

УДК 004.021+004.42

СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ, УРОВНЕЙ И ПРЕРЕКВИЗИТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОНТОЛОГИИ ONTOMATH^{EDU}

М. В. Фалилеева¹, [0000-0003-2228-7551], А. В. Кириллович², [0000-0001-9680-449X],
О. А. Невзорова³, [0000-0001-8116-9446], Л. Р. Шакирова⁴, [0000-0001-5758-4076],
Е. К. Липачёв⁵, [0000-0001-7789-2332], А. Э. Дюпина⁶, [0000-0002-0917-3763]

^{1, 3-6} Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 35, г. Казань,
420008

² Казанский филиал Межведомственного суперкомпьютерного центра
Российской академии наук

¹mmwwff@yandex.ru, ²alickirillovich@gmail.com, ³onevzoro@gmail.com, ⁴
liliana008@mail.ru, ⁵elipachev@gmail.com, ⁶anastasiya.dupina@yandex.ru

Аннотация

Представлены разработанные образовательные проекции, уровни и пререквизиты математической образовательной полилингвальной онтологии OntoMath^{Edu}. Образовательная проекция рассматривается как формализация определенной системы предметной подготовки по математике. Она представляет собой подмножество концептов онтологии OntoMath^{Edu}, которые структурированы на данном этапе развития онтологии с помощью двух дидактических отношений — *образовательный уровень* и *пререквизит*.

Образовательные уровни выделены на основе стандартов обучения соответствующей системы образования, отношение *пререквизит* определяется последовательностью изучаемых понятий в той или иной системе образования.

В онтологии OntoMath^{Edu} определены две проекции, представляющие образовательные системы России и Великобритании. Алгоритм построения онтологии через связывание различных проекций позволяет в дальнейшем пополнять ее новыми образовательными проекциями, которые можно использовать в системе полилингвального обучения математике.

Ключевые слова: онтология, математическое образование, планиметрия, OntoMathEdu, образовательная проекция, образовательный уровень, пререквизит

ВВЕДЕНИЕ

Применение семантических подходов в образовательном процессе – одно из заметных направлений цифровизации школьного и академического образования (см., например, [1, 2]). В математическом образовании разработка и использование инструментов, основанных на семантике предметной области, активно развивается после создания онтологий математического знания [3–8].

Одной из задач современного образования являются индивидуализация обучения и построение индивидуальных траекторий обучаемого с помощью интеллектуальных систем управления знаниями (например, [9]). Решение этой задачи требует междисциплинарного подхода, с привлечением специалистов Computer Science, научных работников в областях педагогики школьного, специального и высшего образования, а также экспертов в предметных областях (см., например, [10–12]).

При разработке образовательных программ обязательным этапом является определение зависимостей учебных модулей и последовательности их изучения. Семантические зависимости между учебными модулями задаются с помощью пререквизитов рассматриваемой учебной дисциплины (см., например, [11, 13, 14]). Пререквизит – это связь между двумя компонентами образовательной программы, означающая, что один компонент должен быть освоен до прохождения другого. В образовательных онтологиях дидактическое отношение «пререквизит» связывает концепты онтологии на основе стандартов обучения соответствующей системы образования [15–17]. Генерация индивидуальных образовательных траекторий в цифровых образовательных средах опирается на данные «цифрового портрета» обучаемого или его когнитивного профиля (например, [11]). На основании индивидуализированной оценки, например, тестов, выявляется список пропущенных знаний, после чего, на основании связей между концептами в онтологии предметной области, формируется последовательность прохождения учебного материала.

Статья посвящена разработке пререквизитов и образовательных проекций онтологии $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ – образовательной полилингвальной математической онтологии [15, 16, 18–20]. Эта онтология спроектирована таким образом, чтобы служить ядром открытых связанных данных (Linked Open Data, LOD) для математического образования, лингвистическим ресурсом для обработки математических

текстов на естественном языке, а также справочной базой данных для конечных пользователей.

В первом разделе дано описание развития онтологии $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ и её применения в учебном процессе в настоящий момент времени. Далее приведена структура образовательных проекций этой онтологии для систем школьного образования Российской Федерации и Великобритании.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ $\text{ONTOMATH}^{\text{EDU}}$

Онтология $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ (<https://github.com/CLLKazan/OntoMathEdu>) вместе с онтологией профессионального математического знания $\text{OntoMath}^{\text{PRO}}$ [5, 6] является частью цифровой экосистемы OntoMath [22, 23], на основе которой построены семантические сервисы цифровой экосистемы Lobachevskii Digital Mathematical Library (<https://lobachevskii-dml.ru/>) [21]. В частности, формирование поисковых рекомендаций с поддержкой аннотирования в рекомендательной математической системе [24] и семантический поиск по формулам [25] опираются на онтологии указанной цифровой экосистемы.

Онтология $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ используется в образовательном процессе Казанского университета. На основе этой онтологии производится семантическая разметка математических учебников, осуществляется автоматическая рекомендация учебных материалов в соответствии с индивидуальным профилем обучаемого, а также выполняется автоматическая генерация тестовых заданий для проверки знаний [26].

Онтология организована в виде трех уровней:

- онтологии верхнего уровня;
- уровня предметной онтологии;
- лингвистического уровня.

Уровень предметной онтологии содержит математические концепты, относящиеся к курсу математики средней школы. Лингвистический уровень содержит информацию о том, как эти понятия выражаются на естественном языке. В онтологии верхнего уровня концепты снабжены семантическими аннотациями.

Уровень предметной онтологии состоит из двух иерархий концептов: иерархии объектов и иерархии материализованных отношений.

Описание концепта включает его название на русском, английском и татарском языках, связи с другими концептами, а также с внешними ресурсами из облака открытых связанных данных (LOD).

В настоящее время онтология содержит более 900 концептов, которые относятся к школьному курсу планиметрии российской школы в соответствии с ФГОС ООО [27] и курсу математики в школах Великобритании в соответствии с Национальным учебным планом [28, 29].

В силу своей образовательной специфики онтология содержит не только математические факты о представленных в ней концептах, но информацию об использовании этих концептов в образовательном процессе. Данная информация выражается в онтологии с помощью двух основных отношений «*пререквизит*» и «*образовательный уровень*».

2. СТРУКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ ONTOMATH^{EDU}

2.1. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ ОНТОЛОГИИ

В полилингвальной онтологии системы понятий формируются в соответствии с каждой образовательной системой, представляемой в онтологии.

Проекция онтологии OntoMath^{Edu} на национальную систему математического образования (далее – *проекция онтологии*) определяется как выделенный набор концептов онтологии OntoMath^{Edu} и онтологических отношений между ними. В набор включены те концепты онтологии, которые образованы из понятий, изучаемых в рамках программы школьной математики выбранной системы образования.

Проекции онтологии OntoMath^{Edu} создаются на основе особенностей использования этой онтологии в системах школьного образования. В отличие от существующих подходов в проектировании онтологий профессионального математического знания данный подход учитывает отличия в системе базовых знаний школьных курсов математики различных стран мира (Рис. 1).

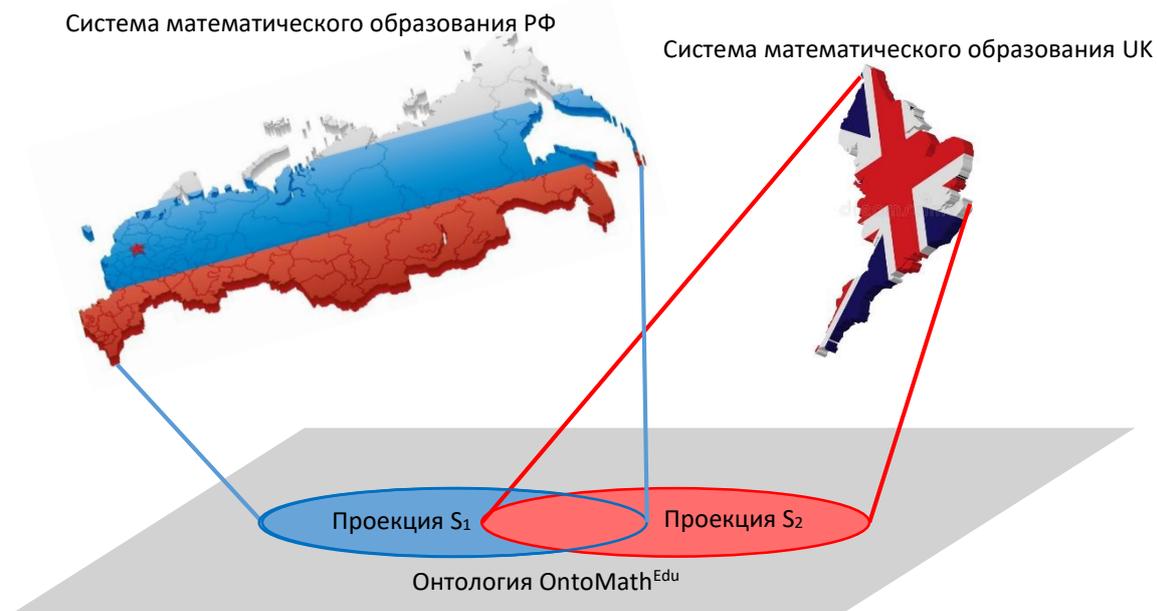


Рис. 1. Образовательные проекции онтологии OntoMath^{Edu}

Каждая образовательная проекция содержит математические понятия, обязательные к изучению при базовой и профильной школьных подготовках, а также понятия, встречающиеся в программах дополнительной подготовки школьников. Например, при создании образовательной проекции онтологии для системы школьного образования на русском языке проанализированы самые популярные учебники планиметрии общей общеобразовательной школы базового и профильного уровней подготовки по математике (*Л.С. Атанасяна, И.Ф. Шарыгина и др.*) и дополнительные учебные пособия по элементарной геометрии (*Г.К. Гордина, А.Г. Мякишева и др.*). Создание образовательной проекции OntoMath^{Edu} для системы школьного математического образования на английском языке проанализированы учебники программы Великобритании, в частности, National curriculum in England: mathematics programs of study, Standards for Mathematical Practice of USA, study books (см., например, [30–36]).

Обучающий потенциал каждой образовательной проекции возрастает, благодаря объединению различных традиционных подходов в изложении содержания учебного материала.

На данном этапе образовательные возможности онтологии представлены двумя видами отношений в системе образования — дидактическими и методическими.

Дидактические принципы – определяют уровень подготовки обучаемых и последовательность обучения математике. В онтологии OntoMath^{Edu} они формализованы отношениями *образовательный уровень* и *пререквизит*.

Методические отношения определяют методические связи между изучаемыми понятиями. С помощью этих отношений можно указать, какие понятия определяются через другие и какие понятия являются классами. В онтологии OntoMath^{Edu} методические отношения формализованы отношениями *онтологическая зависимость*, *аргументы*, *задается с помощью*, *определяется через*, *предметность*, *DisjointUnionOf* и др. [15].

В настоящее время в онтологии OntoMath^{Edu} представлены две проекции онтологии в соответствии с выделенными отношениями *образовательный уровень* и *пререквизит* — проекция Российской системы школьного математического образования и проекция математической образовательной системы Великобритании.

Свойства *образовательный уровень* и *пререквизит* в образовательной проекции выполняют две функции:

- *системообразующую* — для создания проекций онтологии OntoMath^{Edu} (*образовательный уровень* выделяет концепты данной системы образования из множества концептов онтологии; *пререквизит* приводит в соответствии с последовательностью изучения учащимися);
- *дифференцирующую* — для выделения образовательных уровней в самих проекциях онтологии, необходимых для организации персонализированного обучения учащихся в соответствии с требуемым уровнем подготовки по математике, и распределения понятий по различным проекциям.

2.2. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УРОВНИ

Образовательный уровень отражает степень подготовки учащихся по предмету в соответствии с образовательной системой.

Система математического образования каждой страны построена в виде нескольких уровней подготовки учащихся. В полилингвальной образовательной онтологии могут быть представлены несколько образовательных систем, и каждая из них в онтологии проецируется как набор

$$(L_1, L_2, \dots, L_k).$$

Через L_i обозначено множество концептов онтологии, содержащихся в выделенном уровне i образовательной системы. Число уровней, как и состав входящих в них концептов, в каждой системе индивидуально, поэтому будем использовать обозначения L_i^S или $L_i(S)$, отмечая принадлежность уровня проекции S образовательной системы.

Если в полилингвальной онтологии представлены понятия из n образовательных систем, то в этом случае имеем n образовательных проекций $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ с соответствующими наборами образовательных уровней

$$(L_1(S_1), L_2(S_1), \dots, L_{k_1}(S_1)),$$

$$(L_1(S_2), L_2(S_2), \dots, L_{k_2}(S_2)),$$

$$(L_1(S_n), L_2(S_n), \dots, L_{k_n}(S_n)).$$

В онтологии OntoMath^{Edu} на данном этапе проектирования разрабатываются проекции двух образовательных систем школьной математики (на примере раздела школьной математики – планиметрии), каждая из которых имеет свои уровни подготовки: S_R – проекция Российской образовательной системы и S_B – проекция образовательной системы Великобритании. В Российской Федерации образовательные уровни хорошо представлены в соответствии с делениями на классы, в которых начинается системное обучение планиметрии:

- $L_1(S_R)$ – 7 класс (13–14 лет),
- $L_2(S_R)$ – 8 базовый класс (14–15 лет),
- $L_3(S_R)$ – 8 профильный класс (14–15 лет),
- $L_4(S_R)$ – 9 базовый класс (15–16 лет)
- $L_5(S_R)$ – 9 профильный класс» (15–16 лет)
- $L_6(S_R)$ – дополнительная подготовка по математике (7–11 классы).

В Великобритании в соответствии со стандартами обучения определены 4 уровня подготовки по математике:

- $L_1(S_B)$ – *Key stage 1* (1–2 годы обучения, 5–7 лет),
- $L_2(S_B)$ – *Key stage 2* (3–6 годы обучения, 7–11 лет),
- $L_3(S_B)$ – *Key stage 3* (7–9 годы обучения, 11–14 лет),
- $L_4(S_B)$ – *Key stage 4* (10–11 годы обучения, 14–16 лет).

Отметим некоторые принципиальные отличия в подготовке планиметрии в школах России и Великобритании. В Великобритании курс геометрии – это часть единого курса математики, в котором весь материал представлен в едином учебнике, есть темы, использующие в геометрии алгебраические понятия, и, наоборот, планиметрия изучается параллельно со стереометрией), в России курс геометрии с 7-го класса изолирован от остального курса математики.

В текущей версии онтологии OntoMath^{Edu} указанные системы образования формализованы в виде совокупности двух образовательных проекций:

$$(L_1(S_R), L_2(S_R), L_3(S_R), L_4(S_R), L_5(S_R), L_6(S_R)), \\ (L_1(S_B), L_2(S_B), L_3(S_B), L_4(S_B)),$$

S_R соответствует российской системе школьной подготовки по курсу планиметрии, а S_B представляет курс планиметрии, изучаемый в Великобритании (Рис. 2).

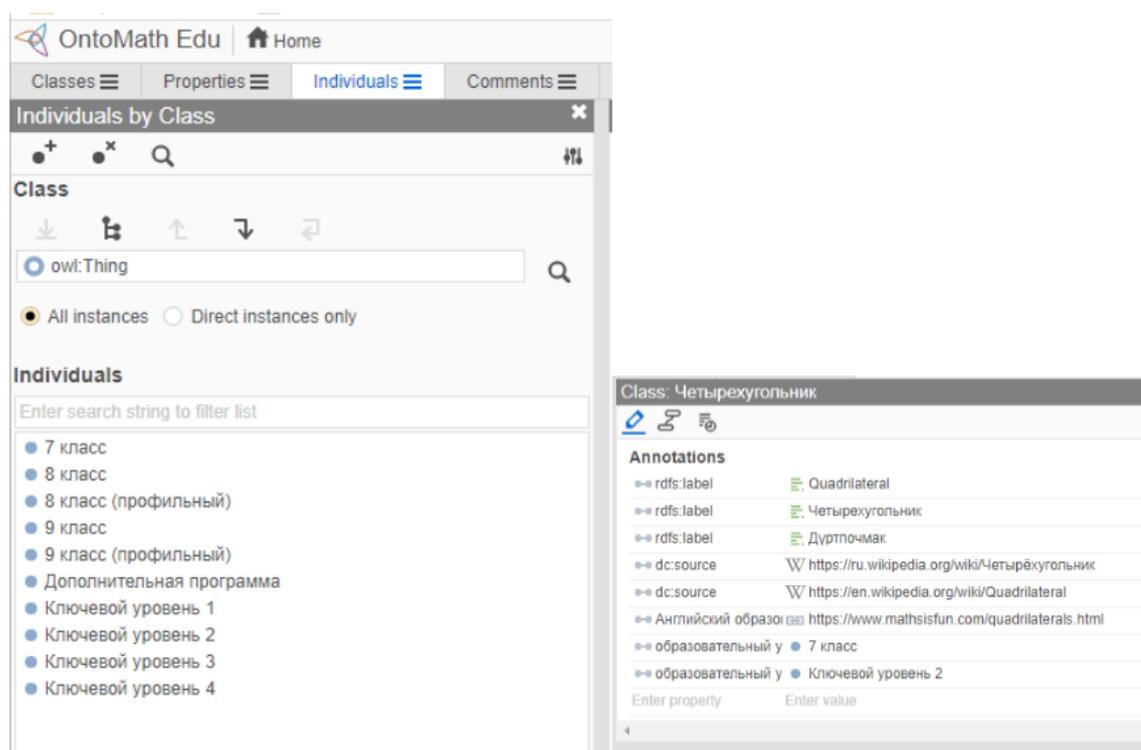


Рис. 2. Образовательные уровни в онтологии OntoMath^{Edu} и пример принадлежности концепта образовательным уровням двух проекций

Формализация предметной области планиметрии при проектировании образовательной онтологии потребовала:

- введения новых понятий, как принадлежащих только одной системе, так и не принадлежащих ни одной;

- выделения как общих понятий двух систем образования, так и принадлежащих только одной системе образования;
- представления одного и того же понятия различными концептами, поскольку понятие приобретает различные названия на разных образовательных уровнях.

В процессе формализации имелись различные случаи включения в онтологию концептов, соответствующих понятиям, принадлежащим одновременно двум образовательным системам или имеющимся только в одной из них. Один из примеров такой ситуации приведен на Рис. 3.

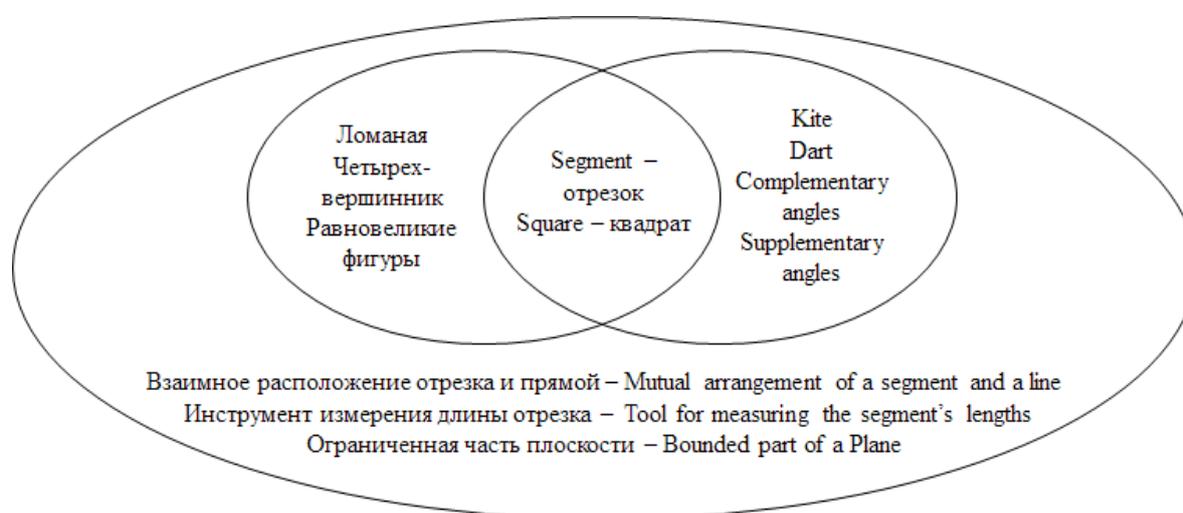


Рис. 3. Возможности представления концептов онтологии в системах образования России и Великобритании.

Каждому концепту онтологии присваивается не более одного значения свойства *образовательный уровень* на одном из языков. В онтологии существуют концепты, которым не присвоено свойство *образовательный уровень* или присвоен только один раз (Рис. 3). Среди них выделены концепты:

- необходимые для более точной формализации представляемой образовательной предметной области (например, класс *Ограниченная часть плоскости* необходим в онтологии для объединения геометрических фигур, площади которых вычисляемы в школьном курсе планиметрии, поэтому он не обладает свойством *образовательный уровень*),

- являющиеся переводом понятия предметной области с языка одной образовательной системы на язык другой системы, в которой это понятие не используется. Например, *Supplementary angles* переведено на русский язык как *угол, дополняющий до угла 180 градусов*, но данное понятие отсутствует в курсе математики в РФ, поэтому концепт имеет только одно значение *Key Stage 2* свойства *образовательный уровень* (Рис. 4).

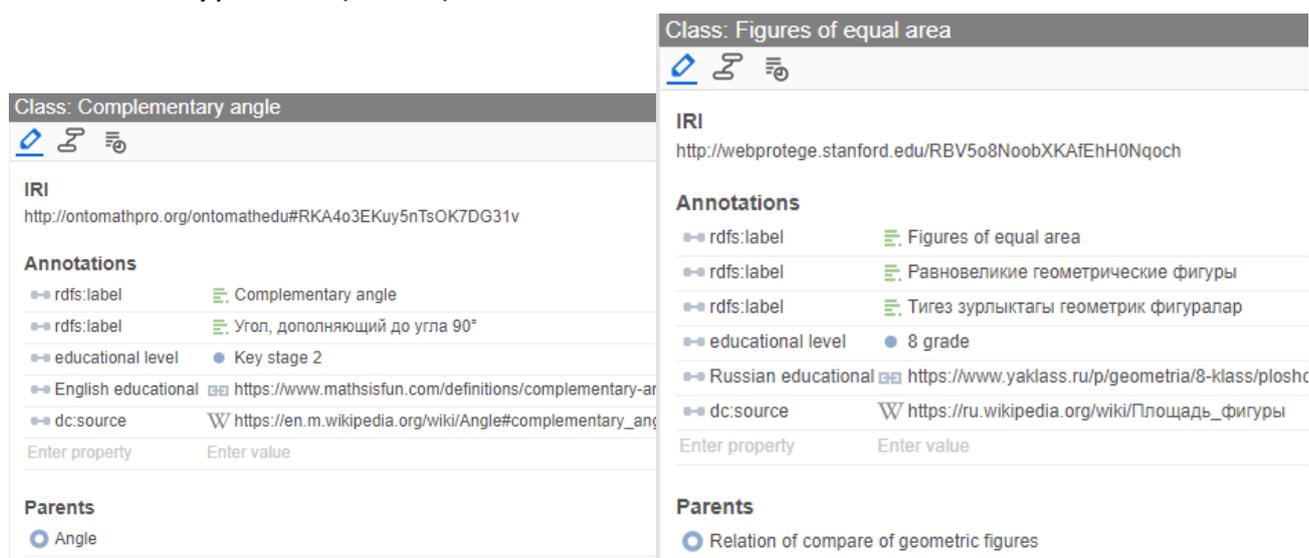


Рис. 4. Представление концептов в онтологии OntoMath^{Edu}, имеющих представления только в одной системе образования.

Свойство *образовательный уровень* в проектировании онтологии позволяет выделять образовательные уровни подготовки учащихся в проекциях онтологии. Например, объединение концептов со свойствами *образовательный уровень 7 класс*, *8 класс* и *8 профильный класс* позволяет выделить концепты, соответствующие уровню подготовки учащегося, закончившему обучение в 8-м профильном математическом классе.

Образовательные уровни являются основой для создания образовательных проекций, являющихся формализацией курсов планиметрии России и Великобритании.

2.3. ОТНОШЕНИЕ «ПРЕРЕКВИЗИТ»

Организация предметного знания для образовательных целей требует, чтобы логические отношения между понятиями были дополнены пререквизит-

ными отношениями, указывающими последовательность их изучения. В образовательной онтологии данное отношение имеет особое значение, поскольку предметность изучаемых понятий — ведущий принцип теории обучения.

Понятие A является пререквизитом для понятия B , если для того, чтобы изучить B , учащийся должен сначала изучить A . Например, овладение концептом *Треугольник* требуется, чтобы овладеть концептом *Высота треугольника*, между тем родительским классом концепта *Высота треугольника* являются *Чевиана треугольника* и *Перпендикуляр*. При этом чевиана треугольника изучается в профильном курсе математики уровня $L_3(S_R)$ российской школы как понятие, обобщающее отдельные виды отрезков треугольника, а высота треугольника — в 8-м классе общеобразовательной школы, что соответствует уровню $L_2(S_R)$.

Пререквизиты используются в таких задачах как “automatic reading list generation”, “curriculum planning”, “evaluation of educational resources”, “prediction of academic performance” (см., например, [18, 19, 37, 38]).

В онтологии $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ пререквизиты задаются двумя способами: опосредованно путем распределения концептов по образовательным уровням и напрямую путем расстановки отношения *пререквизит* между отдельными концептами.

Особенностью пререквизитного отношения является то, что концепт является пререквизитом другого концепта относительно определенной образовательной системы. В онтологии $\text{OntoMath}^{\text{Edu}}$ образовательные системы моделируются как *точки зрения*, относительно которых выполняются пререквизитные отношения (см., например, [18]).

В дальнейшем планируется, что релятивизация отношений к точкам зрения будет моделироваться с помощью шаблона проектирования D&S (“Descriptions and Situations”) (см., например, [39, 40]). Однако создание шаблонов D&S вручную является трудоемкой задачей. В связи с этим для моделирования точек зрения используется следующий подход.

Для объектного свойства *пререквизит* создаются подсвойства, каждое из которых соответствует точке зрения одной из образовательных систем (*пререквизит в образовательной системе России, пререквизит в образовательной системе Великобритании* и т. д.). Концепты, являющиеся пререквизитами в той

или иной образовательной системе, связываются соответствующими под свойствами. Затем на базе пар концептов, связанных под свойствами, генерируются шаблоны D&S.

Последовательность изучения отдельных понятий может отличаться в зависимости от методики обучения, принятой в определенной системе обучения предметной области. Рассмотрим различные случаи отношения *пререквизит* в проекциях S_R и S_B . Обозначим через P_R пререквизит в образовательной проекции S_R , а через P_B – пререквизит в образовательной проекции S_B . Отношение *пререквизит* может существовать транзитивно, то есть концепты A и B могут быть не связаны напрямую отношением, но быть связаны несколькими отношениями через другие концепты. В этом случае также будем считать, что отношение *пререквизит* между A и B существует (таблица 1). В таблице используется обозначение $A \in S$, означающее, что концепт A содержится в образовательной проекции S .

Таблица 1. Варианты связывания концептов онтологии OntoMath^{Edu} отношением *пререквизит*

№	Концепт A	Концепт B	Пререквизит между A и B
1	$\neg(A \in S_R) \ \& \ \neg(A \in S_B)$	$\neg(B \in S_R) \ \& \ \neg(B \in S_B)$	не существуют P_1, P_2
2	$(A \in S_R) \ \& \ \neg(A \in S_B)$	$\neg(B \in S_R) \ \& \ (B \in S_B)$	не существуют P_1, P_2
3	$(A \in S_R) \ \& \ (A \in S_B)$	$(B \in S_R) \ \& \ (B \in S_B)$	существуют P_1, P_2
4	$(A \in S_R) \ \& \ \neg(A \in S_B)$	$(B \in S_R) \ \& \ \neg(B \in S_B)$	существует P_1
5	$\neg(A \in S_R) \ \& \ (A \in S_B)$	$\neg(B \in S_R) \ \& \ (B \in S_B)$	существует P_2

Сравним пары концептов, связанных отношением *пререквизит* в различных системах среднего образования (таблица 2).

Таблица 2. Примеры общего и отличий концептов, находящихся в отношении *пререквизит* в системах образования РФ и Великобритании

В российской системе образования	В образовательных системах Великобритании / США
----------------------------------	---

<i>Окружность → Длина окружности</i> <i>Круг → Площадь круга</i>	<i>Circle → Circumference</i> <i>Circle → Area of a circle</i>
<i>Угол → Накрест лежащие углы</i>	<i>Angle → Alternate interior angles</i> <i>Angle → Alternate exterior angles</i>
-	<i>Angle → Complementary angles</i> <i>Angle → Supplementary angles</i>

В онтологии OntoMath^{Edu} русскоязычным терминам предметной области приведены в соответствие термины из англоязычных учебников (Великобритании, США и др.) и добавлены новые, отсутствующие в российских учебниках планиметрии. Учебные программы Великобритании, США и некоторых штатов США отличаются. Приемственность в обучении планиметрии в Великобритании, в целом, близка к системе обучения планиметрии в России (см., например, [31]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный выше подход в проектировании онтологии является новым шагом в проектировании индивидуального цифрового пространства в системе школьного математического образования с применением интеллектуальных рекомендательных систем.

Описаны новые направления в разработке образовательной математической онтологии OntoMath^{Edu}. В текущей версии ресурс содержит структурированные знания из школьного курса геометрии. Для представления различных языковых и образовательных уровней в онтологии была разработана модель проекций онтологии, которая была успешно использована в процессе проектирования новой версии онтологии OntoMath^{Edu}.

Дальнейшее направление развития заключается в пополнении онтологии концептами и новыми отношениями и разработке образовательных приложений, включая рекомендательные образовательные системы для полилингвального обучения, систем контроля математического знания.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-29-14084.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Taibi D., Fulantelli G., Dietze S., Fetahu B. Educational Linked Data on the Web – Exploring and Analysing the Scope and Coverage // In: Mouromtsev D. and

D'Aquin M. (Eds.) Open Data for Education: Linked, Shared, and Reusable Data for Teaching and Learning. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2016. V. 9500. P. 16–37. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30493-9_2.

2. *Nahhas S., Bamasag O., Khemakhem M., Bajnaid N.* Added Values of Linked Data in Education: A Survey and Roadmap // *Computers*. 2018. V. 7, No. 3. <https://doi.org/10.3390/computers7030045>.

3. *Lange Ch.* Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web // *Semantic Web*. 2013. V. 4, No. 2. P. 119–158. URL: <https://doi.org/10.3233/SW-2012-0059>.

4. *Kohlhase M.* A Data Model and Encoding for a Semantic, Multilingual Terminology of Mathematics // In: Watt S.M., et al. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2014)*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2014. V. 8543. P. 169–183. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08434-3_13.

5. *Nevzorova O., Zhiltsov N., Kirillovich A., Lipachev E.* OntoMath^{PRO} Ontology: A Linked Data Hub for Mathematics // In: Klinov P., Mouromstev D. (Eds.) *Proc. of the 5th Int. Conf. on Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW 2014)*. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2014. V. 468. P. 105–119. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11716-4_9.

6. *Кириллович А.В., Жильцов Н.Г., Иваньшин П.Н., Каюмова А.В., Каюмов И.Р., Липачев Е.К., Матвейчук М.С., Невзорова О.А., Соловьев В.Д., Уткина Е.А.* Онтология профессиональной математики «OntoMathPRO» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2018622131, 25.12.2018.

7. *Ginev D., Iancu M., Jucovshi C., Kohlhase A., Kohlhase M., Oripov A., Schefter J., Sperber W., Teschke O., and Wiesing T.* The SMGloM Project and System: Towards a Terminology and Ontology for Mathematics // In: Greuel G.M. et al. (Eds.) *5th International Conference on Mathematical Software (ICMS 2016)*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2016. V. 9725. P. 451–457. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42432-3_58.

8. *Tzoumpa D., Mitropoulos S.* Semantic Web Technologies for Ontologies Description: Case study in Geometry Education // In: *2020 5th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, Corfu, Greece. 2020. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/SEEDA-CECNSM49515.2020.9221781>.

9. *Anderson J.Q.* Individualisation of Higher Education: How Technological Evolution can Revolutionise Opportunities for teaching and learning // *International social science journal*. 2013. V. 64. No. 213–214. P.305–316.

<https://doi.org/10.1111/issj.12046>.

10. *Абрамский М.М., Батырова Э.Ф., Марданова А.Р., Ахметзянова Т.А.* Генерация индивидуальных образовательных траекторий и расписания обучения в парадигме индивидуализации образования // *Электронные библиотеки*. 2018. Т 21. № 3–4. С. 129–145.

11. *Муромцев Д.И.* Модели и методы индивидуализации электронного обучения в контексте онтологического подхода // *Онтологии проектирования*. 2020. Т. 10, № 1. С. 34–49. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49>.

12. *Галеев Р.Д., Гильманшин И.Р., Кашапов Н.Ф., Гильманшина С.И.* Применение индивидуальных образовательных траекторий и адаптивного контента в инженерном образовании // *Перспективы и приоритеты педагогического образования в эпоху трансформаций, выбора и вызовов. сборник научных трудов VI Виртуального Международного форума по педагогическому образованию. Казань, 2020. С. 120–129.*

13. *Абрамский М.М.* Управление данными в современных цифровых образовательных средах // *Информационное общество*. 2019. № 1–2. С. 82–91.

14. *Абрамский М.М.* Модели, методы и программные средства управления данными цифровых образовательных сред. Дис.к.т.н.... Казань, 2019. 160 с.

15. *Kirillovich A., Nevzorova O., Falileeva M., Lipachev E., Shakirova L.* *OntoMath^{Edu}:Towards an Educational Mathematical Ontology* // In: Edwin B. et al. (Eds). *Workshop Papers at 12th Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM-WS 2019), Prague, Czech Republic, 8–12 July 2019. CEUR Workshop Proceedings*. 2020. V. 2634. <http://ceur-ws.org/Vol-2634/WiP1.pdf>, last accessed 2020/11/21.

16. *Фалилеева М.В., Кириллович А.В., Невзорова О.А., Шакирова Л.Р., Липачёв Е.К., Дюпина А.Э.* Разработка образовательных проекции математической онтологии *OntoMathEdu* // *Научный сервис в сети Интернет:*

труды XXII Всероссийской научной конференции (21-25 сентября 2020 г., онлайн). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2020. — С. 604-611.

URL:<https://doi.org/10.20948/abrau-2020-26>.

URL: <https://keldysh.ru/abrau/2020/theses/26.pdf>

17. *Loukachevitch N., Komissarov A., Dobrov B., Shternov S.* Using Ontology for Natural Sciences and Technologies for Vacancies Analysis // DTTL-2021: International Workshop on Digital Technologies for Teaching and Learning, March 22-28, 2021, Kazan, Russia. 2021 (in press).

18. *Kirillovich A., Nevzorova O., Falileeva M., Lipachev E., Shakirova L.* OntoMath^{Edu}: a New Linguistically Grounded Educational Mathematical Ontology // In: Benz Müller C. and Miller B. (Eds.) Proc. of the 13th International Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2020). Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer. 2020. V. 12236. P. 157–172.

19. *Шакирова Л.Р., Фалилеева М.В., Кириллович А.В., Липачев Е.К.* Проектирование образовательной математической онтологии: проблемы и методы решения на примере курса планиметрии // XV Международная конференция по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL 2018. Сборник трудов: в 2-х томах. Т. 1. Казань: Изд.-во АН РТ. 2018. С. 393–405.

20. *Кириллович А.В., Липачев Е.К., Невзорова О.А., Фалилеева М.В., Шакирова Л.Р.* Онтология образовательной математики «OntoMathEDU» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019622208, 28.11.2019.

21. *Elizarov A.M., Lipachev E.K.* Lobachevskii DML: Towards a Semantic Digital Mathematical Library of Kazan University // CEUR Workshop Proceedings. 2017. V. 2022. P. 326–333.

22. *Елизаров А.М., Жильцов Н.Г., Кириллович А.В., Липачев Е.К., Невзорова О.А.* Экосистема OntoMATH и проект Всемирной цифровой математической библиотеки // Труды международной конференции по компьютерной и когнитивной лингвистике. Сер. "Интеллект. Язык. Компьютер" 2016. С. 25–28.

23. *Elizarov A.M., Kirilovich A.V., Lipachev E.K., Nevzorova O.A.* Mathematical Knowledge Management: Ontological Models and Digital Technology // CEUR Workshop Proceedings. 2016. V. 1752. P. 44–50. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1752/paper08.pdf>.

24. *Elizarov A.M., Kirillovich A.V., Lipachev E.K., Zhizhchenko A.B., Zhil'tsov N.G.* Mathematical Knowledge Ontologies and Recommender Systems for Collections of Documents in Physics and Mathematics // *Doklady Mathematics*. 2016. V. 93, No. 2. P. 231–233. <https://doi.org/10.1134/S1064562416020174>.

25. *Elizarov A., Kirillovich A., Lipachev E., Nevzorova O.* Semantic Formula Search in Digital Mathematical Libraries // *Proc. of the 2nd Russia and Pacific Conf. on Comp. Technology and Applications (RPC 2017)*. IEEE. 2017. P. 39–43. <https://doi.org/10.1109/RPC.2017.8168063>.

26. *Falileeva M., Kirillovich A., Shakirova L., Nevzorova O., Lipachev E., Dyupina A.* OntoMath^{Edu} Educational Mathematical Ontology: Prerequisites, Educational Levels and Educational Projections. // *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. V. 2784. P. 346–351. <http://ceur-ws.org/Vol-2784/spaper07.pdf>.

27. Федеральные государственные образовательные стандарты. Основное общее образование (5–9 кл.). URL: <https://fgos.ru/#b3ac23ba5e3cfc8ef>, https://fgos.ru/LMS/wm/wm_fgos.php?id=osnov.

28. The national curriculum. URL: <https://www.gov.uk/national-curriculum>.

29. National curriculum in England: mathematics programmes of study. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study>.

30. Standards for Mathematical Practice.
URL: <http://www.corestandards.org/Math/Practice/>.

31. *Cummins J., Carter J.A., Cuevas G.J., Day R, Malloy C.* Glencoe Geometry, Virginia Student Edition. McGraw-Hill/Glencoe, 2012. 810 p.

32. *Gantert A.X.* Amsco's Geometry. AMSCO School Publications, Incorporated, 2008. 643 p.

33. *Larson R.L., Boswell L., Stiff L.* Heath Geometry an Integrated Approach. Teacher's Edition, 1998. 876 p.

34. KS2 Maths SATs Study Book: For the 2021 Tests (Collins KS2 SATs Practice). Collins KS2, 2015. 112 p.

35. KS3 Maths Complete Revision & Practice - Higher (with Online Edition) (Paperback). CGP Books, 2014. 171 p.

36. *Joinson R.* Exercises in KS3 Mathematics Levels 5-6 (Spiral bound). 2001. 101 p.
37. *Pereira C.K., Matsui Siqueira S.W., Nunes B.P., Dietze S.* Linked Data in Education: A Survey and a Synthesis of Actual Research and Future Challenges // IEEE Transactions on Learning Technologies. 2018. V. 11, No. 3. P. 400–412. <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2787659>.
38. *D'Aquin M.* On the Use of Linked Open Data in Education: Current and Future Practices // In: Mouromtsev D. and D'Aquin M.(Eds.) Open Data for Education: Linked, Shared, and Reusable Data for Teaching and Learning. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham. 2016. V. 9500. P. 3–15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30493-9_1.
39. *Borgo S., Masolo C.* Ontological Foundations of DOLCE // In: Poli R., Healy M., Kameas A. (Eds.) Theory and Applications of Ontology. Computer Applications. Dordrecht: Springer, 2010. P. 279–295.
40. *Gangemi A., Mika P.* Understanding the Semantic Web through Descriptions and Situations // In: Meersman R., Tari Z., Schmidt D.C. (Eds.) On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE. OTM 2003. Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg: Springer. 2003. V. 2888. P. 689–706.

EDUCATIONAL PROJECTION SYSTEMS, LEVELS AND PREREQUISITES OF MATHEMATICAL ONTOLOGY ONTOMATH^{EDU}

M. V. Falileeva¹ [0000-0003-2228-7551], A. V. Kirillovich² [0000-0001-9680-449X],
O. A. Nevzorova³ [0000-0001-8116-9446], L. R. Shakirova⁴ [0000-0001-5758-4076],
E. K. Lipachev⁵ [0000-0001-7789-2332], A. E. Dyupina⁶ [0000-0002-0917-3763]

^{1, 3-6} Kazan (Volga Region) Federal University, ul. Kremlyovskaya, 35, Kazan, 420008

² Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

¹mmwwff@yandex.ru, ²alickirillovich@gmail.com, ³onevzoro@gmail.com, ⁴liliana008@mail.ru, ⁵elipachev@gmail.com, ⁶anastasiya.dupina@yandex.ru

Abstract

The developed educational projections, levels and prerequisites of the mathematical educational multilingual ontology OntoMath^{Edu} are presented. Educational projection is viewed as the formalization of a certain system of subject training in mathematics. It is a subset of OntoMathEdu ontology concepts, which are structured at this stage of ontology development using two didactic relationships – educational level and prerequisites.

Educational levels are allocated on the basis of the teaching standards of the corresponding education system, the relation of prerequisites is determined by the sequence of the studied concepts in a particular education system.

The OntoMath^{Edu} ontology defines two projections representing the educational systems of Russia and Great Britain. The algorithm for constructing an ontology through linking various projections allows it to be further replenished with new educational projections, which can later be used in the system of multilingual teaching of mathematics.

Ключевые слова: *ontology, mathematical education, planimetry, OntoMathEdu, educational projection, educational level, prerequisite*

REFERENCES

1. Taibi D., Fulantelli G., Dietze S., Fetahu B. Educational Linked Data on the Web – Exploring and Analysing the Scope and Coverage // In: Mouromtsev D. and

D'Aquin M. (Eds.) Open Data for Education: Linked, Shared, and Reusable Data for Teaching and Learning. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2016. V. 9500. P. 16–37. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30493-9_2.

2. *Nahhas S., Bamasag O., Khemakhem M., Bajnaid N.* Added Values of Linked Data in Education: A Survey and Roadmap // *Computers*. 2018. V. 7, No. 3. URL: <https://doi.org/10.3390/computers7030045>.

3. *Lange Ch.* Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web // *Semantic Web*. 2013. V. 4, No. 2. P. 119–158. URL: <https://doi.org/10.3233/SW-2012-0059>.

4. *Kohlhase M.* A Data Model and Encoding for a Semantic, Multilingual Terminology of Mathematics // In: Watt S.M., et al. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2014)*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2014. V. 8543. P. 169–183. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08434-3_13.

5. *Nevzorova O., Zhiltsov N., Kirillovich A., Lipachev E.* OntoMath^{PRO} Ontology: A Linked Data Hub for Mathematics // In: Klinov P., Mouromstev D. (Eds.) *Proc. of the 5th Int. Conf. on Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW 2014)*. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2014. V. 468. P. 105–119. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-11716-4_9.

6. *Kirillovich A.V., Zhil'cov N.G., Ivan'shin P.N., Kayumova A.V., Kayumov I.R., Lipachev E.K., Matvejchuk M.S., Nevzorova O.A., Solov'ev V.D., Utkina E.A.* Ontologiya professional'noj matematiki «OntoMathPRO» // *Svidetel'stvo o registracii bazy dannykh RU 2018622131*, 25.12.2018.

7. *Ginev D., Iancu M., Jucovshi C., Kohlhase A., Kohlhase M., Oripov A., Schefter J., Sperber W., Teschke O., Wiesing T.* The SMGloM Project and System: Towards a Terminology and Ontology for Mathematics // In: Greuel G.M. et al. (Eds.) *5th International Conference on Mathematical Software (ICMS 2016)*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2016. V. 9725. P. 451–457. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42432-3_58.

8. *Tzoumpa D., Mitropoulos S.* Semantic Web Technologies for Ontologies Description: Case study in Geometry Education // In: *2020 5th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, Corfu, Greece. 2020. P. 1–5.

URL: <https://doi.org/10.1109/SEEDA-CECNSM49515.2020.9221781>.

9. *Anderson J.Q.* Individualisation of Higher Education: How Technological Evolution can Revolutionise Opportunities for teaching and learning // International social science journal. 2013. V. 64. No. 213–214. P. 305–316.

URL: <https://doi.org/10.1111/issj.12046>.

10. *Abramskiy M.M., Batyrova E.F., Mardanova A.R., Akhmetzyanova T.A.* Generation of Individual Educational Routes and Learning Schedule in Individualization paradigm // Russian Digital Libraries Journal. 2018. V. 21. No. 3-4. P. 129–145.

11. *Mouromtsev D.* Models and Methods of e-Learning Individualization in the Context of Ontological Approach // Ontology of Designing. 2020. V. 10, No 1. P. 34–49. URL: <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2020-10-1-34-49>.

12. *Galeev R.D., Gilmanshin I.R., Kashapov N.F., Gimanshina S.I.* Application of Individual Educational Trajectories and Adaptive Content in Engineering Education // Perspektivy i priority pedagogicheskogo obrazovaniya v epoxu transformacij, vybora i vyzovov. sbornik nauchnyx trudov VI Virtualnogo Mezhdunarodnogo foruma po pedagogicheskomu obrazovaniyu. Kazan, 2020. S. 120–129.

13. *Abramskiy M.M.* Data Management in Modern Digital Educational Environments // Information Society. 2019.No 1–2. P. 82–91.

14. *Abramskiy M.M.* Modeli, metody i programmnye sredstva upravleniya dannymi cifrovyyh obrazovatel'nyh sred. Dis. k. t. n... . Kazan, 2019. 160 s.

15. *Kirillovich A., Nevzorova O., Falileeva M., Lipachev E., Shakirova L.* OntoMath^{Edu}: Towards an Educational Mathematical Ontology // In: Edwin B., et al. (Eds). Workshop Papers at 12th Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM-WS 2019), Prague, Czech Republic, 8–12 July 2019. CEUR Workshop Proceedings. 2020. V. 2634. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2634/WiP1.pdf>, last accessed 2020/11/21.

16. *Falileeva M., Kirillovich A., Shakirova L., Nevzorova O., Lipachev E., Dyupina A.* Educational projections of the OntoMath^{Edu} Mathematical Ontology // Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XXII Vserossijskoj nauchnoj konferencii (21-25 sentyabrya 2020 g., onlajn). — M.: IPM im. M.V.Keldysha, 2020. — P. 604-611. URL: <https://doi.org/10.20948/abrau-2020-26>.

URL: <https://keldysh.ru/abrau/2020/theses/26.pdf>

17. *Loukachevitch N., Komissarov A., Dobrov B., Shternov S.* Using Ontology for Natural Sciences and Technologies for Vacancies Analysis // DTTL-2021: International Workshop on Digital Technologies for Teaching and Learning, March 22-28, 2021, Kazan, Russia. 2021 (in press).

18. *Kirillovich A., Nevzorova O., Falileeva M., Lipachev E., Shakirova L.* *OntoMath^{EdU}: a New Linguistically Grounded Educational Mathematical Ontology* // In: Benz Müller C. and Miller B. (Eds.) *Proc. of the 13th International Conference on Intelligent Computer Mathematics (CICM 2020). Lecture Notes in Artificial Intelligence.* Springer. 2020. V. 12236. P. 157–172.

19. *Shakirova L.R., Falileeva M.V., Kirillovich A.V., Lipachev E.K.* *Proektirovanie obrazovatel'noj matematicheskoy ontologii: problemy i metody resheniya na primere kursa planimetrii* // XV Mezhdunarodnaya konferenciya po komp'yuternoj i kognitivnoj lingvistike TEL 2018. *Sbornik trudov: v 2-kh tomakh. T. 1.* Kazan': Izd.-vo AN RT. 2018. S. 393–405.

20. *Kirillovich A.V., Lipachev E.K., Nevzorova O.A., Falileeva M.V., Shakirova L.R.* *Ontologiya obrazovatel'noj matematiki «OntoMathEDU»* // *Svidetel'stvo o registracii bazy dannykh RU 2019622208, 28.11.2019.*

21. *Elizarov A.M., Lipachev E.K.* *Lobachevskii DML: Towards a Semantic Digital Mathematical Library of Kazan University* // *CEUR Workshop Proceedings.* 2017. V. 2022. P. 326–333.

22. *Elizarov A.M., Zhil'czov N.G., Kirillovich A.V., Lipachev E.K., Nevzorova O.A.* *E`kosistema OntoMATH i proekt Vsemirnoj cifrovoj matematicheskoy biblioteki* // *Trudy` mezhdunarodnoj konferencii po komp`yuternoj i kognitivnoj lingvistike. Ser. "Intellekt. Yazy`k. Komp`yuter"* 2016. S. 25–28.

23. *Elizarov A.M., Kirilovich A.V., Lipachev E.K., Nevzorova O.A.* *Mathematical Knowledge Management: Ontological Models and Digital Technology* // *CEUR Workshop Proceedings.* 2016. V. 1752. P. 44–50. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1752/paper08.pdf>.

24. *Elizarov A.M., Kirillovich A.V., Lipachev E.K., Zhizhchenko A.B., Zhil'tsov N.G.* *Mathematical Knowledge Ontologies and Recommender Systems for Collections of Documents in Physics and Mathematics* // *Doklady Mathematics.* 2016. V. 93, No. 2. P. 231–233. URL: <https://doi.org/10.1134/S1064562416020174>.

25. *Elizarov A., Kirillovich A., Lipachev E., and Nevzorova O.* Semantic Formula Search in Digital Mathematical Libraries // Proc. of the 2nd Russia and Pacific Conf. on Comp. Technology and Applications (RPC 2017). IEEE. 2017. P. 39–43.

URL: <https://doi.org/10.1109/RPC.2017.8168063>.

26. *Falileeva M., Kirillovich A., Shakirova L., Nevzorova O., Lipachev E., Dyupina A.* OntoMath^{Edu} Educational Mathematical Ontology: Prerequisites, Educational Levels and Educational Projections. // CEUR Workshop Proceedings. 2020. V. 2784. P. 346–351. <http://ceur-ws.org/Vol-2784/spaper07.pdf>.

27. Federal'nye gosudarstvennye obrazovatel'nye standarty. Osnovnoe obshchee obrazovanie (5–9 kl.). URL: <https://fgos.ru/#b3ac23ba5e3cfc8ef>, https://fgos.ru/LMS/wm/wm_fgos.php?id=osnov.

28. The national curriculum. URL: <https://www.gov.uk/national-curriculum>.

29. National curriculum in England: mathematics programmes of study. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study>.

30. Standards for Mathematical Practice.

URL: <http://www.corestandards.org/Math/Practice/>.

31. *Cummins J., Carter J.A., Cuevas G.J., Day R, Malloy C.* Glencoe Geometry, Virginia Student Edition. McGraw-Hill/Glencoe, 2012. 810 p.

32. *Gantert A.X.* Amsco's Geometry. AMSCO School Publications, Incorporated, 2008. 643 p.

33. *Larson R.L., Boswell L., Stiff L.* Heath Geometry an Integrated Approach. Teacher's Edition, 1998. 876 p.

34. KS2 Maths SATs Study Book: For the 2021 Tests (Collins KS2 SATs Practice). Collins KS2, 2015. 112 p.

35. KS3 Maths Complete Revision & Practice - Higher (with Online Edition) (Paperback). CGP Books, 2014. 171 p.

36. *Joinson R.* Exercises in KS3 Mathematics Levels 5-6 (Spiral bound). 2001. 101 p.

37. *Pereira C.K., Matsui Siqueira S.W., Nunes B.P., Dietze S.* Linked Data in Education: A Survey and a Synthesis of Actual Research and Future Challenges // IEEE Transactions on Learning Technologies. 2018. V. 11, No. 3. P. 400–412.

URL: <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2787659>.

38. *D'Aquin M.* On the Use of Linked Open Data in Education: Current and Future Practices // In: Mouromtsev D. and D'Aquin M.(Eds.) Open Data for Education: Linked, Shared, and Reusable Data for Teaching and Learning. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham. 2016. V. 9500. P. 3–15

URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30493-9_1.

39. *Borgo S., Masolo C.* Ontological Foundations of DOLCE // In: Poli R., Healy M., Kameas A. (Eds.) Theory and Applications of Ontology. Computer Applications. Dordrecht: Springer, 2010. P. 279–295.

40. *Gangemi A., Mika P.* Understanding the Semantic Web through Descriptions and Situations // In: Meersman R., Tari Z., Schmidt D.C. (Eds.) On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE. OTM 2003. Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg: Springer. 2003. V. 2888. P. 689–706.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ФАЛИЛЕЕВА Марина Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории и технологий преподавания математики и информатики, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань.

Marina Viktorovna FALILEEVA – Ph.D. of Pedagogical Sciences, Kazan Federal University, Kazan.

Email: mmwwff@mail.ru.

ORCID: 0000-0003-2228-7551



КИРИЛЛОВИЧ Александр Витальевич – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета.

Alexander Vitalievich KIRILLOVICH – Ph.D., junior researcher at Institute of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University.

Email: alik.kirillovich@gmail.com.

ORCID: 0000-0001-9680-449X



НЕВЗОРОВА Ольга Авенитовна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета

Olga Avenitovna NEVZOROVA – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Information Systems Department of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of the Kazan (Volga Region) Federal University.

Email: onevzoro@gmail.com.

ORCID: 0000-0001-8116-9446.



ШАКИРОВА Лилиана Рафиковна – доктор педагогических наук, профессор, зав. кафедрой теории и технологий преподавания математики и информатики, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань.

Liliana Rafikovna SHAKIROVA – D. Sc. in Pedagogical Sciences, Professor, Head. Department of Theory and Technology of Teaching Mathematics and Computer Science, Kazan (Volga) Federal University, Kazan.

Email: liliana008@mail.ru.

ORCID: 0000-0001-5758-4076

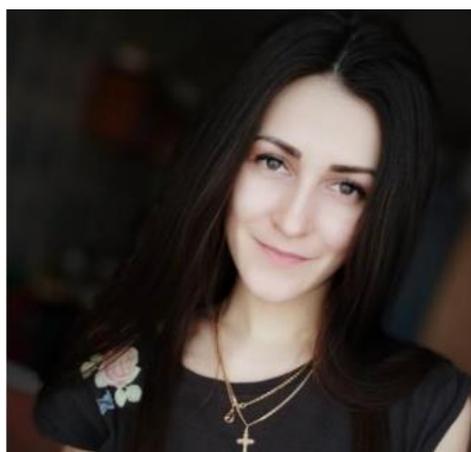


ЛИПАЧЁВ Евгений Константинович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Интеллектуальных технологий поиска Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Evgeny Konstantinovich LIPACHEV – Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Kazan Federal University. Current scientific interests: data mining, recommender systems, cloud computing, knowledge extraction technologies.

Email: elipachev@gmail.com.

ORCID: 0000-0001-7789-2332.



ДЮПИНА Анастасия Эдуардовна – магистр Института математики и механики КФУ, г. Казань.

Anastasiya Eduardovna DYUPINA – Master of Mathematics of N. I. Lobachevskii Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan.

Email: anastasiya.dupina@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0917-3763.

Материал поступил в редакцию 10 февраля 2021 года