



ПЕРЕНОС НАВЫКОВ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРАКТИК

Е. Д. Патаракин^{1,2}, М. С. Шишков¹

¹*Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Москва, Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

Введение. В современном образовании педагогика активно адаптируется к новым областям знаний, формируя специализированные «педагогика профессий», требующие особого мышления и компетенций. Развитие вычислительной техники переводит задачи классификации образовательных практик из теоретической плоскости в сферу практической реализации, что особенно важно для студентов педагогических вузов. Таксономии образовательных практик сегодня имеют практическую ценность, поскольку позволяют объединять различные профессиональные педагогика и способы организации деятельности, разработанные в разных научных областях, в единую работающую систему.

Материалы и методы. В рамках построения веерной матрицы использован методологический подход С. В. Чебанова, предполагающий формирование двух взаимосвязанных осей из однородных категорий. Оси, представленные сферами деятельности (дидактика, инженерия, информатика, моделирование) и подходами мышления (дидактический, инженерный, вычислительный, модельный), располагаются ортогонально, образуя квадратную таблицу. Сформированная онтология отношений применена для сбора и систематизации образовательных практик на Semantic MediaWiki, позволяя интегрировать контент различной природы и учитывать семантические различия между объектами.

Результаты исследования. Применение дидактического подхода к инженерии, информатике и моделированию формирует профессиональные педагогика, нацеленные на развитие инженерного, вычислительного и модельного мышления. Инженерный подход к педагогике предполагает использование инженерных методов в образовательном процессе, а в вычислительной деятельности это проявляется в применении языков для создания диаграмм сценариев образовательных практик. Особое внимание уделяется взаимодействию дидактики и моделирования, формируя модельную дидактику, использующую многоагентное моделирование для проектирования образовательных практик, что позволяет студентам педагогических вузов эффективно проектировать и анализировать образовательные практики.

Обсуждение и заключения. Предложенный фреймворк в виде веерной матрицы позволяет выявить перспективные направления исследований на пересечении различных дисциплин, что открывает новые возможности для образовательных практик. Исследование акцентирует внимание на том, как дидактика может заимствовать элементы из других областей, чтобы развивать эффективные учебные курсы и формировать ключевые компоненты инженерного, вычислительного и модельного мышления.

Ключевые слова: образовательные практики, профессиональные педагогики, агентное моделирование, Semantic MediaWiki

Для цитирования: Патаракин Е. Д., Шишков М. С. Перенос навыков агентного моделирования на проектирование образовательных практик // Вестник Мининского университета. 2025. Т. 13, № 2. С. 3. DOI: 10.26795/2307-1281-2025-13-2-3.

TRANSFER OF AGENT-BASED MODELLING SKILLS TO EDUCATIONAL PRACTICE

E. D. Patarakin^{1,2}, M. S. Shishov¹

¹*Moscow City University, Moscow, Russian Federation*

²*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. In contemporary education, pedagogy is actively adapting to new fields of knowledge, leading to the formation of signature pedagogies for professions that require distinct thinking and competencies. The advancement of computing technology shifts the classification of educational practices from a theoretical framework to practical implementation, which is particularly significant for students in pedagogical universities. Taxonomies of educational practices today hold practical value as they enable the integration of various professional pedagogies and organizational methods developed across different scientific domains into a cohesive operational system.

Materials and methods. In constructing the fractal matrix, the methodological approach of S. V. Chebanov was employed, which involves forming two interrelated axes from homogeneous categories. These axes, represented by spheres of activity (didactics, engineering, computer science, modeling) and thinking approaches (didactic, engineering, computational, modeling), are arranged orthogonally to create a square table. The developed ontology of relationships is applied for the collection and systematization of educational practices on Semantic MediaWiki, enabling the integration of diverse content and accounting for the semantic differences among objects.

Results. The application of a didactic approach to engineering, computer science, and modeling fosters signature pedagogies aimed at developing engineering, computational, and modeling thinking. The engineering approach to pedagogy involves the use of engineering methods in the educational process, while in computational activities, this is manifested through the application of languages for creating scenario diagrams of educational practices. Special attention is given to the interaction between didactics and modeling, forming a model-based didactics that utilizes multi-agent modeling for designing educational practices, enabling students in teacher training institutions to effectively design and analyze educational practices.

Discussion and conclusions. The proposed framework in the form of a fractal matrix allows for the identification of promising research directions at the intersection of various disciplines, opening new opportunities for educational practices. The study emphasizes how didactics can borrow elements from other fields to develop effective curricula and shape key components of engineering, computational, and modeling thinking.

Keywords: learning practice, signature pedagogies, agent-based modelling, Semantic MediaWiki

For citation: Patarakin E. D., Shishov M. S. Transfer of Agent-Based Modelling Skills to Educational Practice // Vestnik of Minin University. 2025. Vol. 13, no. 2. P. 3. DOI: 10.26795/2307-1281-2025-13-2-3.

Введение

В современном мире стремительно появляются новые области знаний, требующие от педагогики активного освоения и адаптации для подготовки квалифицированных специалистов. Это взаимодействие между педагогикой и другими дисциплинами приводит к формированию различных «педагогик профессий» (signature pedagogies) [25; 35]. Эти педагогики различаются между собой по образу мышления и набору компетенций, которые они хотят сформировать у ученика. Кроме того, новые области знаний оказывают воздействие на педагогику, и это приводит к появлению таких направлений и понятий внутри педагогики, как педагогическая инженерия (L'ingénierie pédagogique) [29] или учебная механика (learning mechanics) [36]. Взаимоотношение различных педагогических дискурсов и образовательных практик, возникающих на их основе, является актуальной проблемой, которой уделяется серьезное внимание в отечественной и зарубежной педагогике. Среди отечественных работ следует отметить работы Г. А. Балла [1], М. В. Кларина [4] и И. М. Осмоловской [2] по классификации образовательных задач, практик и технологий. Среди зарубежных выделим работы Г. Коноли [16], в которых она подробно рассматривает не только разнообразные способы классификации образовательных практик, но и форматы их описания и повторного использования.

С развитием вычислительной техники задачи представления и классификации образовательных практик выходят на новый уровень, переходя из области теоретических дискуссий в сферу практической реализации. Эта практическая деятельность имеет особое значение для студентов педагогических вузов, которым важно уметь объединять в своей работе различные профессиональные педагогики и способы организации деятельности других наук. В рамках данной статьи рассматривается только взаимодействие педагогики, информатики, инженерии и моделирования, но сам подход может быть расширен и на другие области знаний.

Обзор литературы

Образовательная практика (learning activity) – взаимодействие между учащимся или учащимися и окружающей средой (включая ресурсы контента, средства и инструменты, компьютерные системы и службы, события и объекты реального мира), которые выполняются в ответ на задание с предполагаемым результатом обучения. Образовательная практика состоит из набора задач, выполняемых учеником в определенном педагогическом контексте для достижения серии заранее определенных результатов обучения [14]. Примерами образовательных практик могут быть: практики, основанные на активной познавательной деятельности учащихся (проектная деятельность, исследовательская работа, дискуссионные формы (дебаты, круглые столы)); практики, использующие игровые и интерактивные форматы (деловые и ролевые игры, квесты, компьютерные игры); практики перевёрнутого и смешанного обучения; практики сетевых проектов, развивающие межпредметные и сетевые связи. Существуют многочисленные таксономии образовательных практик. Самыми простыми таксономиями являются перечисления возможных вариантов организации учебных

взаимодействий, которые дополняются теоретическими основаниями и кейсами практической реализации. Среди работ, основанных на структуре списка, наибольший интерес представляет книга Д. Шварца и коллег, в которой авторы для каждого из 26 способов обучения прописывают множество свойств, обращая внимание не только на доказательства эффективности способа обучения, но и на ключевую учебную механику [34]. Отдельные разделы книги подробно разбираются в более поздних статьях [32; 33; 37]. Г. Коноли также использует структуру списков, но и подробно разбирает, на чём могут базироваться такие списки [15]: теоретические основания, подходы и техники, задачи и действия участников, средства деятельности, ресурсы деятельности, формы поддержки и продукты деятельности.

Б. Дэвис и коллеги [17; 21] использовали для систематизации образовательных дискурсов кластерную модель, которая позволяет построить визуально-пространственную карту, объекты которой распределены вдоль двух направляющих осей. Каждая теория занимает свое место на этой карте в зависимости от того, как она относится к связи между внутренним и внешним миром, и от того, что для нее важнее: понять обучение или на него повлиять. Горизонтальная ось показывает, как то, что существует в реальном окружающем мире, соотносится с тем, что происходит в голове человека. На левом полюсе конструкта находятся теории, которые считают, что обучение является копированием внешней реальности в голове ученика, и чем лучше ученик скопировал и воспроизвел информацию из окружающего мира, тем лучше он научился. На правом полюсе конструкта находятся теории, которые говорят, что обучение – это не просто копирование, а активный процесс построения знаний, где человек является частью большой системы и развивается вместе с ней. Например, в теории когнитивной нагрузки считается важным не перегрузить ученика информацией, чтобы человек мог правильно скопировать информацию из учебника. А социальный конструктивизм говорит, что мы учимся, общаясь с другими людьми и вместе создавая новые знания. Вертикальная ось показывает, что для теории важнее: объяснить, что такое обучение, или помочь людям лучше учиться. На одном конце оси находятся теории, которые пытаются разобраться в природе и механизме обучения, понять, как оно работает, из чего состоит. Эти теории напоминают ученых, которые хотят понять механизм обучения. На другом конце оси находятся теории, которые хотят разработать методы и подходы, чтобы сделать обучение более эффективным. Эти теории больше похожи на инженеров, которые хотят построить что-то полезное. Например, культурно-историческая теория деятельности [22] объясняет, что обучение зависит от культуры, истории и окружения человека. Это пример теории, которая сосредоточена на интерпретации обучения. А обучение на основе дизайна [18] предлагает учиться, создавая что-то своими руками, пробуя, исправляя и улучшая. Это пример теории, которая пытается повлиять на процесс обучения.

Сходные кластерные модели использовались в классификационных работах А. Ю. Уварова (типология школ) [7], В. А. Ясвина (типология образовательных сред) [10], Е. Д. Патаракина (типология образовательных практик совместной деятельности) [11]. В последней работе в качестве полярных конструктов использовались концепции педагогического дизайна, выявленные при помощи техники репертуарных решеток [30]. Перспективным представляется анализ различных образовательных практик с использованием модели веерных матриц. Сама процедура построения матриц была тщательно разработана в трудах С. Г. Кордонского и С. В. Чебанова, предложивших веерные матрицы как инструмент, позволяющий систематизировать и визуализировать различные, но однотипные сущности – знания, методы или процессы [5; 8; 9; 26].

Материалы и методы

В рамках построения веерной матрицы, применяемой для систематизации и анализа сложных концептуальных областей, мы опирались на методологический подход, предложенный С. В. Чебановым. Данный подход предполагает формирование двух взаимосвязанных осей, представленных однородными категориями, которые различаются по определенному критерию. В качестве примера категорий для построения первой оси могут быть выбраны различные сферы деятельности, значимые для педагогического контекста: дидактика, инженерия, информатика, моделирование. Вторая ось может представлять собой те же концепции, но рассмотренные в ином аспекте, например, как подходы или способы мышления: дидактический, инженерный, вычислительный, модельный. Сформированные оси располагаются ортогонально друг другу, образуя заголовки столбцов и строк квадратной таблицы. Элементы, находящиеся на главной диагонали, где пересекаются идентичные модальности (например, педагогика и дидактический подход, инженерия и инженерный способ мышления), заполняются тривиальным образом, отражая базовые определения соответствующих областей. Однако ключевая ценность веерной матрицы заключается в возможности выявления перспективных направлений исследований, находящихся за пределами главной диагонали. Она позволяет прогнозировать возникновение новых направлений на стыке различных дисциплин, когда специалисты в области дидактики, инженерии, информатики и моделирования применяют свои специфические подходы в областях, которые изначально не являются для них очевидными. В контексте данного исследования особый интерес представляют ячейки, отражающие взаимосвязи между дидактическим подходом применительно к концепциям инженерии, информатики и моделирования, а также ячейки, отражающие связь инженерного, вычислительного и модельного подхода к концепции педагогики.

Сформированная с помощью веерной матрицы онтология отношений между различными концепциями и подходами была использована для сбора и систематизации образовательных практик на платформе Semantic MediaWiki [20; 27; 31]. Применение Semantic MediaWiki позволило интегрировать контент различной природы, включая динамический (например, программный код, исполняемый непосредственно в среде Semantic MediaWiki), а также учитывать семантические различия между объектами.

В образовательной сфере Semantic MediaWiki предоставляет возможности для создания структурированных учебных материалов, формирования баз знаний, организации курсов и проектов, а также для организации эффективной совместной работы студентов и преподавателей. Платформа Digida представляет собой пример интеграции принципов сложных адаптивных систем (Complex Adaptive Systems, CAS) в цифровую образовательную среду [6]. Ключевым элементом данного подхода является использование «активных эссе», или «активных публикаций» [3], и агентного моделирования в рамках обучающих курсов и семинаров. Такой подход предполагает описание учебной практики в виде трех взаимосвязанных диаграмм: диаграммы классов (Class Diagram), диаграммы деятельности (Activity Diagram) и диаграммы последовательности (Sequence Diagram). Общий шаблон диаграммы деятельности, используемый преподавателем для описания последовательности действий от формулирования целей учебного процесса (образовательных эффектов) до достижения образовательных результатов, представлен на схеме (рисунок 1).

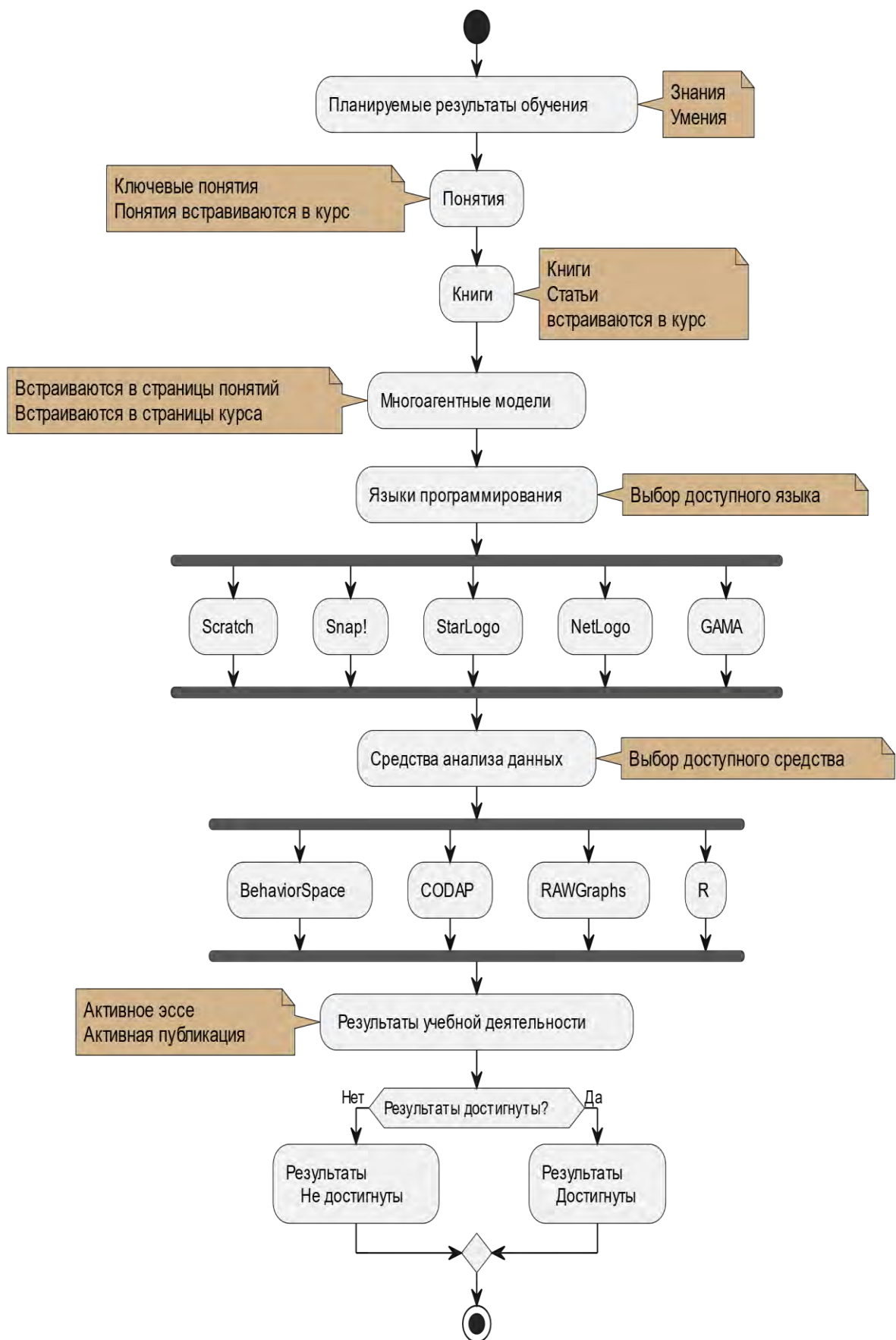


Рисунок 1 – Шаблон построения учебного курса / Figure 1 – Course Design Template

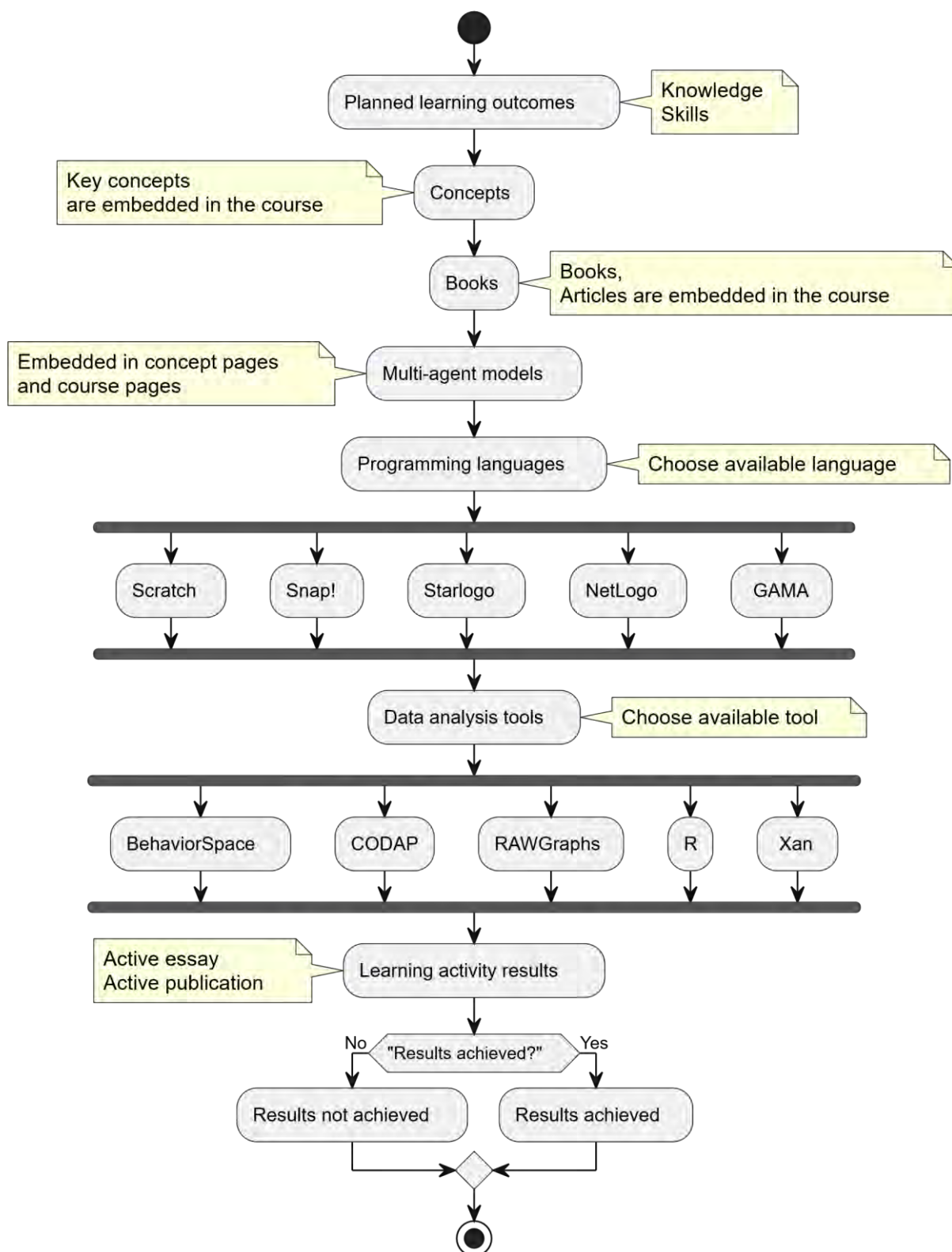


Figure 1 – Course Design Template

Результаты исследования

Онтология отношений между концепциями и подходами, представленная в таблице 1, демонстрирует междисциплинарные связи в образовательном процессе. Мы начнем

рассмотрение с первой строки таблицы, где рассматривается применение дидактического подхода к таким областям знания, как инженерия, информатика и моделирование. Мы пытаемся понять, какие строительные блоки нужны для успешного обучения этим дисциплинам и какие педагогические подходы для этого лучше всего подходят. Мы хотим выделить основные навыки и знания, которые нужно сформировать у студентов, чтобы они могли мыслить как инженеры, программисты или специалисты по моделированию. В связи с этим дидактический подход применительно к концепциям инженерии, информатики и моделирования приводит к появлению в ячейках понятий профессиональных педагогов, которые занимаются формированием инженерного, вычислительного и модельного мышления. А в первом столбце таблицы собраны воздействия различных подходов на концепцию педагогики, которые приводят к появлению в ячейках понятий инженерной, вычислительной и модельной дидактики как дидактики, которая использует способы деятельности других дисциплин.

Таблица 1 – Онтология отношений между концепциями и подходами

Подход	Концепция			
	Дидактика	Инженерия	Информатика	Моделирование
Дидактический	Дидактика	Инженерное мышление	Вычислительное мышление	Модельное мышление
Инженерный	Инженерная дидактика	Инженерия		
Вычислительный	Вычислительная дидактика		Информатика	
Модельный	Модельная дидактика			Моделирование

Table 1 – Ontology of Relationships between Concepts and Approaches

Approach	Concept			
	Didactic	Engineering	Computer Science	Modeling
Didactic	Didactic	Engineering Thinking	Computational Thinking	Model Thinking
Engineering	Engineering Didactics	Engineering		
Computational	Computational Didactics		Computer Science	
Model-based	Model-based Didactics			Modeling

Поясним использование матрицы на конкретном примере того, как взаимодействуют инженерия и педагогика на поле цифровой дидактики. В данном контексте дидактика стремится выявить особенности инженерного мышления, необходимые для успешной подготовки специалистов в инженерной сфере. Это включает в себя определение ключевых когнитивных навыков, методов решения задач и принципов проектирования, которые должны быть усвоены учащимися. При этом учитываются как теоретические основы инженерии, так и практические аспекты применения инженерных знаний в реальных ситуациях. Дидактический подход в приложении к инженерии позволяет выделить необходимые компоненты учебной среды для формирования инженерного мышления и собрать их в конкретных учебных курсах, используя для этого шаблон, представленный на рисунке 1. А

инженерный подход к педагогике предполагает применение инженерных методов и принципов к проектированию и организации образовательного процесса. На поле вычислительной деятельности этот подход проявляется прежде всего в способах и инструментах деятельности, в том, что для создания схем и диаграмм используются такие языки создания и редактирования диаграмм, как graphviz, mermaid и plantUML. Созданные на их основе тексты диаграмм сценариев образовательных практик могут быть в дальнейшем использованы и изменены учителями под другие конкретные задачи и ситуации.

Точно так же дидактический подход к концепции информатики предполагает, что анализ вычислительного мышления с точки зрения дидактики позволяет определить наиболее эффективные методы обучения программированию, алгоритмизации и работе с данными. Особое внимание уделяется развитию у учащихся способности к декомпозиции сложных задач, абстрагированию и построению логических моделей. Дидактический подход в приложении к информатике позволяет выделить необходимые компоненты учебной среды для формирования вычислительного мышления и собрать их в конкретных учебных курсах. При этом возможности поля вычислительной дидактики позволяют собирать необходимый преподавателю курса материал, последовательно задавая системе запросы общего вида на языке ask. Например, если мы хотим выделить все собранные на площадке компетенции, связанные с работой с данными, то запрос будет выглядеть следующим образом:

```
{{#ask: [[~*data*]] [[Категория:Competence]] | ?Description | ?Источник | ?Environment }}
```

Таковыми же запросами преподаватель может сформировать перечни книг по программированию или языков программирования. При этом Semantic MediaWiki обеспечивает различные форматы вывода под поставленные задачи обучения. Например, если мы хотим получить ленту времени, на которой будут представлены языки семейства Logo, то запрос будет выглядеть следующим образом:

```
{{#ask:
[[Category:Язык программирования]] [[Ancestors::Logo]] OR [[Logo]] OR
[[Descendants::Logo]]
|format=moderntimeline
|?launch year
|? Ancestors
|?Descendants
| background = grey
}}}
```

Вычислительная дидактика. Данное направление, формирующееся на пересечении концепции педагогики и вычислительного подхода, использует вычислительные методы и инструменты для анализа образовательных данных, персонализации обучения и разработки адаптивных образовательных систем. И точно так же, как это было с инженерным подходом, вычислительный подход к педагогике предполагает применение вычислительных методов и принципов к организации образовательного процесса. На поле вычислительной деятельности этот подход проявляется прежде всего в способах и инструментах деятельности, в том, что тексты педагогических статей расширяются программным кодом, который позволяет на лету обрабатывать данные и визуализировать их в составе статей.

Наибольшее внимание в рамках данной статьи уделено взаимоотношениям дидактики и моделирования. Дидактический подход к концепции моделирования. В данном случае дидактика направлена на изучение модельного мышления, необходимого для создания и анализа моделей различных систем и процессов. Это включает в себя формирование у

учащихся понимания принципов построения моделей, умения оценивать адекватность моделей, и умения использовать модели для прогнозирования и принятия решений. Особое значение приобретает использование компьютерного моделирования и симуляций в образовательном процессе, что позволяет учащимся наглядно изучать сложные явления и экспериментировать с различными сценариями. Многоагентное моделирование, заимствованное из области сложных адаптивных систем, предоставляет педагогам мощный инструмент для анализа и проектирования образовательных практик. Этот подход позволяет создавать компьютерные модели, в которых учащиеся представлены в виде агентов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой в соответствии с определенными правилами. Анализируя поведение этих агентов в различных сценариях, педагоги могут выявлять закономерности и тенденции, которые трудно обнаружить при традиционных методах исследования. Это, в свою очередь, позволяет разрабатывать более эффективные образовательные стратегии и практики, учитывающие особенности взаимодействия учащихся в коллективе. Преподаватель может получить от поля цифровой дидактики перечень книг с их подробным описанием по запросу:

```
{{#ask: [[Category:Book]] [[Field_of_knowledge::Моделирование]] | ?Description }}
```

Описание многих книг содержит в себе встроенные модели, с которыми можно экспериментировать на страницах. Кроме этого, есть возможность выбрать внутри категории компьютерных моделей, те, которые связаны с определённой областью знаний. Например:

```
{{#ask: [[Category:Model]] [[Field_of_knowledge::Образование]] | ?Description }}
```

Надо отметить, что моделей, связанных с сообществами искусственных агентов, которые имитируют поведение сущностей, связанных с образованием, становится на площадке все больше. В качестве примера можно привести модель выбора учениками школ, которые различаются по географическому положению, стоимости обучения, уровню достижений студентов, максимальной вместимости, доступности публичной информации о школе [19]. Взаимодействие между учениками и школами происходит через процесс подачи заявок и выбора. Ученики могут обмениваться информацией о школах через свои социальные сети, и этот обмен может влиять на их выбор. Другой пример – модель взаимодействия акторов внутри системы Интернета вещей, представленная в работах М. Ниази [12; 13; 28], где анализируется динамика формирования сетевых отношений между различными устройствами, которые могут входить в состав умного класса.

В рамках данной работы особое внимание уделяется пересечению дидактики и модельного подхода, что приводит к формированию модельной дидактики, или дидактики искусственных сообществ. Этот подход предполагает использование методов многоагентного моделирования для изучения и проектирования образовательных сред, в которых учащиеся взаимодействуют друг с другом и с искусственными агентами. В качестве примера использования модельного подхода в дидактике искусственных сообществ рассматривается перенос принципов дизайна многоагентных моделей на дизайн образовательных практик. Проектирование и использование многоагентной модели включает несколько ключевых этапов, подробно описанных в работах по протоколу The Overview, Design concepts and Details (ODD) [23; 24]. Мы полагаем, что эти этапы и принципы могут быть успешно перенесены студентами педагогических вузов на проектирование собственных педагогических практик. Принципы и этапы дизайна многоагентной модели, адаптированные для применения в учебной практике, представлены в таблице 2. Использование этих принципов позволяет студентам педагогических вузов более осознанно и эффективно проектировать и

анализировать образовательные практики, развивая свое профессиональное мастерство и исследовательские компетенции.

Таблица 2 – Принципы ODD применительно к проектированию образовательных практик

Принцип ODD	Многоагентная модель	Образовательная практика
Цель	Определение цели модели и шаблонов, которые она должна воспроизводить	Четкое определение целей и задач образовательной практики, а также ожидаемых результатов обучения, выраженных в конкретных и измеримых индикаторах
Сущности, переменные состояния и масштабы	Описание ключевых сущностей (агентов, окружающей среды), их атрибутов и пространственно-временных масштабов	Описание ключевых участников образовательной практики и их характеристик (знания, навыки, мотивация)
Возникновение эмерджентных паттернов	Объяснение, как в модели возникают сложные паттерны поведения	Описание условий и механизмов, способствующих формированию самоорганизующихся моделей поведения учеников в образовательной практике, таких как инициатива, сотрудничество и самостоятельное решение проблем
Адаптация	Описание способности агентов адаптировать свое поведение в ответ на изменения в окружающей среде	Определение способов, при помощи которых ученики адаптируют свои стратегии обучения, подходы к решению задач и взаимодействия в команде в ответ на изменяющиеся условия
Пригодность	Объяснение, как модель оценивает «пригодность» агентов и как это влияет на их поведение	Описание того, как образовательная практика способствует формированию компетенций, необходимых для успешного решения профессиональных задач
Восприятие	Описание того, как агенты воспринимают и интерпретируют информацию из окружающей среды	Определение каналов и способов, которыми ученики получают и интерпретируют информацию из различных источников (лекции, учебные материалы, экспертные оценки, обратная связь от преподавателей), и как это влияет на их обучение и поведение в образовательной практике
Взаимодействие	Объяснение, как агенты взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой	Описание механизмов взаимодействия между учениками внутри команд, между командами и с преподавателями, включая способы обмена информацией
Стохастичность	Описание случайных или вероятностных элементов, влияющих на поведение агентов	Описание элементов случайности и неопределенности, включенных в образовательную практику для имитации реальных ситуаций
Наблюдение	Описание того, как модель позволяет наблюдать за поведением агентов и их результатами	Определение методов и инструментов, используемых для наблюдения за поведением учеников, процессами обучения и результатами образовательной практики

Инициализация	Описание начальных условий и параметров, используемых для запуска модели	Подробное описание начального этапа образовательной практики, включающего установку учебных целей, разработку заданий, подготовку необходимых ресурсов, организацию учебной среды
Входные данные	Описание любых внешних данных, используемых для управления поведением модели	Определение входных данных, влияющих на ход и результаты образовательной практики, таких как уровень предварительной подготовки
Подмодели	Подробное описание ключевых процессов и алгоритмов, составляющих модель	Подробное описание ключевых этапов и подпроцессов образовательной практики

Table 2 – ODD Principles Applied to Educational Practice Design

ODD Principle	Multi-Agent Model	Educational Practice
Purpose	Defining the model's purpose and the patterns it should reproduce	Clear definition of the goals and objectives of the educational practice, as well as expected learning outcomes expressed in specific and measurable indicators
Entities, state variables, and scales	Description of key entities (agents, environment), their attributes, and spatiotemporal scales	Description of key participants in the educational practice and their characteristics (knowledge, skills, motivation)
Emergence of emergent patterns	Explanation of how complex behavior patterns arise in the model	Description of conditions and mechanisms that promote the formation of self-organizing behavior patterns of students in educational practice, such as initiative, collaboration, and independent problem-solving
Adaptation	Description of agents' ability to adapt their behavior in response to environmental changes	Definition of ways in which students adapt their learning strategies, problem-solving approaches, and team interactions in response to changing conditions
Fitness	Explanation of how the model evaluates agents' "fitness" and how it influences their behavior	Description of how educational practice fosters the development of competencies necessary for successful professional problem-solving
Perception	Description of how agents perceive and interpret information from the environment	Definition of channels and methods by which students receive and interpret information from various sources (lectures, study materials, expert assessments, teacher feedback), and how this affects their learning and behavior in educational practice
Interaction	Explanation of how agents interact with each other and the environment	Description of mechanisms of interaction among students within teams, between teams, and with teachers, including methods of information exchange
Stochasticity	Description of random or probabilistic elements affecting agents' behavior	Description of elements of randomness and uncertainty incorporated into educational practice to simulate real situations

Observation	Description of how the model allows observation of agents' behavior and outcomes	Definition of methods and tools used to observe students' behavior, learning processes, and outcomes of educational practice
Initialization	Description of initial conditions and parameters used to start the model	Detailed description of the initial stage of educational practice, including setting learning goals, designing assignments, preparing necessary resources, organizing the learning environment
Input data	Description of any external data used to control model behavior	Definition of input data influencing the course and outcomes of educational practice, such as the level of prior preparation
Submodels	Detailed description of key processes and algorithms constituting the model	Detailed description of key stages and subprocesses of the educational practice

Обсуждение и заключения

Ключевая ценность предложенного фреймворка, представленного в виде веерной матрицы, заключается в выявлении перспективных направлений исследований, лежащих на пересечении различных дисциплин. В отличие от традиционного подхода, фокусирующегося на углубленном изучении конкретной области, веерная матрица позволяет прогнозировать появление инновационных решений и подходов, возникающих на стыке различных дисциплин. Суть заключается в том, чтобы взглянуть на дидактику через призму знаний и методов, заимствованных из других дисциплин, что открывает новые перспективы для развития образовательных практик. Данное исследование направлено на изучение того, как дидактика осваивает другие области знаний, такие как инженерия, компьютерные науки и многоагентное моделирование. С дидактической точки зрения для дидактик конкретных профессий важно понять, что характеризует инженерное, вычислительное и модельное мышление, а также определить ключевые элементы, необходимые для разработки эффективных учебных курсов по этим дисциплинам. При этом мы используем теоретическую рамку педагогик профессий, поскольку она позволяет специфику действий в различных областях. Предложенный подход позволяет увидеть, как различные педагогические концепции и дидактические подходы взаимодействуют с принципами инженерии, информатики и моделирования. Например, применение дидактического подхода к инженерии позволяет выделить ключевые аспекты инженерного мышления, которые необходимо учитывать при разработке образовательных программ для инженеров. Аналогично, анализ вычислительных наук с дидактической точки зрения позволяет определить компоненты вычислительного мышления, необходимые для успешного освоения информационных технологий. И, наконец, применение дидактики к многоагентному моделированию позволяет выделить особенности модельного мышления и разработать эффективные методы обучения созданию и анализу сложных моделей. В свою очередь, взгляд на педагогику с точки зрения инженерии может привести к развитию инженерной дидактики, направленной на оптимизацию образовательных процессов с использованием инженерных методов. Аналогично применение вычислительного подхода к педагогике приводит к возникновению вычислительной дидактики, использующей информационные технологии для персонализации обучения и анализа образовательных данных. Наконец, рассмотрение педагогики с точки зрения многоагентного моделирования

может способствовать развитию модельной дидактики или дидактики искусственных сообществ, изучающей поведение и взаимодействие обучающихся в цифровых средах.

Наш ограниченный выбор дидактики, инженерии, информатики и моделирования обусловлен только тем, что эти дисциплины были и остаются ключевыми составляющими поля цифровой дидактики digida.mgpu.ru. В матрицу могут быть включены и другие концепции и связанные с ними подходы. Например, это может быть концепция гейм-дизайна и игрового подхода, по которым уже в данный момент на поле цифровой дидактики собрано множество статей, и сама эта концепция активно осваивается дидактикой, а разработанные внутри игрового подхода способы организации деятельности активно влияют на дидактику. Следующее ограничение данного исследования связано с тем, что мы рассмотрели только ячейки, связанные с дидактикой и дидактическим подходом. При этом за рамками исследования остались ячейки, в которых рассматривались отношения инженерии, информатики и моделирования, а они могут служить важным источником инновационных образовательных практик.

Список использованных источников

1. Балл Г. А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект. М.: Педагогика, 1990. 183 с.
2. Дидактическое моделирование инновационных образовательных практик / И. М. Осмоловская, Е. О. Иванова, М. В. Кларин [и др.]. М.: Институт стратегии развития образования Российской академии образования, 2019. 226 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44166609> (дата обращения: 15.09.2024).
3. Дудко В. В., Патаракин Е. Д. Исследование научных школ университета средствами библиометрического картирования // Территория Новых Возможностей. Вестник Владивостокского Государственного Университета. 2023. Т. 15, № 1 (65). С. 150-167. DOI: 10.24866/VVSU/2949-1258/2023-1/150-167.
4. Кларин М. В. Инновационные модели обучения: Исследование мирового опыта: монография. М., 2016. 632 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27454515> (дата обращения: 15.09.2024).
5. Кордонский С., Бардин В. Картины мира и информационная герменевтика // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2018. № 3. С. 19-23.
6. Патаракин Е. Д. Педагогический дизайн совместной сетевой деятельности субъектов образования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. М., 2017.
7. Патаракин Е. Д. Игровое поле вычислительной дидактики // Современная «цифровая» дидактика: монография / И. М. Реморенко, Е. Д. Патаракин, В. В. Гриншкун. М.: ООО «ГринПринт», 2022. С. 35-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54099495> (дата обращения: 15.09.2024).
8. Уваров А. Ю. Моделирование развития школы в условиях информатизации образования // Информатика и образование. 2007. № 2. С. 42-51.
9. Чебанов С. В. Логико-семиотические основания классификаций в лингвистике: дис. в виде научного доклада ... д-ра филол. наук. СПб., 2001. 54 с.
10. Чебанов С. В. Когнитивная графика как способ изображения идей // МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин. 2020. № 10. С. 309-376.
11. Ясвин В. А. Образовательная среда: от моделирования к проектированию. М.: Смысл, 2001. 368 с.

12. Batool K., Niazi M. A. Self-organized power consumption approximation in the internet of things // International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, USA, IEEE, 2015. Pp. 313-314. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7066427/> (accessed: 15.09.2024).
13. Batool K., Niazi M. A. Modeling the internet of things: a hybrid modeling approach using complex networks and agent-based models // Complex Adaptive Systems Modeling. 2017. Vol. 5. P. 4. DOI: 10.1186/s40294-017-0043-1.
14. Beetham H., Sharpe R. Rethinking Pedagogy for a Digital Age: Designing and Delivering E-Learning. London, 2007. 281 p.
15. Conole G. Describing learning activities: tools and resources to guide practice // H. Beetham, R. Sharpe (Eds) Rethinking pedagogy for a digital age: Designing and Delivering Elearning. Oxford: Routledge Falmer, 2007.
16. Conole G. Learning Design and Open Education // International Journal of Open Educational Resources. 2018. Vol. 1, no. 1. DOI: 10.18278/ijoe.1.1.6.
17. Davis B., Francis K. Discourses on Learning in Education: Making Sense of a Landscape of Difference // Frontiers in Education. 2021. Vol. 6. DOI: 10.3389/feduc.2021.760867.
18. Delen I., Sen S. Effect of design-based learning on achievement in K-12 education: A meta-analysis // Journal of Research in Science Teaching. 2023. Vol. 60, no. 2. Pp. 330-356. DOI: 10.1002/tea.21800.
19. Díaz D. A., Jiménez A. M., Larroulet C. An agent-based model of school choice with information asymmetries // Journal of Simulation. 2021. Vol. 15, no. 1-2. Pp. 130-147. DOI: 10.1080/17477778.2019.1679674.
20. Falda M., Atzori M., Corbetta M. Semantic wikis as flexible database interfaces for biomedical applications // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. P. 1095. DOI: 10.1038/s41598-023-27743-9.
21. Gierus B., Davis B. The Hyperlinked Visual-Spatial Map as a Novel Way to Explore an Academic Discipline // Emerging Perspectives: Interdisciplinary Graduate Research in Education and Psychology. 2024. Vol. 7, no. 1. Available at: <https://journalhosting.ucalgary.ca/index.php/ep/article/view/80451> (accessed: 15.09.2024).
22. Grimalt-Álvaro C., Ametller J. A Cultural-Historical Activity Theory Approach for the Design of a Qualitative Methodology in Science Educational Research // International Journal of Qualitative Methods. 2021. Vol. 20. DOI: 10.1177/16094069211060664.
23. Grimm V. [et al.] The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2020. Vol. 23, no. 2. P. 7. DOI: 10.18564/jasss.4259.
24. Grimm V. [et al.] Using the ODD protocol and NetLogo to replicate agent-based models // Ecological Modelling. 2025. Vol. 501. P. 110967. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2024.110967.
25. Kelly T. Signature Pedagogies – A Cautionary Tale // Imagining SoTL. 2022. Vol. 2, no. 1. Pp. 10-18. DOI: 10.29173/isotl599.
26. Kordonsky S. Fractal matrix tables as a tool for ontologies' creation. Washington, South Eastern Publishing House, 2011. 66 p.
27. Kutt K., Nalepa G. J. Loki – the semantic wiki for collaborative knowledge engineering // Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 224. P. 119968. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.119968.
28. Niazi M. A. Technical Problems With «Programmable self-assembly in a thousand-robot swarm». 2014. Available at: https://figshare.com/articles/journal_contribution/Technical_Problems_With_Programmable_self_assembly_in_a_thousand_robot_swarm_/1185186/1?file=1694296 (accessed: 15.09.2024).

29. Paquette G. L'ingénierie pédagogique. 2002. Available at: https://books.google.ru/books?id=k6R9rEbV2GAC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (accessed: 15.09.2024).
30. Pidzamecky U., van Oostveen R. The pedagogical evolution of repertory grid technique for diverse learning communities: a review // Trends in Social Sciences. 2021. Vol. 3, no. 1. Pp. 10-23.
31. Rogushina J., Gladun A., Valencia-Garcia R. Reuse of Ontological Knowledge in Open Science: Models, Sources, Repositories // Valencia-García, R., Bucaram-Leverone, M., Del Cioppo-Morstadt, J., Vera-Lucio, N., Centanaro-Quiroz, P.H. (eds) Technologies and Innovation. CITI 2023. Communications in Computer and Information Science, vol. 1873. Springer, Cham, 2023. Pp. 157-172. DOI: 10.1007/978-3-031-45682-4_12.
32. Schwartz D. L. Physically active learning // Science. 2021. Vol. 374, no. 6563. P. 28. Available at: <https://scholar.google.com/scholar?cluster=1906011187756501822&hl=en&oi=scholar> (accessed: 15.09.2024).
33. Schwartz D. L. Achieving an adaptive learner // Educational Psychologist. 2025. Vol. 60, no. 1. Pp. 7-22. DOI: 10.1080/00461520.2024.2397389.
34. Schwartz D. L., Tsang J. M., Blair K. P. The ABCs of How We Learn: 26 Scientifically Proven Approaches, How They Work, and When to Use Them. W. W. Norton & Company, 2016. 412 p.
35. Shulman L. S. Signature Pedagogies in the Professions // Daedalus. 2005. Vol. 134, no. 3. Pp. 52-59.
36. Tan C. T. [et al.] The effect of gamification mechanics on user experiences of AdventureLEARN: A self-driven learning platform // Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction. 2023. Vol. 7, issue CHI PLAY. Article no. 416. Pp. 1091-1114. DOI: 10.1145/3611062.
37. Yang S. [et al.] Decoding Debugging Instruction: A Systematic Literature Review of Debugging Interventions // ACM Transactions on Computing Education. 2024. Vol. 24, issue 4. Article no. 45. Pp. 1-44. DOI: 10.1145/3690652.

References

1. Ball G. A. Theory of educational tasks: psychological and pedagogical aspect. Moscow, Pedagogika Publ., 1990. 183 p. (In Russ.)
2. Didactic modeling of innovative educational practices / I. M. Osmolovskaya, E. O. Ivanova, M. V. Klarin [et al.]. Moscow, Institut strategii razvitiya obrazovaniya Rossijskoj akademii obrazovaniya Publ., 2019. 226 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44166609> (accessed: 15.09.2024). (In Russ.)
3. Dudko V. V., Patarakin E. D. Study of scientific schools of the university by means of bibliometric mapping. *Territoriya Novyh Vozmozhnostej. Vestnik Vladivostokskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2023, vol. 15, no. 1 (65), pp. 150-167, doi: 10.24866/VVSU/2949-1258/2023-1/150-167. (In Russ.)
4. Klarin M. V. Innovative learning models: Study of world experience: monograph. Moscow, 2016. 632 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27454515> (accessed: 15.09.2024). (In Russ.)
5. Kordonskij S., Bardin V. Pictures of the world and information hermeneutics. *Teleskop: zhurnal sociologicheskikh i marketingovykh issledovanij*, 2018, no. 3, pp. 19-23. (In Russ.)
6. Patarakin E. D. Pedagogical design of joint network activities of education subjects: abstract of the dissertation of the doctor of pedagogical sciences. Moscow, 2017. (In Russ.)

7. Patarakin E. D. The playing field of computational didactics. *Sovremennaya «cifrovaya» didaktika: monografiya / I. M. Remorenko, E. D. Patarakin, V. V. Grinshkun*. Moscow, ООО «GrinPrint» Publ., 2022. Pp. 35-70. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54099495> (accessed: 15.09.2024). (In Russ.)
8. Uvarov A. YU. Modeling the development of the school in the context of informatization of education. *Informatika i obrazovanie*, 2007, no. 2, pp. 42-51. (In Russ.)
9. CHEbanov S. V. Logical and semiotic foundations of classifications in linguistics: dissertation in the form of a scientific report of a doctor of philological sciences. St. Petersburg, 2001. 54 p. (In Russ.)
10. CHEbanov S. V. Cognitive graphics as a way of depicting ideas. *METOD: Moskovskij ezhegodnik trudov iz obshchestvovedcheskih discipline*, 2020, no. 10, pp. 309-376. (In Russ.)
11. YAsvin V. A. Educational environment: from modeling to design. Moscow, Smysl Publ., 2001. 368 p. (In Russ.)
12. Batool K., Niazi M. A. Self-organized power consumption approximation in the internet of things. *International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. Las Vegas, NV, USA, IEEE, 2015. Pp. 313-314. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7066427/> (accessed: 15.09.2024).
13. Batool K., Niazi M. A. Modeling the internet of things: a hybrid modeling approach using complex networks and agent-based models. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 2017, vol. 5, p. 4, doi: 10.1186/s40294-017-0043-1.
14. Beetham H., Sharpe R. Rethinking Pedagogy for a Digital Age: Designing and Delivering E-Learning. London, 2007. 281 p.
15. Conole G. Describing learning activities: tools and resources to guide practice. *H. Beetham, R. Sharpe (Eds) Rethinking pedagogy for a digital age: Designing and Delivering Elearning*. Oxford, Routledge Falmer, 2007.
16. Conole G. Learning Design and Open Education. *International Journal of Open Educational Resources*, 2018, vol. 1, no. 1, doi: 10.18278/ijoe.1.1.6.
17. Davis B., Francis K. Discourses on Learning in Education: Making Sense of a Landscape of Difference. *Frontiers in Education*, 2021, vol. 6, doi: 10.3389/feduc.2021.760867.
18. Delen I., Sen S. Effect of design-based learning on achievement in K-12 education: A meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 2023, vol. 60, no. 2, pp. 330-356, doi: 10.1002/tea.21800.
19. Díaz D. A., Jiménez A. M., Larroulet C. An agent-based model of school choice with information asymmetries. *Journal of Simulation*, 2021, vol. 15, no. 1-2, pp. 130-147, doi: 10.1080/17477778.2019.1679674.
20. Falda M., Atzori M., Corbetta M. Semantic wikis as flexible database interfaces for biomedical applications. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, p. 1095, doi: 10.1038/s41598-023-27743-9.
21. Gierus B., Davis B. The Hyperlinked Visual-Spatial Map as a Novel Way to Explore an Academic Discipline. *Emerging Perspectives: Interdisciplinary Graduate Research in Education and Psychology*, 2024, vol. 7, no. 1. Available at: <https://journalhosting.ucalgary.ca/index.php/ep/article/view/80451> (accessed: 15.09.2024).
22. Grimalt-Álvaro C., Ametller J. A Cultural-Historical Activity Theory Approach for the Design of a Qualitative Methodology in Science Educational Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 2021, vol. 20, doi: 10.1177/16094069211060664.

23. Grimm V. [et al.] The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2020, vol. 23, no. 2, p. 7, doi: 10.18564/jasss.4259.
24. Grimm V. [et al.] Using the ODD protocol and NetLogo to replicate agent-based models. *Ecological Modelling*, 2025, vol. 501, p. 110967, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2024.110967.
25. Kelly T. Signature Pedagogies – A Cautionary Tale. *Imagining SoTL*, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 10-18, doi: 10.29173/isotl599.
26. Kordonsky S. Fractal matrix tables as a tool for ontologies' creation. Washington, South Eastern Publishing House, 2011. 66 p.
27. Kutt K., Nalepa G. J. Loki – the semantic wiki for collaborative knowledge engineering. *Expert Systems with Applications*, 2023, vol. 224, p. 119968, doi: 10.1016/j.eswa.2023.119968.
28. Niazi M. A. Technical Problems With «Programmable self-assembly in a thousand-robot swarm». 2014. Available at: https://figshare.com/articles/journal_contribution/Technical_Problems_With_Programmable_self_assembly_in_a_thousand_robot_swarm_/1185186/1?file=1694296 (accessed: 15.09.2024).
29. Paquette G. L'ingénierie pédagogique. 2002. Available at: https://books.google.ru/books?id=k6R9rEbV2GAC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (accessed: 15.09.2024).
30. Pidzamecky U., van Oostveen R. The pedagogical evolution of repertory grid technique for diverse learning communities: a review. *Trends in Social Sciences*, 2021, vol. 3, no. 1, pp. 10-23.
31. Rogushina J., Gladun A., Valencia-Garcia R. Reuse of Ontological Knowledge in Open Science: Models, Sources, Repositories. *Valencia-García, R., Bucaram-Leverone, M., Del Cioppo-Morstadt, J., Vera-Lucio, N., Centanaro-Quiroz, P.H. (eds) Technologies and Innovation. CITI 2023. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1873. Springer, Cham, 2023. Pp. 157-172. DOI: 10.1007/978-3-031-45682-4_12.
32. Schwartz D. L. Physically active learning. *Science*, 2021, vol. 374, no. 6563, p. 28. Available at: <https://scholar.google.com/scholar?cluster=1906011187756501822&hl=en&oi=scholar> (accessed: 15.09.2024).
33. Schwartz D. L. Achieving an adaptive learner. *Educational Psychologist*, 2025, vol. 60, no. 1, pp. 7-22, doi: 10.1080/00461520.2024.2397389.
34. Schwartz D. L., Tsang J. M., Blair K. P. The ABCs of How We Learn: 26 Scientifically Proven Approaches, How They Work, and When to Use Them. W. W. Norton & Company, 2016. 412 p.
35. Shulman L. S. Signature Pedagogies in the Professions. *Daedalus*, 2005, vol. 134, no. 3, pp. 52-59.
36. Tan C. T. [et al.] The effect of gamification mechanics on user experiences of AdventureLEARN: A self-driven learning platform. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2023, vol. 7, issue CHI PLAY, article no. 416, pp. 1091-1114, doi: 10.1145/3611062.
37. Yang S. [et al.] Decoding Debugging Instruction: A Systematic Literature Review of Debugging Interventions. *ACM Transactions on Computing Education*, 2024, vol. 24, issue 4, article no. 45, pp. 1-44, doi: 10.1145/3690652.

© Патаракин Е. Д., Шишков М. С., 2025

Информация об авторах

Патаракин Евгений Дмитриевич – доктор педагогических наук, доцент, профессор департамента информатики, управления и технологий, Московский городской педагогический

университет, Москва, Российская Федерация; профессор института образования, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>, patarakined@mgpu.ru
Шишков Михаил Сергеевич – аспирант, институт цифрового образования, Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9991-9776>, shishkovms@mgpu.ru

Information about the authors

Patarakin Evgeny D. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Informatics, Management and Technology, Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russian Federation; Professor, Institute of Education, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1216-5043>; patarakined@mgpu.ru

Shishkov Mikhail S. – graduate student, Institute of Digital Education, Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9991-9776>, shishkovms@mgpu.ru

Вклад авторов

Патаракин Евгений Дмитриевич – разработка общей идеи исследования; проведение обзора литературы; построение веерной матрицы; анализ таксономии учебных практик в среде Semantic MediaWiki; подготовка и редактирование текста статьи.

Шишков Михаил Сергеевич – изучение учебных практик инженерной дидактики; анализ воздействия инженерного мышления на построение учебного процесса; участие в интерпретации результатов.

Contribution of the authors

Patarakin Evgeny D. – developed the overall research concept; conducted literature review; constructed the fan matrix; analyzed the taxonomy of educational practices within the Semantic MediaWiki environment; drafted and edited the manuscript.

Shishkov Mikhail S. – investigated educational practices in engineering didactics; analyzed the influence of engineering thinking on the design of the learning process; contributed to data interpretation.

Поступила в редакцию: 14.02.2025

Принята к публикации: 16.06.2025

Опубликована: 30.06.2025