из одного фрагмента; обобщение нескольких фрагментов; логический вывод	Для обобщения – наличие адресуемого основания для каждой части; для логического вывода – воспроизводимая цепочка исходных утверждений и правила
Основание	Для непосредственно извлечённого утверждения – один или несколько подтверждающих фрагментов; для выведенного – проверенные исходные утверждения и зафиксированное правило вывода	Доступность и точная адресация фрагментов либо воспроизводимость цепочки логического вывода
Сведения об источнике и обработке	Документ-источник, способ выделения фрагмента, исполнитель или средство обработки, дата обработки и версия применённых правил	Полнота сведений, необходимых для восстановления источника и процесса формирования записи
Статус проверки	Кандидатное, проверенное, отклонённое, требующее уточнения или устаревшее утверждение	Допустимость текущего статуса и корректность перехода между статусами

Таблица 5 - Правила проверки основных типов записей базы знаний научного направления

Тип записи	Минимальные сведения	Проверка
Публикация	Название, тип, авторы, год, источник издания, библиографический идентификатор при наличии	Сверка с первоисточником и библиографическими системами
Документ	Идентификатор файла, источник получения, формат, дата получения	Проверка доступности файла и соответствия публикации
Страница	Ссылка на документ, порядковый номер в файле, печатный номер при наличии	Сверка отображения и печатной нумерации
Текстовый фрагмент	Документ, страница, границы или координаты, исходный текст, способ выделения	Однозначный переход к фрагменту и проверка достаточности контекста
Понятие	Устойчивый идентификатор, предпочтительная метка, варианты наименования, связи с другими понятиями	Предметная проверка значения и связей
Автор / организация	Устойчивая запись объекта, подтверждённые варианты имени или названия, внешние идентификаторы при наличии	Сопоставление по совокупности признаков и источникам
Проверяемое утверждение	Тип, формулировка, связанные объекты, основание, сведения о происхождении и обработке, статус проверки (см. таблицу 4)	Сопоставление с основанием и проверка допустимости статуса

При формировании БЗНН необходимо учитывать не только техническую доступность публикации, но и условия её лицензирования. Для материалов, распространяемых по открытым лицензиям *Creative Commons*, условия повторного использования, атрибуции и распро-

странения определяются соответствующей лицензией. В рекомендациях *Creative Commons* отдельно рассматривается применение открытых лицензий в условиях использования научных материалов системами ИИ [31]. Для используемой публикации в БЗНН фиксируются источник, условия доступа, тип лицензии и допустимый режим повторного использования.

Таблица 6 - Критерии качества структурированной базы знаний

Критерий	**Показатель**	**Способ проверки**	**Параметры оценки, задаваемые при применении**
Библиографическая полнота	Доля публикаций, для которых указаны автор, год, тип и источник	Автоматический отчёт и выборочная сверка с первоисточниками	Для проверенного слоя обязательные библиографические поля должны быть заполнены полностью
Качество сопоставления страниц	Доля проверенных пар среди всех сопоставлений; доля правильных пар	Случайная или стратифицированная контрольная выборка с ручной сверкой	Для утверждений со статусом «проверенное» адресация к основанию должна быть подтверждена
Прослеживаемость	Доля проверенных утверждений, для которых восстановлена полная цепочка до исходного документа	Проверка цепочки «утверждение - основание - документ - публикация»	Для статуса «проверенное» обязательна полная цепочка до источника либо воспроизводимая цепочка логического вывода
Содержательная корректность	Доля проверенных утверждений, принятых экспертами	Независимая повторная экспертная проверка выбранной выборки	Публикуются объём проверенной выборки, число согласованных решений и число разногласий
Воспроизводимость	Полнота описания обработки и доля повторных запусков, удовлетворяющих заранее заданному критерию совпадения	Проверка метаданных и повторное выполнение обработки на контрольном наборе	Для автоматически сформированных проверенных записей должны быть зафиксированы средство, версия и существенные параметры обработки
Доступность и адресуемость основания	Доля подтверждающих оснований, для которых обеспечена однозначная адресация к требуемому фрагменту источника	Проверка точности адресации к фрагменту в независимой среде с учётом установленных прав доступа	Для проверенного непосредственно извлечённого утверждения требуется однозначно адресуемое основание; для выведенного – воспроизводимая цепочка исходных утверждений
Актуальность	Доля записей, повторно проверенных после изменения источника, модели или правил обработки	Проверка зависимостей, версий и статусов записей	Изменение источника, схемы или правила обработки инициирует повторную проверку всех зависимых записей
Правомерность доступа и распространения данных	Доля записей, для которых установлен правовой режим использования; число случаев включения материалов, распространение которых не допускается	Проверка лицензии или иных условий использования и адреса доступа; контроль экспортируемой версии БЗНН	Для случаев неправомерного включения материалов в экспорт целевое значение равно нулю; правила хранения и доступа фиксируются до начала обработки

3 Инструментальные основы построения и проверки базы знаний

3.1 Системы поиска и представления научных знаний

Для формирования БЗНН используются два взаимодополняющих контура источников. Первый контур образуют научные публикации и профильные площадки, по которым формируется содержательный массив публикаций исследуемого направления. Второй включает поисковые, библиографические и идентификационные системы, применяемые для обнаружения публикаций, сверки выходных данных, авторства, организаций, идентификаторов и

связей цитирования. Эти контуры имеют различный статус: публикация или её правомерно доступное цифровое представление служит первичным основанием содержательной записи; поисковая система используется как средство навигации и проверки метаданных [32-34].

Контролируемое ядро массива публикаций формируется из источников, тематически связанных с ОП и смежными направлениями. Расширение массива публикаций необходимо для сопоставления терминологии, выявления альтернативных способов формализации и учёта международного контекста. Принадлежность материала к профильному журналу, конференции или научному сообществу не означает его автоматического включения в БЗНН: для каждой публикации требуется содержательная проверка её связи с классами и задачами НН. Основные источники публикаций для формирования ядра НН ОП приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Источники публикаций для формирования ядра базы знаний научного направления ОП

Источники	Используемые данные	Ограничения использования
Журнал «Онтология проектирования»[2]	Выпуски, статьи, страницы, библиографические сведения и полные тексты	Тематика журнала полностью соответствует НН ОП
Международная конференция «Знания – Онтологии – Теории»[3]	Доклады и статьи по онтологиям, базам знаний, извлечению знаний и формализации предметных областей	Материалы выходят по итогам конференций; релевантность публикаций БЗНН ОП определяется содержательно
Applied Ontology[4]	Статьи по формальным и прикладным онтологиям, моделям предметных областей и графам знаний	Тематика шире онтологии проектирования; требуется предметный отбор и проверка версии первоисточника
Design Science[5]	Статьи о процессах и методах проектирования, проектных знаниях, принятии решений и моделировании	Публикации включаются только при содержательной связи с объектами и задачами БЗНН ОП
Журнал «Искусственный интеллект и принятие решений»[6]	Статьи и обзоры по ИИ, представлению знаний, анализу и поддержке принятия решений	Факт применения ИИ не является основанием для включения работы в предметное ядро НН ОП
FOUST (Foundational Ontology Workshop)[7]	Работы по фундаментальным онтологиям и верхнеуровневым категориям	Связь с проектированием требует обоснования
FOIS (Formal Ontology in Information Systems)[8]	Работы по формальной онтологии, концептуальному моделированию и инженерии знаний	Требуется тематический отбор и проверка первоисточника
International Association for Ontology and its Applications (IAOA)[9]	Сведения о профильных журналах, конференциях и публикационных сериях	Используется как навигационный ресурс; в БЗНН ОП включаются конкретные публикации
Swiss Center for Ontological Research (SCOR)[10]	Сведения о проектах, мероприятиях и публикациях по онтологиям	Используется преимущественно для поиска и навигации
ONTOBRAS (Seminar on Ontology Research in Brazil)[11]	Материалы по онтологиям, моделированию и инженерии знаний	Включаются только релевантные публикации, проверенные по первоисточнику

[2]https://www.ontology-of-designing.ru/.
[3]https://math.nsc.ru/events/zont/2023.
[4]https://journals.sagepub.com/home/apo.
[5]https://www.cambridge.org/core/journals/design-science.
[6]https://www.aidt.ru/ru/.
[7]https://foust.inf.unibz.it/.
[8]https://iaoa.org/index.php/fois/.
[9]https://iaoa.org/.
[10]https://swissonto.ch/.
[11]https://www.inf.ufrgs.br/ontobras/en/

Поисковые и библиографические системы помогают обнаружить публикацию, уточнить её библиографическое описание, сопоставить варианты имени автора или организации, установить устойчивый идентификатор и найти доступную версию документа. В БЗНН сохраняется конкретное значение записи вместе с указанием источника, из которого она получена. Если сведения расходятся, то значения сопоставляются, фиксируется источник каждого из них, принимается документированное решение. Информационные системы, используемые в формировании БЗНН, приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Информационные системы в формировании локальной базы знаний научного направления

Ресурс	Использование в БЗНН	Ограничения использования
eLIBRARY.RU[12] (включая РИНЦ)	Поиск публикаций, сверка библиографических данных и получение текстов	Сведения требуют сверки с публикацией
ИСТИНА[13]	Уточнение авторства, аффилиации и публикационной деятельности организаций	Полнота и актуальность записей зависят от порядка ведения сведений организацией
КиберЛенинка[14]	Поиск публикаций и доступных полных текстов	Веб-представление не всегда сохраняет границы страниц; для адресации необходим PDF-файл
Scopus[15] / *Web of Science*[16]	Внешняя библиографическая и библиометрическая сверка публикаций	Полный текст может требовать отдельного доступа
Google Scholar[17]	Поиск и выявление публикаций, не обнаруженных в других источниках	Результаты формируются автоматически; полнота и устойчивость результатов не гарантируются
Crossref[18]	Проверка DOI и библиографических сведений о публикации	Полнота и качество метаданных зависят от сведений, переданных издателем
ORCID[19] / *ROR*[20]	Идентификация исследователей и организаций	Совпадение имени или названия не подтверждает тождество; сведения требуют проверки
OpenAlex[21]	Навигация по научным объектам и сопоставление публикаций, авторов, организаций, тематик и цитирования	При использовании локального поиска фиксируется его дата; тематическая разметка проверяется по первоисточнику
Semantic Scholar[22]	Дополнительный анализ связей, цитирования и тематических признаков	Автоматически сформированные признаки используются как вспомогательные и проверяются по первоисточнику
arxiv.org[23]	Поиск и тематическая навигация по современным научным публикациям	Используется для обнаружения релевантных работ и предварительного анализа
ResearchGate[24]	Поиск публикаций, авторов и доступных версий работ	Используется как навигационный и дополнительный поисковый ресурс
The Knowledge Graph Conference (KGC)[25]	Поиск работ и материалов по графам знаний, семантическим технологиям и ИИ	Используется преимущественно как навигационный источник

[12] https://www.elibrary.ru/
[13] https://istina.msu.ru/
[14] https://cyberleninka.ru/
[15] https://www.scopus.com/
[16] https://www.webofscience.com/
[17] https://scholar.google.com/
[18] https://www.crossref.org/
[19] https://orcid.org/
[20] https://ror.org/
[21] https://openalex.org/
[22] https://www.semanticscholar.org/
[23] https://www.arxiv.org/
[24] https://www.researchgate.net/
[25] https://www.knowledgegraph.tech/

Поиск и библиографическая сверка являются подготовительным этапом. Фиксируются источник, дата получения и способ проверки; библиографическая запись идентифицирует публикацию, а содержательное утверждение получает статус только после проверки основания. Внешние онтологии и словари используются по принципу минимально необходимого повторного использования (см. таблицу 9).

Таблица 9 – Внешние онтологии, словари и идентификационные ресурсы в базе знаний научного направления

Назначение	Ресурсы	Использование в БЗНН	Правила и ограничения
Авторы и организации	*FOAF*[26]; *Schema.org*[27]; *W3C ORG*[28]; *ORCID*[29]; *ROR*[30]	Идентификация исследователей и организаций, представление имени и аффилиации	Совпадение имён и названий не подтверждает тождество. Аффилиация фиксируется в контексте конкретной публикации и не означает постоянного членства или должности
Библиографические сведения	*DCMI Metadata Terms*[31]	Название, автор, дата, язык, идентификатор, издание, права и лицензия	Значения библиографических полей должны иметь источник. Метаданные не используются как подтверждение содержания исследования
Тип и издательская структура публикации	*FaBiO*[32]; *FRBR*[33]; *PRISM*[34]	Тип публикации, журнал, том, выпуск, издательские сведения и связь публикации с её цифровыми представлениями	Публикация и цифровой документ рассматриваются раздельно. DOI относится к публикации, а контрольная сумма и сведения о версии - к конкретному файлу
Документ и его версии	*DoCO*[35]	Представление разделов, абзацев, предложений, таблиц, рисунков, библиографии и текстовых фрагментов	Для файла сохраняются идентификатор, формат, источник получения и контрольная сумма. При изменении файла создаётся новая документная версия; адреса фрагментов проверяются повторно
Понятия и терминология	*SKOS*[36]	Связывание вариантов написания, сокращений и наименований с нормализованными понятиями; представление иерархических и ассоциативных связей	Связи между понятиями вводятся только при содержательном основании. Совместное употребление терминов в одной публикации не устанавливает смысловую связь
Цитирование	*CiTO*[37]	Представление факта цитирования и, при достаточном основании, его функции	При недостаточном контексте фиксируется только нейтральный факт ссылки. Функция цитирования не определяется только по номеру библиографической ссылки
Происхождение и обработка записей	*PROV-O*[38]	Фиксация источника, операции обработки, исполнителя или программного средства, производной записи и версии	Происхождение записи характеризует процесс её формирования, но не подтверждает правильность содержательной интерпретации. Происхождение и статус проверки учитываются раздельно

[26] http://xmlns.com/foaf/spec/
[27] https://schema.org/
[28] https://www.w3.org/TR/vocab-org/
[29] https://orcid.org/
[30] https://ror.org/
[31] https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/
[32] http://purl.org/spar/fabio
[33] http://purl.org/vocab/frbr/core
[34] http://prismstandard.org/namespaces/basic/3.0/
[35] https://sparontologies.github.io/doco/current/doco.html
[36] https://www.w3.org/TR/skos-reference/
[37] https://sparontologies.github.io/cito/current/cito.html
[38] https://www.w3.org/TR/prov-o/

Ресурсы, рассматриваемые для повторного использования, выполняют разные функции. В таблице 9 ресурсы сопоставлены с элементами модели, для которых они могут использоваться. В основной части статьи используются только явно описанные классы, свойства и правила; выводы работы не зависят от внешней технической спецификации [35].

Внешние онтологии, словари и научные информационные ресурсы используются в БЗНН для представления отдельных типов сведений, их идентификации и связывания [36]. При этом сведения о происхождении записи, библиографические метаданные и результаты автоматического анализа не рассматриваются как самостоятельное подтверждение содержательного утверждения. Такое подтверждение устанавливается по конкретному фрагменту источника либо по зафиксированной цепочке логического вывода.

Для формального описания ОНН используется язык *OWL* 2. В предлагаемой модели применяется профиль *OWL* 2 *DL*, позволяющий представить классы, свойства, экземпляры и аксиомы, необходимые для структуры БЗНН.

3.2 Построение и проверка базы знаний

Построение БЗНН включает восемь этапов, которые задают требуемые результаты и проверки. Операции описывают практическую последовательность обработки публикаций. Предлагаемый порядок формирования БЗНН основан на сочетании принципов *METHONTOLOGY, NeOn, Ontology Development 101* и подходов к использованию компетентностных вопросов [37-40]. Их применение в БЗНН (см. таблицу 10) конкретизировано с учётом требования прослеживаемости утверждений до проверяемых источников.

Таблица 10 - Методические основания предлагаемого порядка построения базы знаний научного направления

Источник	Заимствуемый принцип	Применение в БЗНН
METHONTOLOGY [39]	Жизненный цикл, документирование, оценка и сопровождение	Этапы БЗНН имеют формально определённые входы, результаты, подтверждения, условия завершения и правила возврата
NeOn [40]	Повторное использование и эволюция внешних онтологий	До введения собственного элемента оценивается существующий ресурс; фиксируются решение, версия и основание повторного использования
Ontology Development 101 [41]	Итеративное уточнение области, классов, свойств и экземпляров	Результаты испытаний могут возвращать разработку к определениям, структуре классов, свойствам или примерам
Принципы онтологического проектирования [38]	Компетентностные вопросы и оценка пригодности модели	Каждый вопрос преобразуется в проверяемое испытание с данными, ожидаемым результатом и правилом приёмки

До начала наполнения БЗНН устанавливаются границы массива публикаций, критерии их включения, допустимые типы источников, обязательные сведения и перечень компетентностных вопросов. Полнота оценивается относительно заданных границ. Их изменение оформляется как новая итерация с повторной оценкой соответствующих результатов.

Для каждого этапа определяются исходные данные, выполняемое действие, ожидаемый результат, способ его подтверждения, условие завершения и правило возврата к предыдущим операциям при обнаружении несоответствий.

Основные этапы построения БЗНН:

1) определение границ области и формулирование вопросов;
2) отбор внешних онтологий и словарей;
3) описание понятий, свойств и обязательных сведений;
4) формализация онтологии НН;

5) наполнение БЗНН сведениями из источников;
6) техническая и логическая проверка;
7) содержательная экспертная проверка;
8) публикация проверенной версии БЗНН.

Формальное описание *i*-го этапа представляется кортежем:

$$\boldsymbol{e_i = \langle X_i, A_i, Y_i, E_i, C_i, R_i \rangle,\ i = 1, \dots, 8,}$$ где:

X_i - входные данные этапа, то есть сведения, документы, записи БЗНН или результаты предыдущих этапов, необходимые для выполнения текущей операции;

A_i - действие, выполняемое над входными данными, включающее автоматизированную обработку, формальное преобразование, сопоставление данных или экспертную проверку;

Y_i - результат этапа, который получается после выполнения действия, в форме, позволяющей проверить его наличие и соответствие установленным требованиям;

E_i - подтверждение результата, содержащее сведения, по которым можно установить, каким образом был получен результат и на каком основании он принимается;

C_i - условие завершения этапа, определяющее требования, при выполнении которых результат признаётся достаточным для перехода к следующему этапу;

R_i - правило возврата, определяющее дальнейшие действия при невыполнении условия C_i: повторную обработку данных, уточнение исходных сведений, исправление обнаруженного несоответствия или возврат к предыдущему этапу.

Условие завершения C_i устанавливается до выполнения этапа. Проверка выполняется путём сопоставления результата Y_i и подтверждающих его данных E_i с установленным условием C_i. Если условие выполнено, результат этапа принимается и может использоваться на следующем этапе. Если оно не выполнено, применяется правило возврата R_i. Это позволяет сохранять связь между выполненной операцией, полученным результатом и основанием для его принятия. Единый критерий завершения для всех этапов не устанавливается, поскольку характер проверяемых результатов различается.

Для каждой конкретной проверки до её выполнения определяются способ оценки, состав проверяемой выборки, правило принятия результата и порядок рассмотрения расхождений. Для количественных оценок проверяемых характеристик может задаваться соответствующий показатель, а для содержательной оценки фиксируется решение специалиста и порядок разрешения разногласий. Результат считается завершённым после выполнения установленного для данного этапа условия C_i.

Проверка БЗНН включает: синтаксическую, логическую, запросную, доказательную, содержательную и воспроизводимую (см. таблицу 11). Эти механизмы обнаруживают разные типы ошибок и не заменяют друг друга [41, 42]. Если используется выборочная оценка, то заранее определяется способ подсчёта, отбора, объём выборки и порядок разрешения разногласий. После проверки публикуются положительные результаты и выявленные ошибки.

Типовые несогласованности, правила их обработки и доказательные основания представлены в таблице 12. Проверяется не только логическая корректность модели, но и соблюдение прикладных требований: фрагмент должен быть однозначно связан с документом, выведенное утверждение – с исходными утверждениями и правилом вывода. Автоматически сформированная связь не может считаться проверенной без соответствующей процедуры.

При изменении ОНН, документа или правил обработки повторно проверяются только зависимые записи. Если внешние источники содержат различающиеся сведения, сохраняются оба варианта и фиксируется основание принятого решения.

Таблица 11 - Основные виды проверки базы знаний научного направления

Вид проверки	Объект	Критерий	Подтверждение
Синтаксическая	Файлы онтологии и данных	Корректность формата и возможность загрузки	Отчёт валидатора или журнал загрузки
Логическая	Аксиомы ОНН и формальные утверждения	Логическая согласованность модели и получение ожидаемых следствий	Отчёт механизма логического вывода; конфликтующие позиции источников хранятся как атрибутированные утверждения
Проверка запросов	Компетентностные вопросы и контрольный набор	Получение ожидаемого ответа и всех обязательных связанных объектов	Набор тестовых запросов, входных данных и ожидаемых результатов
Прослеживаемость	Проверяемые утверждения, документы и фрагменты	Однозначный переход к основанию и соответствующей версии файла	Автоматический отчёт и выборочная ручная сверка
Содержательная	Утверждения, понятия и проектные сущности	Соответствие источнику, сохранение модальности и корректность типизации	Экспертные оценки, протокол разногласий и решение по статусу
Воспроизводимость	Версия БЗНН и процесс обработки	Повторение заявленных проверок на контрольном наборе	Версии программ, параметры и результаты повторного запуска

Таблица 12 - Типовые несогласованности и правило их обработки

Тип несогласованности	Признак	Правило обработки
Различающиеся библиографические значения	Одно поле имеет разные значения в нескольких источниках	Сохраняются все варианты и их источники; приоритет определяется по первоисточнику
Несоответствие публикации и документа	Файл не подтверждает связь с указанной публикацией	Связь временно получает статус кандидатной и проверяется повторно
Нарушение адресации фрагмента	Невозможно однозначно восстановить исходный текст	Фрагмент выделяется повторно для конкретной версии документа; зависимые утверждения требуют повторной проверки
Терминологический конфликт	Одна языковая форма связана с разными понятиями либо созданы дубли	Выполняется предметная проверка; связи терминов и понятий корректируются без автоматического слияния записей
Конфликт формальной и предметной моделей	Формально допустимая аксиома противоречит принятому определению или примерам	Уточняются смысл аксиомы, область её действия и соответствующие определения
Утверждение без достаточного основания	Фрагмент не подтверждает автоматически сформированное утверждение	Запись сохраняется как кандидатная либо отклоняется; смысл исходного текста не усиливается и не ослабляется

4 Формирование, наполнение и использование базы знаний

На рисунке 2 представлена последовательность формирования и использования БЗНН. На начальных этапах определяются источники публикаций, критерии их включения и способы поиска. Профильные издания и научные мероприятия образуют основной информационный контур, а библиографические, поисковые и идентификационные системы используются для расширения поиска и проверки метаданных. Для включения публикации учитываются её тематическая релевантность, тип документа, возможность идентификации и наличие доступного источника. Найденные материалы первоначально рассматриваются как кандидаты.

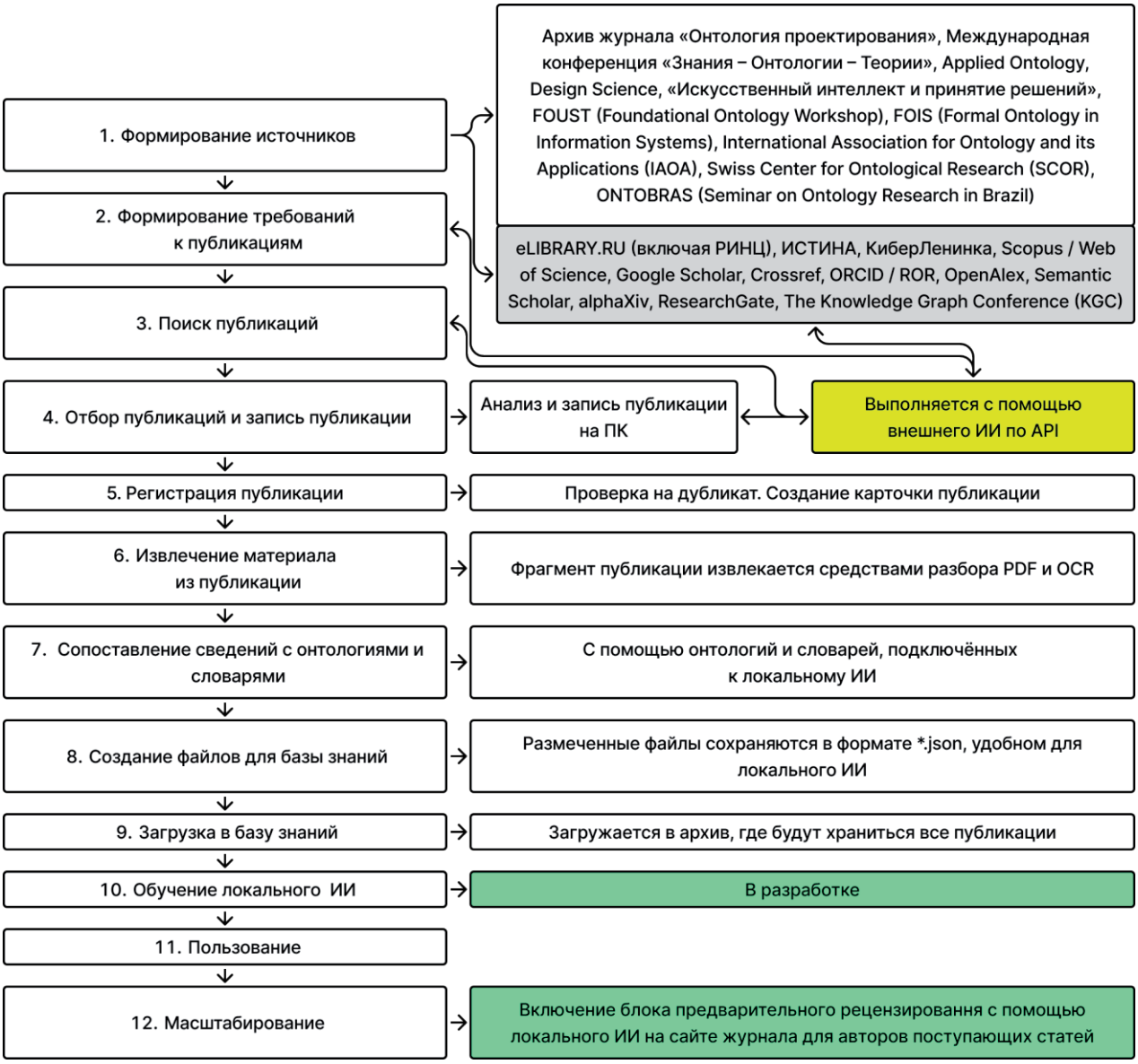


Рисунок 2 - Последовательность формирования, наполнения и использования базы знаний научного направления

После отбора публикация регистрируется в БЗНН, а её цифровая версия сохраняется отдельно с указанием источника и идентификационных данных. Перед созданием новой записи выполняется проверка дубликатов по *DOI* и другим библиографическим признакам.

Из цифровых документов извлекаются текст, структура страниц и фрагменты, необходимые для последующего формирования содержательных записей. Для документов с доступным текстовым слоем используется непосредственное извлечение текста, а для сканированных материалов – оптическое распознавание символов (*OCR*) [43].

Каждый извлечённый фрагмент связывается с конкретным документом и страницей. Сведения о способе извлечения сохраняются, а значимые фрагменты проверяются по первоисточнику. Такая адресация обеспечивает возможность восстановить основание содержательного утверждения. Извлечённые фрагменты сопоставляются с понятиями и классами ОНН с использованием выбранных онтологий и словарей. Автоматическое сопоставление

рассматривается как предварительное: окончательная связь устанавливается только при наличии достаточного содержательного основания.

Для передачи результатов между средствами обработки и БЗНН может использоваться структурированный файл в формате *JSON*[39], содержащий идентификаторы публикации, документа и фрагмента, тип записи, связи с объектами ОНН, сведения о происхождении и статус проверки. В БЗНН загружаются сведения, прошедшие предусмотренную проверку. Непроверенные результаты автоматического анализа сохраняются отдельно и не смешиваются с подтверждёнными записями. Полные тексты публикаций остаются в документном хранилище, а БЗНН содержит формализованные сведения и ссылки на их основания.

5 Демонстрация пилотной версии «Онтологического ассистента»

Работоспособность пилотной версии разрабатываемого «Онтологического ассистента» удобно показать на примере трактата Витрувия «Десять книг об архитектуре» [6, 44]. Витрувий, как признанный основоположник НН ОП, предметно и подробно описал тот уровень знаний, которыми обладали архитекторы соответствующего исторического периода. С этой целью оцифрованный его трактат был загружен в локальную БЗ. Задача – показать, как ответы на компетентностные вопросы связываются с фрагментами выбранного источника, и как трансформируется изложение трактата в генерируемый текст.

Текст трактата разделён на адресуемые фрагменты, связанные с книгой, главой и страницей используемой цифровой версии. На рисунке 3 представлен скриншот, содержащий один из вопросов, заданный пользователем, и ответ с объяснением и указание на конкретный фрагмент загруженной БЗ, а в таблице 13 приведены два компетентностных вопросов и ответы, полученные пилотной версией разрабатываемого «Онтологического ассистента».

6 Классификации журнальных статей

Рассматривается тематическая характеристика публикаций из 419 записей *OpenAlex*[40] и сопоставляется на уровне описательных показателей с рабочим массивом из 505 научных статей в этом журнале. Единицы учёта различаются, поэтому отношение 419/505 не является показателем покрытия. Дата и параметры исходной выгрузки, идентификатор источника и точный запрос в текущей версии рукописи не приведены; следовательно, результаты этого раздела не используются как воспроизводимая оценка полноты архива [45].

Для расчёта используется уровень *field* в тематической иерархии *OpenAlex*. Тематические метки публикаций агрегировались по соответствующим областям *field*, при этом одна публикация учитывалась в одной и той же области не более одного раза. Поскольку одна публикация может быть связана с несколькими областями *field*, полученные доли не являются взаимоисключающими, и их сумма может превышать 100 %.

В таблице 14 показаны наиболее представленные области, остальные объединены в строку «Прочие области». Полученные показатели характеризуют только данный внешний набор и не являются нормативным отнесением публикаций к НС.

Для оценки фактического покрытия необходимо постатейно сопоставить записи с архивом: по нормализованному DOI, а при его отсутствии – по названию, году и авторам, с отдельным учётом дубликатов и неоднозначных случаев. *OpenAlex* используется здесь как внешний источник тематических меток (см. рисунок 4).

[39]https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8259.
[40]https://help.openalex.org/data/fields/

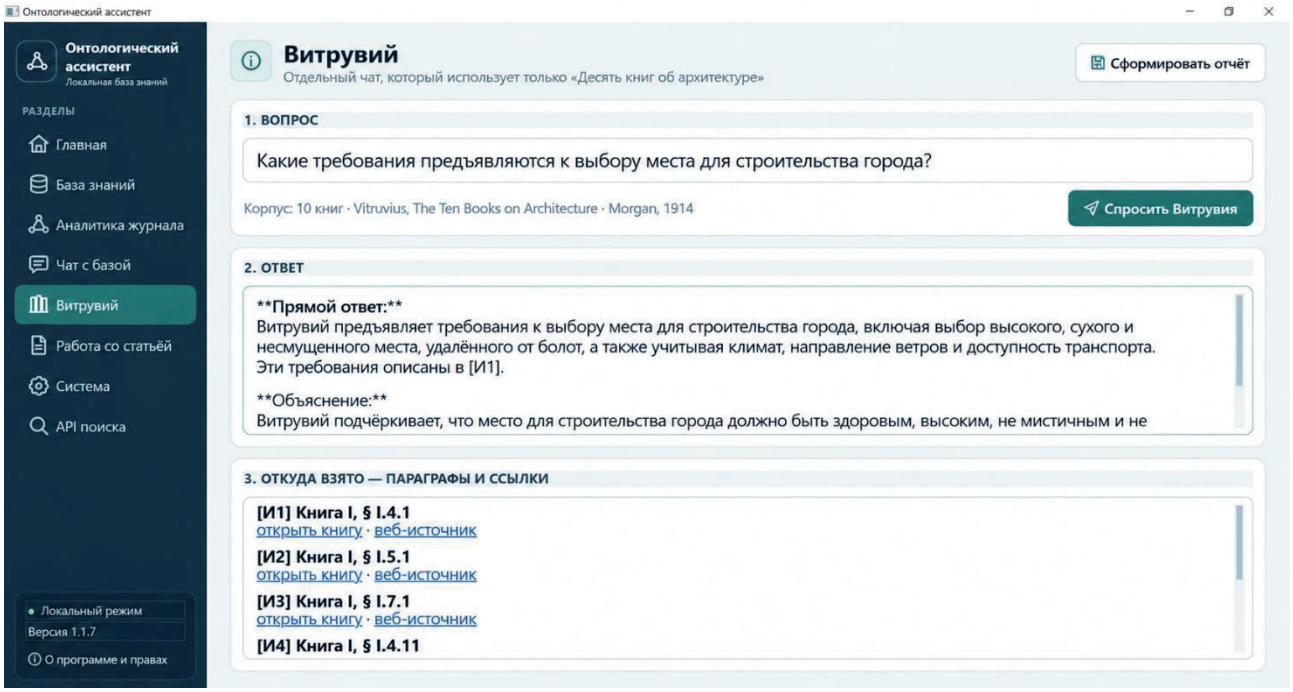


Рисунок 3 - Пример работы вопросно-ответного модуля «Онтологического ассистента» на материале трактата Витрувия

Таблица 13 – Компетентностные (контрольные) вопросы и ответы «Онтологического ассистента»

Вопрос	Ожидаемая область источника	Ответ, полученный от «Онтологического ассистента»
Какие требования относятся к строительству театра?	Книга V: место, основание, планировка, зрительные места, акустика	В строительстве театра Витрувий предъявляет требования к симметрии, учитывая при этом удобство и функциональность, а также акустические и гигиенические условия. Строительство должно учитывать расположение здания на здоровом месте, обеспечивать хорошую акустическую среду, использовать правильные пропорции и планировку, а также предусмотреть достаточное количество выходов для зрителей.
Какие материалы и механизмы упоминаются в связи со строительными работами?	Книги II, V и X: строительные материалы, устройство театра и отдельные подъёмные механизмы	Механизмы: подъёмные машины, которые используются для подъёма тяжелых грузов при строительстве храмов и общественных зданий. Эти механизмы включают в себя тонкие доски, болт, верёвки, блоки и шестерни, позволяющие передавать силу и перемещать грузы [И1]. Материалы: в текстах говорится о различных материалах, используемых в строительстве, таких как дерево (в частности, дуб), камень (мрамор, каменные блоки), глина, а также о том, что некоторые материалы, такие как дуб, обладают хорошими свойствами при правильной обработке [И2], [И4], [И6]. Также упоминается использование древесных пилонов во влажных местах, которые не разрушаются из-за высокой влажности [И6]. В текстах Витрувия не говорится о конкретных типах строительных материалов, кроме упомянутых выше, и не описывается использование других материалов, таких как кирпич или бетон. Также не раскрываются детали использования других механизмов, кроме подъёмных машин.

Таблица 14 - Наиболее представленные направления *OpenAlex*

Область *OpenAlex* (*field*)	**Работ / отнесений**	**Доля от 419, %**
Компьютерные науки	187	44,6
Инженерные науки	187	44,6
Бизнес, управление и учёт	135	32,2
Социальные науки	62	14,8
Медицина	40	9,5
Науки об окружающей среде	38	9,1
Науки о принятии решений	23	5,5
Прочие области	74 отнесения суммарно	не является долей уникальных работ

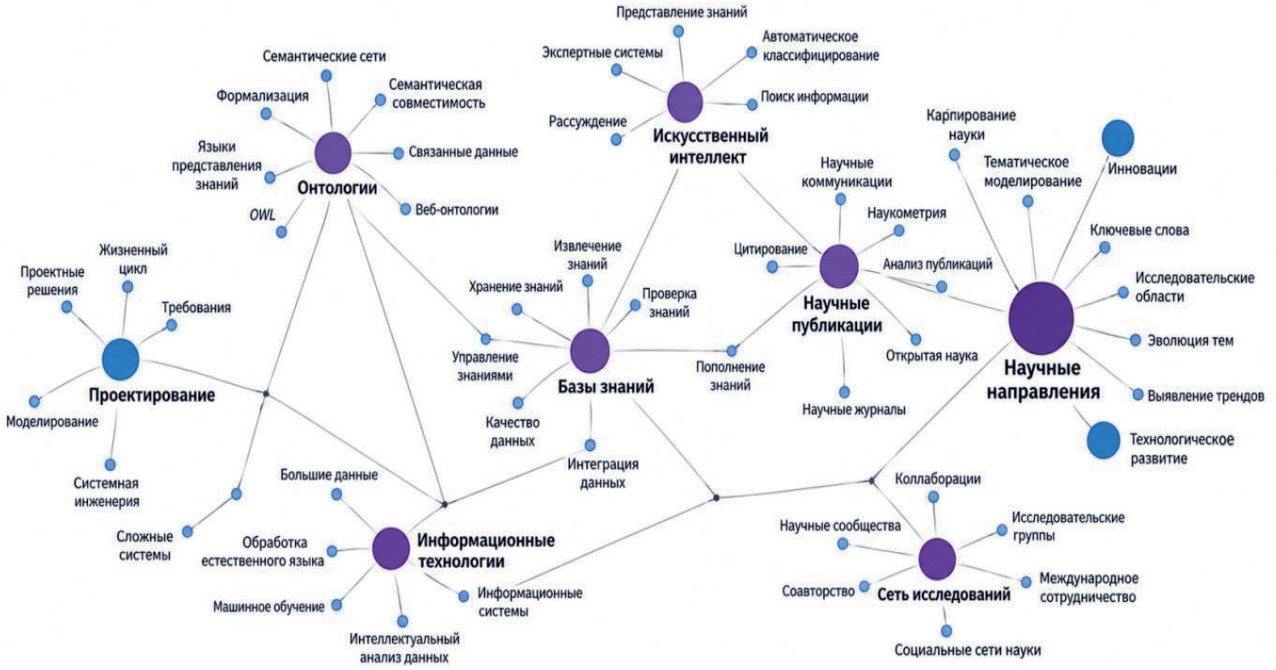


Рисунок 4 - Граф тематических связей внешнего набора публикаций по данным *OpenAlex*

Сопоставление с паспортами НС ВАК[41] рассматривается как двухэтапная процедура: автоматизированный поиск публикаций-кандидатов по словарным признакам; содержательная проверка связи с конкретным пунктом паспорта. Поисковая метка не означает окончательного отнесения статьи к НС [46].

Единицей анализа является одна из 505 научных статей журнала «Онтология проектирования». Для каждой найденной связи модель предусматривает сохранение статьи, кода НС, поискового выражения, подтверждающего фрагмента и решения специалиста. Число фактически проверенных экспертами связей, схема выборки и статистика разногласий не приведены, поэтому все количественные результаты раздела относятся только к поисковым кандидатам. Кандидат формируется, если в подготовленном тексте статьи найдено хотя бы одно выражение из словаря соответствующей НС. Полные словари, правила учёта словоформ, отрицаний, англоязычного текста, библиографии и ошибок *OCR* не приводятся. Результаты этого раздела следует интерпретировать как итог применённых поисковых правил, а не как воспроизводимую или подтверждённую классификацию статей.

Для десяти НС, указанных на сайте журнала, получены значения, приведённые в таблице 15. НС 1.2.1 «Искусственный интеллект и машинное обучение» рассматривается отдельно: её экспериментальное добавление не включено в основные показатели.

[41]https://vak.minobrnauki.gov.ru/searching#tab=_tab:materials~

Таблица 15 – Предварительная оценка числа публикаций-кандидатов по действующим специальностям

Код	Наименование	Кандидатов	Доля от 505, %
1.2.2	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	46	8,8
2.3.1	Системный анализ, управление и обработка информации, статистика	131	25,2
2.3.4	Управление в организационных системах	32	6,2
2.3.5	Математическое и программное обеспечение вычислительных систем	115	22,1
2.3.7	Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования	32	6,2
2.3.8	Информатика и информационные процессы	180	34,6
2.5.1	Инженерная геометрия и компьютерная графика; цифровая поддержка жизненного цикла изделий	15	2,9
2.5.13	Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов	24	4,6
2.5.15	Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов	7	1,3
5.12.4	Когнитивное моделирование	116	22,3
		698	134,2

Сумма значений по строкам превышает 505, поскольку одна статья может получить несколько предварительных меток в разных НС. Наибольшее число кандидатов связано с НС 2.3.8, 2.3.1, 5.12.4 и 2.3.5. Размер узла (областей НС) на рисунке 5 пропорционален числу публикаций-кандидатов соответствующей НС, а внутри узла показаны доли от общего массива. Толщина связывающих линий пропорциональна близости (пересечению НС) затронутых в публикациях-кандидатах тем этих НС. Стоит отдельно отметить НС 2.5.13 и 2.5.15, которые являются профильными ПрО для учредителей журнала и многих членов редколлегии. Эти высокотехнологичные представители сложных систем как локомотив подтягивают другие ПрО в область формализации знаний, в область ОП.

Бурный рост работ в области ИИ и машинного обучения (НС 1.2.1) и необходимость интеграции этих исследований с онтологиями различных ПрО отразились на интересе авторов и читателей журнала к этой тематике. На рисунке 6 приведена карта связей НС по результатам предварительного сопоставления с экспериментальным включением НС 1.2.1. В этом экспериментальном включении прежний расклад статей сохранился, но видно, что значительное число работ также коррелирует с НС 1.2.1, которая органично вписалась в четвёрку лидеров НС 2.3.8, 2.3.1, 5.12.4 и 2.3.5, установив с ними «устойчивые связи».

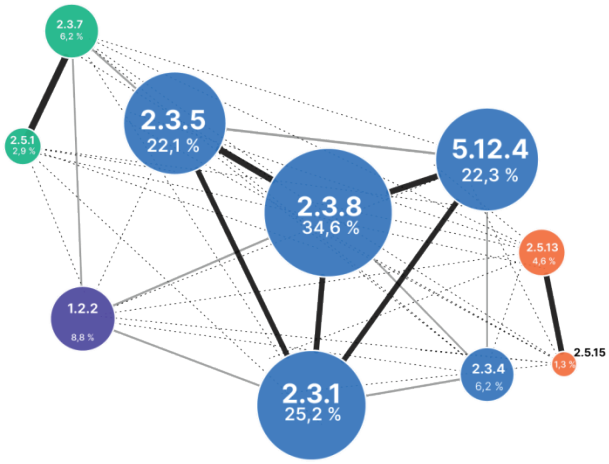


Рисунок 5 – Карта связей научных специальностей по результатам предварительного сопоставления публикаций журнала

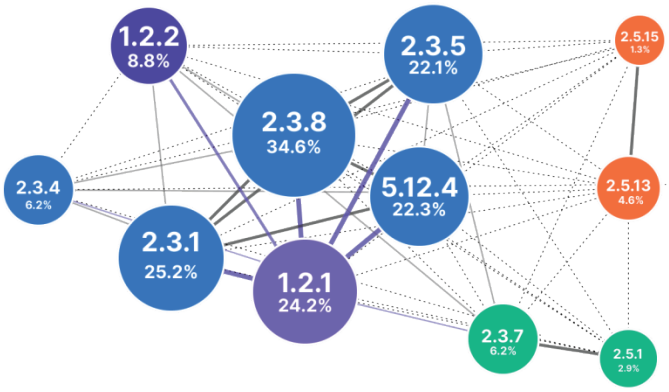


Рисунок 6 – Карта связей научных специальностей по результатам предварительного сопоставления с экспериментальным включением специальности 1.2.1

Для окончательного заключения по опубликованной в журнале статье требуется установить объект и задачу исследования, роль метода, научный результат и соответствующий пункт паспорта НС. Представленный результат характеризуют публикации-кандидаты. Современные паспорта НС применяются к архиву ретроспективно; это тематическое сопоставление, а не утверждение о формальной НС, присвоенной публикации в момент её выхода.

На рисунках 7 и 8 представлены: матрица попарных пересечений публикаций-кандидатов по НС, указанным в тематике журнала; матрица попарных пересечений публикаций-кандидатов по НС с экспериментальным включением НС 1.2.1. В ячейках указаны значения числа публикаций и значения меры сходства между множествами j (соответствует коэффициенту Жаккара). Фиолетовым цветом на рисунках 6 и 8 выделена НС 1.2.1 и её связи, полученные после пересчёта.

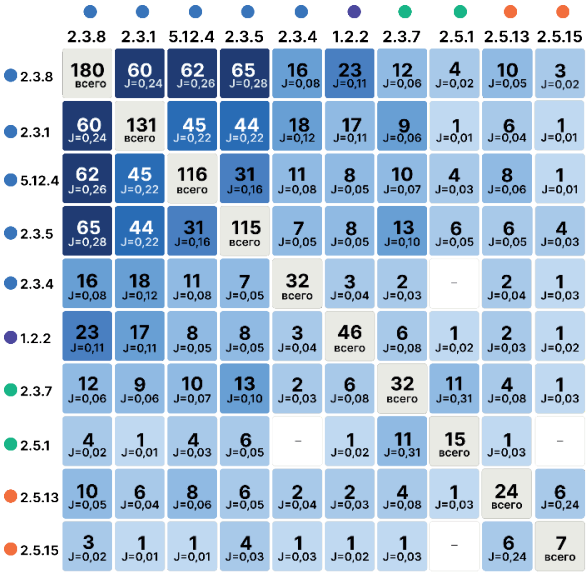


Рисунок 7 – Матрица попарных пересечений публикаций-кандидатов по научным специальностям, указанным в тематике журнала

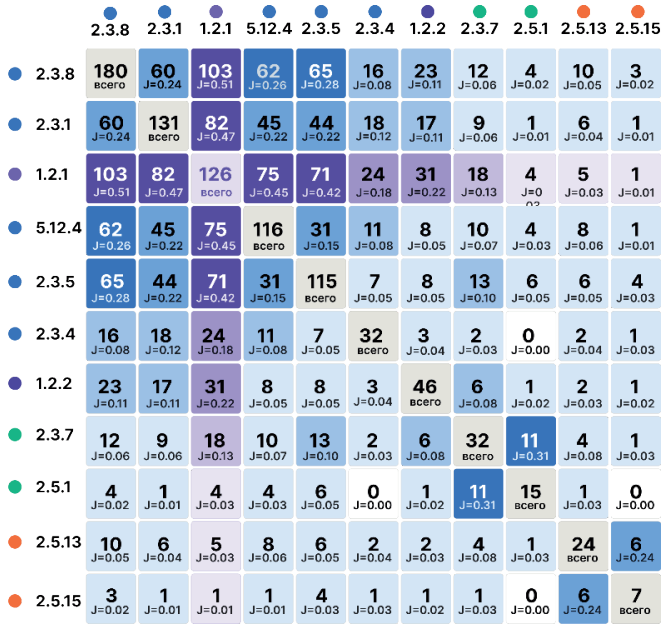


Рисунок 8 – Матрица попарных пересечений публикаций-кандидатов по научным специальностям с экспериментальным включением специальности 1.2.1

7 Условия переноса модели в другие научные направления

Предлагаемая модель разделяется на общее ядро и предметную часть. К общему ядру относятся публикация, документ, страница, фрагмент, автор, организация, понятие, проверяемое утверждение, источник и статус проверки. При переносе сохраняются доказательная модель, правила версионирования и критерии качества, а предметные классы, словари и компетентностные вопросы формируются заново.

Перенос выполняется в четыре шага: определение границ нового НН; анализ терминологии и внешних словарей; замена или расширение предметных классов; техническая и содержательная проверка на контрольных публикациях. Автоматическое копирование предметной модели без проверки определений и примеров недопустимо.

Контрольная выборка для будущего опыта переноса должна содержать положительные, отрицательные и неоднозначные примеры для ключевых классов и отношений и обеспечивать проверку всех компетентностных вопросов. Объём выборки и правило остановки должны задаваться до эксперимента. Контрольные запросы должны давать воспроизводимые от-

веты или корректно фиксировать отсутствие ответа; критические логические противоречия должны отсутствовать; каждое проверенное утверждение должно иметь прослеживаемое основание либо проверенную цепочку вывода; предметные классы должны быть подтверждены экспертной оценкой.

Основное ограничение связано с масштабированием. При переходе от 505 публикаций к тысячам документов растут затраты на извлечение, хранение версий и особенно на содержательную проверку.

Второе ограничение - зависимость от качества и изменчивости внешних источников. Метаданные *OpenAlex*, *Crossref* и других систем могут обновляться независимо от локальной БЗНН; для воспроизводимости требуется фиксировать дату получения, идентификаторы и версии выгрузок. Современные исследования научных ГЗ также отмечают проблемы качества метаданных, подлинности и пригодности данных для исследовательской оценки [47].

Третье ограничение относится к многоязычным текстам и автоматической обработке. Термины разных языков нельзя объединять только по машинному переводу; необходимы языковые метки, предметная нормализация и проверка неоднозначных соответствий. Средства ИИ могут снижать трудоёмкость подготовки компетентностных вопросов и предварительной разметки, однако современные эксперименты подтверждают необходимость специальных процедур оценки и участия эксперта [48].

Заключение

В работе предложен подход к формализации БЗНН, основанный на совместном использовании предметной онтологии, проверяемых содержательных утверждений, адресуемых оснований и явно фиксируемых статусов проверки. Такой подход позволяет перейти от простого накопления библиографических и текстовых данных к структурированному представлению научного содержания, в котором каждое значимое утверждение может быть связано с конкретным первоисточником и проверено по нему.

Разработанная структура БЗ объединяет библиографический, документный, понятийный и доказательный слои представления информации. Это позволяет хранить не только сведения о публикациях, авторах и источниках, но и формализованное содержание исследований, используемые понятия, методы, результаты, ограничения и связи между ними. Существенным элементом предложенной модели является сохранение происхождения данных: для непосредственно извлечённых утверждений фиксируются подтверждающие фрагменты исходного текста, а для логически выведенных – исходные проверенные утверждения и применённые правила вывода. Тем самым обеспечиваются прослеживаемость, проверяемость и воспроизводимость формирования содержательных записей.

Предложена методика построения, наполнения и верификации БЗ, предусматривающая разделение логической проверки онтологии, прикладной проверки полноты и корректности заполнения данных и содержательной экспертной оценки. Автоматизированные средства, включая алгоритмы машинного обучения, рассматриваются как инструмент поиска, извлечения, предварительной классификации и формирования кандидатных связей, однако окончательное включение содержательных утверждений в проверенный слой БЗ должно осуществляться после подтверждения их основания.

Возможность применения доказательной схемы представления знаний рассмотрена на примере труда Витрувия «Десять книг об архитектуре». Этот пример показал применение принципа организации связи между вопросом, найденным фрагментом первоисточника и формируемым содержательным утверждением. Данный опыт следует рассматривать именно как демонстрацию порядка работы с источником.

Для количественного анализа использован массив из 505 научных статей журнала «Онтология проектирования». Внешний набор *OpenAlex* применён для описательной тематической характеристики. Предварительное сопоставление статей с паспортами НС ВАК выполнялось с помощью словарных поисковых правил и позволило сформировать массив публикаций-кандидатов для последующей содержательной проверки. Экспериментальное добавление НС 1.2.1 «Искусственный интеллект и машинное обучение» использовано для оценки возможности расширения анализируемой классификационной схемы.

Предложенный подход может использоваться для систематизации научных знаний, выявления содержательных и тематических связей между публикациями, сопоставления объектов исследования, методов и научных результатов, а также для определения областей, требующих дальнейшего изучения. Формируемая БЗ может выступать информационной основой для анализа состояния и развития НН, оценки места новой работы в структуре имеющихся знаний и поддержки редакционной и рецензионной деятельности.

В настоящей работе не получены окончательные количественные оценки точности вопросно-ответного модуля, полноты сопоставления локального массива с *OpenAlex*, качества словарной классификации по НС и эффективности переноса модели на другие ПрО.

Дальнейшая работа должна включать практическое применение БЗ при входном контроле и рецензировании новых научных работ с оценкой качества рекомендаций, времени обработки и удобства работы специалистов. Это позволит перейти от предложенной формальной схемы к проверенной информационной технологии сопровождения и развития НН.

Список источников

[1] ***Constantin A., Peroni S., Pettifer S., Shotton D., Vitali F.*** The Document Components Ontology (DoCO). *Semantic Web.* 2016. Vol.7, No.2. P.167-181. DOI: 10.3233/SW-150177.

[2] ***Hogan A., Blomqvist E., Cochez M. et al.*** Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys.* 2021. Vol.54, No.4. Article 71. DOI: 10.1145/3447772.

[3] ***Боргест Н.М.*** Научный базис онтологии проектирования. *Онтология проектирования.* 2013. №1(7). С.7–25.

[4] ***Боргест Н.М.*** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования.* 2013. №3(9). С.9–31.

[5] ***Боргест Н.М.*** Границы онтологии проектирования. *Онтология проектирования.* 2017. Т.7, №1(23). С.7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.

[6] ***Боргест Н.М.*** Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха. *Онтология проектирования.* 2018. Т.8, №4(30). С.487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.

[7] ***Боргест Н.М.*** Формирование и развитие научной дисциплины «онтология проектирования»: краткая история личностного опыта. *Онтология проектирования.* 2020. Т.10, №4(38). С.415-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.

[8] ***Боргест Н.М.*** Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры. *Онтология проектирования.* 2022. Т.12, №2(44). С.136-157. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.

[9] ***Боргест Н.М.*** Проблемы разработки и развития онтологии науки: анализ классификаций. *Онтология проектирования.* 2022. Т.12, №3(45). С.278-298. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-278-298.

[10] ***Боргест Н.М.*** Понятие «множество» в теории и практике проектирования. *Онтология проектирования.* 2023. Т.13, №3(49). С.306-332. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-306-332.

[11] ***Боргест Н.М.*** Системный и онтологический анализы: схожесть и различие понятий. *Онтология проектирования.* 2024. Т.14, №1(51). С.9-28. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28.

[12] ***Боргест Н.М., Коровин М.Д.*** Онтологии: современное состояние, краткий обзор. *Онтология проектирования.* 2013. №2(8). С.49–55.

[13] ***Боргест Н.М., Гиматдинова С.Р., Шустова Д.В.*** Иерархические и ассоциативные связи между терминами в тезаурусе на примере словаря проектанта. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета.* 2012. №2(33). С.228-236.

[14] ***Буракова Е.Е., Боргест Н.М., Коровин М.Д.*** Языки описания онтологий для технических предметных областей. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета.* 2014. №3(45). С.144-158.

[15] ***Загорулько Ю.А., Сидорова Е.А., Загорулько Г.Б., Ахмадеева И.Р., Серый А.С.*** Автоматизация разработки онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования. *Онтология проектирования.* 2021. Т.11, №4(42). С.500-520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.

[16] ***Дородных Н.О., Николайчук О.А., Юрин А.Ю.*** Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники. *Онтология проектирования.* 2022. Т.12, №2(44). С.158-171. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

[17] ***Грибова В.В., Паршкова С.В., Федорищев Л.А.*** Онтологии для разработки и генерации адаптивных пользовательских интерфейсов редакторов баз знаний. *Онтология проектирования.* 2022. Т.12, №2(44). С.200-217. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.

[18] ***Кудрявцев Д.В., Беглер А.М., Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Кубельский М.В., Тушканова О.Н.*** Метод коллективной визуальной разработки онтологического графа знаний. *Искусственный интеллект и принятие решений.* 2019. №1. С.27–38. DOI: 10.14357/20718594190103.

[19] ***Гаврилова Т.А., Страхович Э.В.*** Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге. *Онтология проектирования.* 2020. Т.10, №1(35). С.87–99. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.

[20] ***Сидорова Е.А., Ахмадеева И.Р., Загорулько Ю.А., Кононенко И.С., Серый А.С., Чагина П.М., Шестаков В.К.*** Комплексный подход к анализу аргументативных отношений в текстах научной коммуникации. *Онтология проектирования.* 2023. Т.13, №4. С.562–579. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-562-579.

[21] ***Сидорова Е.А., Иванов А.И., Овчинникова К.А.*** Извлечение информации из текстов на основе онтологии и больших языковых моделей. *Онтология проектирования.* 2025. Т.15, №1. С.114–129. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-1-114-129.

[22] ***Зулкарнеев Р.Х., Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Гаянова М.М., Вульфин А.М.*** Методы и модели извлечения знаний из медицинских документов. *Информатика и автоматизация.* 2022. Т.21, №6. С.1169–1210. DOI: 10.15622/ia.21.6.4.

[23] ***Муромский А.А., Тучкова Н.П.*** Представление математических понятий в онтологии научных знаний. *Онтология проектирования.* 2019. Т.9, №1(31). С.50–69. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-50-69.

[24] ***Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П.*** Граф знаний научного института в онтологии семантической библиотеки. *Научный сервис в сети Интернет: труды XXVI Всероссийской научной конференции.* М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2024. С.3–15. DOI: 10.20948/abrau-2024-16.

[25] ***Халов А.П., Атаева О.М.*** Автоматические и полуавтоматические методы построения графа знаний предметной области и расширения онтологии. *Электронные библиотеки.* 2025. Т.28, №6. С.1481–1519. DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-6-1481-1519.

[26] ***Халов А.П., Атаева О.М., Тучкова Н.П.*** От синтаксиса к семантике: онтология формализации научного знания SciLib. *Системы высокой доступности.* 2026. №1. С.65–70. DOI: 10.18127/j20729472-202601-13.

[27] ***Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.*** Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.

[28] ***Gruber T.R.*** A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition.* 1993. Vol.5, No.2. P.199-220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.

[29] ***Ширинбегзода С.И., Шишкин Д.А., Усманов Б.С., Боргест Н.М.*** О применимости нейросетей в издательском деле. *Электронные библиотеки.* 2026. Т.29, №3. С.960–975. DOI: 10.26907/1562-5419-2026-29-3-960-975.

[30] ***Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J. et al.*** The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data.* 2016. Vol.3. Article 160018. DOI: 10.1038/sdata.2016.18.

[31] ***Creative Commons.*** *Guidance on CC Licensing in the Age of AI.* Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.22261032.

[32] ***Auer S., Kovtun V., Prinz M. et al.*** Towards a Knowledge Graph for Science. *Proc. of the 8th Int. Conf. on Web Intelligence, Mining and Semantics.* New York: ACM, 2018. Article 1. DOI: 10.1145/3227609.3227689.

[33] ***Jaradeh M.Y., Oelen A., Farfar K.E. et al.*** Open Research Knowledge Graph: Next Generation Infrastructure for Semantic Scholarly Knowledge. *Proc. of the 10th Int. Conf. on Knowledge Capture.* New York: ACM, 2019. P.243-246. DOI: 10.1145/3360901.3364435.

[34] ***Ammar W., Groeneveld D., Bhagavatula C. et al.*** Construction of the Literature Graph in Semantic Scholar. *Proceedings of NAACL-HLT.* New Orleans: Association for Computational Linguistics, 2018. P.84-91. DOI: 10.18653/v1/N18-3011.

[35] ***Peroni S., Shotton D.*** FaBiO and CiTO: ontologies for describing bibliographic resources and citations. *Journal of Web Semantics.* 2012. Vol.17. P.33-43. DOI: 10.1016/j.websem.2012.08.001.

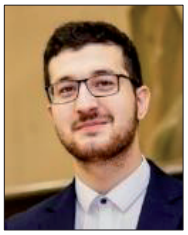
[36] ***Bizer C., Heath T., Berners-Lee T.*** Linked Data - The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems.* 2009. Vol.5, No.3. P.1-22. DOI: 10.4018/jswis.2009081901.

[37] ***Uschold M., Gruninger M.*** Ontologies: principles, methods and applications. *The Knowledge Engineering Review.* 1996. Vol.11, No.2. P.93-136. DOI: 10.1017/S0269888900007797.

[38] ***Fernández-López M., Gómez-Pérez A., Juristo N.*** METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *Proc. of the AAAI-97 Spring Symposium on Ontological Engineering.* Menlo Park: AAAI Press, 1997. P.33-40.
[39] ***Suárez-Figueroa M.C., Gómez-Pérez A., Fernández-López M.*** The NeOn Methodology for Ontology Engineering. *Ontology Engineering in a Networked World.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. P.9-34. DOI: 10.1007/978-3-642-24794-1_2.
[40] ***Noy N.F., McGuinness D.L.*** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05. Stanford, 2001. 25 p.
[41] ***Poveda-Villalón M., Gómez-Pérez A., Suárez-Figueroa M.C.*** OOPS! (OntOlogy Pitfall Scanner!): An On-line Tool for Ontology Evaluation. *International Journal on Semantic Web and Information Systems.* 2014. Vol.10, No.2. P.7–34. DOI: 10.4018/IJSWIS.2014040102.
[42] ***Glimm B., Horrocks I., Motik B., Stoilos G., Wang Z.*** HermiT: An OWL 2 Reasoner. *Journal of Automated Reasoning.* 2014. Vol.53, No.3. P.245-269. DOI: 10.1007/s10817-014-9305-1.
[43] ***Mori S., Suen C.Y., Yamamoto K.*** Historical review of OCR research and development. *Proceedings of the IEEE.* 1992. Vol.80, No.7. P.1029–1058. DOI: 10.1109/5.156468.
[44] ***Витрувий.*** Десять книг об архитектуре / пер. Ф.А. Петровского. М.: Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1936. 331 с.
[45] ***Priem J., Piwowar H., Orr R.*** OpenAlex: A fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts. arXiv:2205.01833, 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2205.01833.
[46] ***Кузнецов О.П., Суховеров В.С.*** Онтологический подход к оценке тематики научного текста. *Онтология проектирования.* 2016. Т.6, №1(19). С.55-66. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-55-66.
[47] ***Manghi P.*** Challenges in building scholarly knowledge graphs for research assessment in open science. *Quantitative Science Studies.* 2024. Vol.5, No.4. P.991-1021. DOI: 10.1162/qss_a_00322.
[48] ***Alharbi R., Tamma V., Grasso F., Payne T.R.*** Investigating Open Source LLMs to Retrofit Competency Questions in Ontology Engineering. *Proceedings of the AAAI Symposium Series.* 2024. Vol.4, No.1. P.188-198. DOI: 10.1609/aaaiss.v4i1.31793.

Сведения об авторах

Боргест Николай Михайлович, 1954 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт имени академика С.П. Королёва (1978), к.т.н. (1985). Доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. Член Международной ассоциации по онтологиям и их приложениям, Международной ассоциации безопасного и этичного искусственного интеллекта (IASEAI), Ассоциации по развитию искусственного интеллекта (AAAI), Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ). В списке научных трудов более 200 работ в области автоматизации проектирования и ИИ. AuthorID (РИНЦ): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. *borgest@yandex.ru*.



Ширинбегзода Сухайлии Илхом, 2002 г. рождения. Окончил Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва в 2025 г. Студент магистратуры направления «Авиастроение» и инженер Самарского университета. Научные интересы: авиастроение, журналистика, технологии искусственного интеллекта, техническое зрение и образовательные платформы. ORCID: 0009-0003-7317-4722. *shirinbegzodasi@yandex.ru.*

Поступила в редакцию 1.08.2026, после рецензирования 10.09.2026. Принята к публикации 14.09.2026.

CC BY

Scientific article DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-369-396

An approach to formalizing a knowledge base for a research field using ontology of designing as a case study

© 2026, N.M. Borgest ✉, S.I. Shirinbegzoda

Samara University (Samara National Research University named after academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract

The aim of this study is to propose an approach to formalizing a knowledge base for an emerging research field that makes it possible to determine the position of the field within the broader system of existing knowledge, identify its research horizons and knowledge gaps, provide a basis for developing tools for evaluating new research contributions, and incorporate verified results into the corresponding knowledge base. The knowledge base of a research field comprises only verifiable knowledge published in peer-reviewed sources. Scientific classification systems, including the classification of scientific specialties of the Higher Attestation Commission, are used to determine the position of the research field. The ontology of designing research field is considered as a case study. In addition to publications in the journal Ontology of Designing, scientific publications from related scientific journals, conference proceedings, and forums proceedings were used to form the core of the knowledge base. Machine-learning algorithms are used to create a local knowledge base for the research field. The local storage and controlled use of the knowledge base reduce the risk of generating responses that are not supported by the sources included in the knowledge base and make it possible to apply such a system to the initial screening and peer review of newly submitted papers while complying with confidentiality requirements and the principles of research ethics. A structure of the knowledge base is proposed that includes bibliographic information, publication content, concepts and relationships among them, as well as the evidential basis for assertions. Each assertion is linked to its primary source and a supporting fragment, thereby ensuring its verifiability. The constructed knowledge graph, based on articles published in the Ontology of Designing journal, is compared with OpenAlex data. A preliminary mapping of journal publications to the official profiles of scientific specialties established by the Higher Attestation Commission was also carried out. The possibility of representing and verifying knowledge is demonstrated using the works of Vitruvius, regarded as a precursor of ontology of designing. The proposed approach makes it possible to structure accumulated scientific knowledge and identify thematic overlaps and relationships among publications, research methods, and results. The resulting knowledge base can be used to analyse the development of the research field, compare new results with accumulated knowledge, and support editorial and peer-review activities.

Keywords: *ontology of designing, knowledge base, research field, competency questions, ontology validation, Vitruvius, scientific specialties.*

For citation: *Borgest N.M., Shirinbegzoda S.I.* An approach to formalizing a knowledge base for a research field using ontology of designing as a case study [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2026; 16(3): 369-396. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-369-396.

Authors' contributions: *N.M. Borgest* – problem statement, development of the research concept, selection of sources; *S.I. Shirinbegzoda* – development of the ontological model and knowledge base, visualization of the results.

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

Use of artificial intelligence: Artificial intelligence tools were used in the preparation and formatting of selected figures and diagrams, as well as in the development of a pilot version of the Ontological Assistant. The authors are responsible for all statements contained in the work.

List of figures and tables

Figure 1 – High-level structure of the knowledge base of a research field
Figure 2 – Sequence of formation, population, and use of the knowledge base of a research field
Figure 3 – Example of the question-answering module of the Ontological Assistant based on the material of Vitruvius' treatise
Figure 4 – Graph of thematic relationships within an external set of publication based on OpenAlex data

Figure 5 – Map of relationships among scientific specialties based on the preliminary mapping of journal publications
Figure 6 – Map of relationships among scientific specialties based on the preliminary mapping with the experimental inclusion of specialty 1.2.1
Figure 7 – Matrix of pairwise intersections among candidate publications by scientific specialties included in the journal's thematic scope
Figure 8 – Matrix of pairwise intersections among candidate publications by scientific specialties with the experimental inclusion of specialty 1.2.1
Table 1 – Groups and principal classes of the research field ontology
Table 2 – Core concepts of the design process and rules for creating instances
Table 3 – Principal information layers of the research field knowledge base
Table 4 – Minimum information required for a verifiable assertion
Table 5 – Rules for verifying the principal records of the research field knowledge base
Table 6 – Quality criteria for a structured knowledge base
Table 7 – Publication sources used to form the core of the ontology of designing research field knowledge base
Table 8 – Information systems used in forming a local knowledge base for the research field
Table 9 – External ontologies and vocabularies in the research field knowledge base
Table 10 – Methodological foundations of the proposed procedure for constructing the research field knowledge base
Table 11 – Principal types of verification of the research field knowledge base
Table 12 – Typical inconsistencies and rules for handling them
Table 13 – Competency (validation) questions and responses of the Ontological Assistant
Table 14 – Most widely represented OpenAlex research areas
Table 15 – Preliminary estimate of the number of candidate publications by currently recognized scientific specialties

References

[1] ***Constantin A, Peroni S, Pettifer S, Shotton D, Vitali F.*** The Document Components Ontology (DoCO). *Semantic Web*. 2016; 7(2): 167-181. DOI: 10.3233/SW-150177.

[2] ***Hogan A, Blomqvist E, Cochez M. et al.*** Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys*. 2021; 54(4): Article 71. DOI: 10.1145/3447772.

[3] ***Borgest NM.*** Scientific basis of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; 1(7): 7-25.

[4] ***Borgest NM.*** Key terms of ontology of designing: review, analysis, generalizations [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; 3(9): 9-31.

[5] ***Borgest NM.*** Boundaries of ontology of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2017; 7(1): 7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.

[6] ***Borgest NM.*** Ontologies of designing from Vitruvius to Vittikh [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2018; 8(4): 487-522. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.

[7] ***Borgest NM.*** Formation and development of *Ontology of Designing* as a scientific discipline: a brief history of personal experience [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 10(4): 415-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-415-448.

[8] ***Borgest NM.*** Ontology of designing as a scientific field: formation, development, examples [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 136-157. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.

[9] ***Borgest NM.*** Development problems of ontology of science: Classification analysis [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(3): 278-298. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-278-298.

[10] ***Borgest NM.*** The concept of a set in the theory and practice of designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2023; 13(3): 306-332. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-306-332.

[11] ***Borgest NM.*** System and ontological analyses: similarities and differences between the concepts [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2024; 14(1): 9-28. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28.

[12] ***Borgest NM, Korovin MD.*** Ontologies: current state, brief review [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2013; 2(8): 49-55.

[13] ***Borgest NM, Gimatdinova SR, Shustova DV.*** Hierarchical and associative relations among terms in a thesaurus using a designer's dictionary as an example [In Russian]. *Vestnik of Samara State Aerospace University*. 2012; 2(33): 228-236.

[14] ***Burakova EE, Borgest NM, Korovin MD.*** Ontology description languages for technical subject domains [In Russian]. *Vestnik of Samara State Aerospace University*. 2014; 3(45): 144-158.

[15] ***Zagorulko YuA, Sidorova EA, Zagorulko GB, Akhmadeeva IR, Seryi AS.*** Automation of the development of ontology of scientific subject domains based on ontology design patterns [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2021; 11(4): 500-520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.

[16] ***Dorodnykh NO, Nikolaichuk OA, Yurin AYu.*** Using ontological content patterns in knowledge bases engineering for maintenance and repair of aviation equipment [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 158-171. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-158-171.

[17] ***Gribova VV, Parshkova SV, Fedorishchev LA.*** Ontologies for development and generation of adaptive user interfaces for knowledge-base editors [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 200-217. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-200-217.

[18] ***Kudryavtsev DV, Begler AM, Gavrilova TA, Leshcheva IA, Kubelsky MV, Tushkanova ON.*** A method for collaborative visual development of an ontological knowledge graph [In Russian]. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2019; 1: 27-38. DOI: 10.14357/20718594190103.

[19] ***Gavrilova TA, Strakhovich EV.*** Visual-analytical thinking and mind maps for ontology engineering [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2020; 10(1): 87-99. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99.

[20] ***Sidorova EA, Akhmadeeva IR, Zagorulko YuA, Kononenko IS, Seryi AS, Chagina PM, Shestakov VK.*** An integrated approach to the analysis of argumentative relations in scientific communication texts [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2023; 13(4): 562-579. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-562-579.

[21] ***Sidorova EA, Ivanov AI, Ovchinnikova KA.*** Information extraction from texts based on ontology and large language models [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2025; 15(1): 114-129. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-1-114-129.

[22] ***Zulkarneev RKh, Yusupova NI, Smetanina ON, Gayanova MM, Vulfin AM.*** Methods and models of extraction of knowledge from medical documents [In Russian]. *Informatics and Automation*. 2022; 21(6): 1169-1210. DOI: 10.15622/ia.21.6.4.

[23] ***Muromsky AA, Tuchkova NP.*** Representation of mathematical concepts in an ontology of scientific knowledge [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2019; 9(1): 50-69. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-50-69.

[24] ***Ataeva OM, Serebryakov VA, Tuchkova NP.*** Knowledge graph of a scientific institute in the semantic library ontology [In Russian]. *Scientific Services & Internet: Proceedings of the XXVI All-Russian Scientific Conference*. Moscow: Keldysh Institute of Applied Mathematics, 2024. P.3-15. DOI: 10.20948/abrau-2024-16.

[25] ***Khalov AP, Ataeva OM.*** Automatic and semi-automatic methods for domain knowledge graph construction and ontology expansion [In Russian]. *Electronic Libraries*. 2025; 28(6): 1481-1519. DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-6-1481-1519.

[26] ***Khalov AP, Ataeva OM, Tuchkova NP.*** From syntax to semantics: SciLib ontology for formalization of scientific knowledge [In Russian]. *High Availability Systems*. 2026; 1: 65-70. DOI: 10.18127/j20729472-202601-13.

[27] ***Gavrilova TA, Khoroshevsky VF.*** Knowledge Bases of Intelligent Systems: textbook [In Russian]. St. Petersburg: Piter, 2000. 384 p. ISBN 5-272-00071-4.

[28] ***Gruber TR.*** A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993; 5(2): 199-220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.

[29] ***Shirinbegzoda SI, Shishkin DA, Usmanov BS, Borgest NM.*** On the Applicability of Neural Networks in the Publishing Industry. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. 2026; 60: S376–S380. DOI: 10.3103/S0005105526700676.

[30] ***Wilkinson MD, Dumontier M, Aalbersberg IJ. et al.*** The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*. 2016; 3: Article 160018. DOI: 10.1038/sdata.2016.18.

[31] ***Creative Commons.*** Guidance on CC Licensing in the Age of AI. *Zenodo*, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.22261032.

[32] ***Auer S, Kovtun V, Prinz M. et al.*** Towards a Knowledge Graph for Science. *Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*. New York: ACM, 2018. Article 1. DOI: 10.1145/3227609.3227689.

[33] ***Jaradeh M.Y., Oelen A., Farfar K.E. et al.*** Open Research Knowledge Graph: Next Generation Infrastructure for Semantic Scholarly Knowledge. *Proceedings of the 10th International Conference on Knowledge Capture*. New York: ACM, 2019. P. 243-246. DOI: 10.1145/3360901.3364435.

[34] ***Ammar W, Groeneveld D, Bhagavatula C. et al.*** Construction of the Literature Graph in Semantic Scholar. *Proceedings of NAACL-HLT*. New Orleans: Association for Computational Linguistics, 2018. P.84-91. DOI: 10.18653/v1/N18-3011.

[35] ***Peroni S, Shotton D.*** FaBiO and CiTO: ontologies for describing bibliographic resources and citations. *Journal of Web Semantics*. 2012; 17: 33-43. DOI: 10.1016/j.websem.2012.08.001.

[36] ***Bizer C, Heath T, Berners-Lee T.*** Linked Data - The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 2009; 5(3): 1-22. DOI: 10.4018/jswis.2009081901.

[37] ***Uschold M, Gruninger M.*** Ontologies: principles, methods and applications. *The Knowledge Engineering Review*. 1996; 11(2): 93-136. DOI: 10.1017/S0269888900007797.

[38] ***Fernández-López M, Gómez-Pérez A, Juristo N.*** METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *Proceedings of the AAAI-97 Spring Symposium on Ontological Engineering*. Menlo Park: AAAI Press, 1997. P.33-40.

[39] ***Suárez-Figueroa MC, Gómez-Pérez A, Fernández-López M.*** The NeOn Methodology for Ontology Engineering. *Ontology Engineering in a Networked World*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. P.9-34. DOI: 10.1007/978-3-642-24794-1_2.
[40] ***Noy NF, McGuinness DL.*** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. *Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05*. Stanford, 2001. 25 p.
[41] ***Poveda-Villalón M, Gómez-Pérez A, Suárez-Figueroa MC.*** OOPS! (OntOlogy Pitfall Scanner!): An On-line Tool for Ontology Evaluation. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 2014; 10(2): 7-34. DOI: 10.4018/IJSWIS.2014040102.
[42] ***Glimm B, Horrocks I, Motik B, Stoilos G, Wang Z.*** HermiT: An OWL 2 Reasoner. *Journal of Automated Reasoning*. 2014; 53(3): 245-269. DOI: 10.1007/s10817-014-9305-1.
[43] ***Mori S, Suen CY, Yamamoto K.*** Historical review of OCR research and development. *Proceedings of the IEEE*. 1992; 80(7): 1029-1058. DOI: 10.1109/5.156468.
[44] ***Vitruvius.*** *Ten Books on Architecture* [In Russian]. Translated by F.A. Petrovsky. Moscow: Publishing House of the All-Union Academy of Architecture, 1936. 331 p.
[45] ***Priem J, Piwowar H, Orr R.*** OpenAlex: A fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts. *arXiv:2205.01833*, 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2205.01833.
[46] ***Kuznetsov OP, Sukhoverov VS.*** An ontological approach to determining the subject matter of a scientific text [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(1): 55-66. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-55-66.
[47] ***Manghi P.*** Challenges in building scholarly knowledge graphs for research assessment in open science. *Quantitative Science Studies*. 2024; 5(4): 991-1021. DOI: 10.1162/qss_a_00322.
[48] ***Alharbi R, Tamma V, Grasso F, Payne TR.*** Investigating Open Source LLMs to Retrofit Competency Questions in Ontology Engineering. *Proceedings of the AAAI Symposium Series*. 2024; 4(1): 188-198. DOI: 10.1609/aaaiss.v4i1.31793.

About the authors

Nikolai Mikhailovich Borgest (b. 1954). Graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after Academician S.P. Korolev in 1978, Candidate of Technical Sciences (1985). Associate Professor at the Department of Aircraft Design and Construction, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev. Member of the International Association for Ontology and its Applications (IAOA), the International Association for Safe and Ethical Artificial Intelligence (IASEAI), the Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI), and the Russian Association for Artificial Intelligence (RAAI). His list of scientific publications includes more than 200 works in the fields of design automation and artificial intelligence. AuthorID (RCI): 638887. Author ID (Scopus): 56566748500; ORCID: 0000-0003-2934-6198; Researcher ID (WoS): I-8689-2014. *borgest@yandex.ru* ✉.

Sukhaylii Ilkhom Shirinbegzoda (b. 2002). Graduated from Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev in 2025. Master's degree student in Aircraft Engineering and engineer at Samara University. Research interests include aircraft engineering, journalism, artificial intelligence technologies, computer vision, and educational platforms. ORCID: 0009-0003-7317-4722. *shirinbegzodasi@yandex.ru.*

Received August 1, 2026. Revised September 10, 2026. Accepted September 14, 2026.