

УДК 37.022

DOI: 10.25559/SITITO.16.202002.490-499

Инструменты визуального моделирования для реализации проблемно-ориентированного подхода для обучения программированию старших школьников

С. А. Костоусов^{1,2*}, И. В. Симонова¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», г. Санкт-Петербург, Россия

191186, Россия, г. Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 48

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; * sergkosto94@gmail.com

Аннотация

Целью работы является разработка методики обучения школьников старших классов информатике, а именно алгоритмизации и программированию, с применением проблемно-ориентированного подхода и внедрением инструментов визуального моделирования. Проблемно-ориентированный подход способствует преодолению роли ученика как пассивного слушателя, способствует вовлечению ученика в активный процесс продуцирования знаний. В статье рассмотрены преимущества этого подхода, выделен класс проблемных задач и представлена их типизация с разделением уровней трудности и проблемности заданий. Также выявлены методические трудности при внедрении проблемных задач в процесс обучения. Для их преодоления предлагаются инструменты визуального моделирования и методика обучения алгоритмизации и программированию с их применением. Инструменты визуального моделирования - это тип программного обеспечения, которое позволяет создавать визуальные абстракции, которые воспроизводят концепции и объекты реального мира с их взаимосвязями, что может помочь в решении проблемы. Сформированные умения работы с такими инструментами позволят студентам самостоятельно представлять, представлять и выражать свои знания. Кроме того, эти инструменты позволяют структурировать процесс решения проблемы, оптимизируя время решения каждого этапа решения проблемной задачи. Рассмотрены различные инструменты визуального моделирования: интеллектуальные карты, концептуальные карты, карты аргументаций, деревья решений, причинные модели, план-график выполнения, диаграммы процессов, а также использование более простых для школьников преформальных моделей, основанных на интеллектуальных и концептуальных картах. Приводятся возможности их применения на различных этапах решения проблемных заданий. В качестве примера рассматриваются MS Visio и Coggle. В статье представлены результаты сравнения результатов обучения контрольной и экспериментальной групп, которые показывают, что предлагаемые инструменты визуального моделирования для решения проблемных задач в области алгоритмизации и программирования повышают эффективность обучения школьников.

Ключевые слова: обучение программированию, проблемно-ориентированное обучение, инструменты визуального моделирования, школьная информатика.

Для цитирования: Костоусов, С. А. Инструменты визуального моделирования для реализации проблемно-ориентированного подхода для обучения программированию старших школьников / С. А. Костоусов, И. В. Симонова. – DOI 10.25559/SITITO.16.202002.490-499 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 490-499.

© Костоусов С. А., Симонова И. В., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Visual Modeling Tools for Problem-Based Learning for Teaching High School Programming

S. A. Kostousov^{a,b*}, I. V. Simonova^a

^a The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia
48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

^b Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
29 Polytechnicheskaya St., St.Petersburg 195251, Russia

* sergkosto94@gmail.com

Abstract

This article is dedicated to the developing of methodology for teaching high school students computer science disciplines like algorithms and programming, using a problem-based learning with visual modeling tools. Problem-based learning should help to overcome the passivity of a student as a listener to active knowledge producing by him/herself. The article highlights the advantages of this approach, describes a class of problem tasks and their types separating levels of difficulty and problematic. Methodological difficulties were also identified. To overcome them we propose visual modeling tools and a methodology for teaching IT with their application. Visual modeling tool is a type of software that allows to create visual abstractions and reproduce concepts and objects of the real world with their relationships that supports solving process. Formed skills of working with these tools allows students to independently present, represent and express their knowledge. Furthermore, visual modeling tools can be used for structuring the solving process, optimizing the time on every solving stage. Following visual modeling tools are considered: mind maps, concept maps, argument maps, decision trees, causal models, execution schedules, process diagrams, as well as the use of preformal models based on i- and c-maps that are simpler for implementation for school students. The possibilities of their application at various stages of solving problem process are given. The article presents the results of comparing the learning outcomes of the control and experimental groups, which show that the proposed visual modeling tools for problem tasks solving in the field of algorithms and programming increase the effectiveness of the educational process.

Keywords: programming learning, problem-based learning, visual modeling tools, school IT education.

For citation: Kostousov S.A., Simonova I.V. Visual Modeling Tools for Problem-Based Learning for Teaching High School Programming. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(2):490-499. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202002.490-499>



Введение

Развитие информационного общества требует высокого уровня информационной грамотности, который необходимо формировать в школе, что обуславливает важность информатики как самостоятельного предмета, так и в сочетании с другими дисциплинами [1 : 58].

Одной из ведущих образовательных линий информатики является развитие алгоритмических умений и навыков программирования. Написание кода может стать для ученика современным универсальным средством выражения как своих мыслей, так и инструкций для исполнителей [2 : 219].

Целью нашего исследования является разработка методики обучения информатике старших школьников, ориентированных на углублённое усвоение знаний, при этом используется проблемный подход с применением инструментов визуального компьютерного моделирования для работы со знаниями.

Современное образование и методики обучения не могут ограничиться передачей информации от учителя ученику, так как знанием информация становится только после того, как будет встроена в систему внутренних когнитивных схем обучающегося. Во многих педагогических исследованиях ставится задача преодоления пассивности обучающегося в пользу становления его активным человеком, умеющим добывать, применять и создавать новые знания. Рассмотрение процесса обучения с этой точки зрения ставит перед нами три вопроса:

- как вовлечь ученика в процесс обучения;
- как учителю содействовать построению ментальных моделей учеником;
- как могут в этом помочь информационно-коммуникационные технологии.

Поскольку область наших исследований лежит в поле обучения информатике, то мы используем компьютерные технологии в качестве объекта изучения и средства обучения. Необходимо создать условия в обучении для использования компьютерных инструментов, помогающих обучаемым вдумчиво и критически осмысливать понятия, которые они изучают в процессе выполнения учебных заданий. Для этого можно использовать инструменты визуального компьютерного моделирования для работы со знаниями. Под инструментами визуального моделирования для работы со знаниями понимают вид программного обеспечения, позволяющий построить зрительные абстракции, воспроизводящие понятия и объекты реального мира в их взаимосвязи для решения задачи или проблемы [3]. Сформированные умения работы с такими инструментами позволят обучающимся самостоятельно продуцировать, представлять и выражать свои знания [4, 5].

Для того чтобы вовлечь ученика в процесс обучения, можно усилить широко-распространенный репродуктивный метод обучения проблемно-ориентированным подходом к обучению. Например, в исследовании [6] приводятся результаты сравнения результатов обучения контрольной группы и группы, где применялся проблемный подход. Учащиеся экспериментальной группы продемонстрировали более высокий уровень академической успеваемости и более уверенное владение метакогнитивными умениями. Авторы исследования отмечают, что эффект оказался устойчивым в последующем обучении, также была отмечена положительная корреляция с умениями

адаптации учеников на следующих этапах обучения.

Учитывая вышесказанные положения, мы провели исследование для выбора эффективных способов применения инструментов визуального моделирования в решении проблемных задач в рамках системы дополнительного образования по программированию для старших школьников.

Теоретический обзор

Проблемно-ориентированный подход дополняет репродуктивный, определяя возможности активного вовлечения ученика в процесс обучения.

Ранее ознакомление с проблемными задачами, приближенными к реальной жизни, в области информационных технологий коррелирует с более успешным освоением необходимых для отрасли компетенций и умений [7 : 43-44]. Для успешного решения реальных задач необходимы не только синтаксические знания, но и умения строить стратегию решения [8], осуществить декомпозицию задачи [9].

Несмотря на то, что исследования [10, 11 : 161] не выявили корреляции между навыками решения проблем и программированием, можно говорить, что решение проблем в отличие от проектов коррелирует с развитием критическим мышлением [12]. Также исследователи отмечают, что более длительное время решения проблемной задачи приводит к более глубокому усвоению знаний [10, 13 : 37].

Однако, обзор статей [14] показывает, что проблемно-ориентированный подход не всегда обеспечивает повышение результатов обучения, а иногда может даже привести к снижению результатов: следует учитывать когнитивную нагрузку, контекст, время обучения и т.д. Более того решение проблем является менее управляемым процессом, и его включение в образовательный процесс не является тривиальной задачей. Более того, часто внедрение проблемно-ориентированного подхода сопровождается бюрократическими издержками и сводится к каталогу готовых решений [15 : 18], тогда как реальный учебный процесс решения может быть итеративным и включать в себя в том числе ошибочные решения [16 : 35]. Понимание неправильных представлений учащихся о разработке программы имеет решающее значение для выработки преподавателем совместно с учеником мер по их преодолению [17]. Недостаточная методическая поддержка проблемного обучения – одна из причин, по которой статус проблемного обучения в школе остаётся на низком уровне [18 : 448].

Поэтому необходима разработка средств методической поддержки учебного процесса, основанного на реализации проблемно-ориентированного подхода, в том числе с применением информационных технологий. Эти учебные среды должны располагать когнитивными инструментами для анализа стратегий решения [19], предоставляя преподавателю большие возможности для получения обратной связи [10, 20]. Также важной особенностью проблемно-ориентированного обучения является более активное по сравнению с репродуктивным методом вовлечение учеников в процесс обсуждения выбранных стратегий решения, обмен мнениями и, как следствие, большую уверенность в себе [21]. Использование веб-технологий при решении учебных проблем в рамках курса по программированию в исследовании [22 : 13-14] позволило взаимодействовать одновременно с учениками и преподавателем, что повысило эффективность обучения.



В качестве поддерживающей среды обучения мы предлагаем компьютерные инструменты визуального моделирования с возможностью совместной работы учеников и преподавателя.

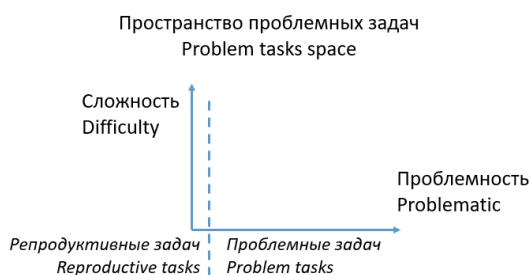
Проблемно-ориентированный подход

Для построения методики обучения необходимо разграничить понятия «задача» и «проблема». Отметим, что в англоязычных источниках по проблемному подходу к обучению эти понятия используются как синонимы. Мы проанализировали ряд определений этих понятий отечественных авторов [23, 24] и предлагаем свои рабочие определения.

Задача – ситуация с некоторыми начальными условиями, содержащая в себе такое неизвестное, преодолев которое будет достигнуто целевое состояние. Решением задачи будет достижение целевого состояния, а процессом решения – способ преодоления этого неизвестного. Выделим два критерия для классификации: сложность и проблемность (рис. 1). Сложностью задачи будем считать показатель количества действий, необходимых для достижения решения. Проблемность определяет степень неопределенности задачи.

Репродуктивными, то есть задачами с нулевым уровнем проблемности, будем считать задачи, в которых точно определены начальное и целевое состояния, а ученику известен способ решения. При этом даже для сложной задачи ученик будет или знать, как ее решить, или владеть универсальными способами для нахождения решения.

Проблемная задача (далее проблема) – такой вид задач, при котором либо не определено целевое состояние, либо не определены начальные условия, либо ученику не известен способ решения. При этом сложность самой задачи может быть как низкой, так и высокой. В реальной жизни проблемные задачи встречаются чаще, а потому важно научиться решать их. Проблемность для некоторых задач будет зависеть от уровня подготовки учащегося.



Р и с. 1. Пространство задач
F i g. 1. Problem tasks space

В классификации, представленной [25] и дополненной [26], выделяют шесть типов задач. К первому типу задач относятся такие, в которых и преподавателю, и ученику были известны и начальные условия задачи, и метод ее решения, но ответ знал только преподаватель. Для нас это будут репродуктивные задачи (нулевой уровень проблемности). Второй тип отличается от первого тем, что задача была известна обоим участникам, метод ее решения и ответ знал только преподаватель. Третий тип имеет ясно сформулированные условия задачи, но для нахождения решения можно использовать более одного метода.

Четвертый тип включает задачи с известными условиями, но отсутствует не единственный способ ее решения и не единственный правильный ответ, однако не каждый метод и не каждое решение допустимы. Пятый тип имеет ясно сформулированные условия, но ни преподаватель, ни ученик не знают метода решения и ответа. Шестой тип (максимальный уровень проблемности) предполагает, что ни начальные условия задачи, ни метод ее решения, ни само решение не были известны ни ученику, ни преподавателю. Первые три типа задач будем считать «хорошо структурированными», в то время как задачи следующих типов будем считать «плохо структурированными».

Инструменты визуального моделирования на этапах решения проблемной задачи

Исследования ученых [22, 23] и наш опыт показывает, что решение проблемной ситуации учениками управляется сложнее, чем решение репродуктивных задач, даже достаточно сложных. В целях повышения управляемости обучением мы предлагаем использовать компьютерные инструменты для работы со знаниями на различных этапах решения. Эти программные средства, во-первых, позволяют продуцировать обучаемым собственные ментальные модели (идеи, стратегии, способы понимания, основанные на предыдущем опыте), при этом актуализируется полученная ранее информация. Во-вторых, они могут помочь для выработки метакогнитивных умений, в том числе правильной интерпретации всей полученной информации о проблеме для её решения, учитывая различные факторы. Кроме того, такие инструменты помогают упорядочить действия, учащихся в процессе организации и представления своих знаний.

В таблице 1 представлены инструменты визуального моделирования, применимые на каждом из этапов решения проблемных задач, предложенные нами в работах [27, 28, 29]. Экспериментальное обучение показало, что использование инструментов позволяет ученикам визуализировать и структурировать учебную информацию, что способствует формированию умений переформулировать задачу, осуществлять переход от интуитивного понимания к формализованному описанию, в том числе алгоритмическому.

Приведем пример использования этих инструментов. Ученикам требуется написать программу для решения задачи, в которой определены начальные условия и требования к ответу, но способ решения необходимо придумать самому. Эта задача хорошо структурирована, но отнесена нами к проблемным из-за отсутствия готового способа решения. На первом этапе можно предложить создать интеллектуальную карту, чтобы упростить понимание решаемой проблемы: отразить условие, ограничения, целевой результат, преподаватель должен убедиться в понимании задания всеми членами группы. Затем можно построить концептуальную карту, где ученики могут смоделировать и графически показать связи между элементами – семантическое представление предметных знаний о переменных, функциях и т.д. Эти модели позволят не только визуализировать и эксплицитно представить информацию, но и должны повысить мотивацию для решения задачи. На следующем этапе важно организовать обсуждение вариантов решения, в ходе обсуждения вариантов решения могут появиться раз-



ные алгоритмы, которые можно зафиксировать в виде дерева. Если ученики не построят его, они могут выбрать первое придуманное рабочее решение без сравнения альтернативных. Для выбора оптимального варианта решения целесообразно применить карту аргументации, тренируя умения публичных выступлений, выражение критических замечаний и аргументов. Когда оптимальное решение выбрано, можно составить в

группе план-график выполнения и диаграммы процессов (кто и за что отвечает в группе). После реализации решения можно применить карту аргументации для проверки выполнения всех требований. На заключительном этапе в ходе группового обсуждения создается интеллектуальная карта полученной программы для рефлексии процесса разработки и закрепления знаний.

Таблица 1. Соответствие инструментов визуального моделирования этапам решения проблемных задач
Table 1. The correspondence of visual modeling tools to the stages of problem-solving

Этап решения проблемы	Хорошо структурированные	Плохо структурированные
1. Идентификация проблемы	Интеллектуальные карты	
2. Построение пространства проблемы, в том числе учёт контекста	Концептуальные карты	
3. Поиск возможных решений	Дерево решений	
	–	Причинные модели
4. Оценка решений и выбор оптимального	–	Карта аргументации
5. Применение решения	План-график выполнения, Диаграммы процессов	
6. Верификация и оценка	Карта аргументации	
7. Рефлексия	Интеллектуальные карты	

Наш педагогический опыт показывает, что применение сразу всех инструментов для решения задач школьниками нецелесообразно: необходимо последовательное знакомство с этими инструментами, обоснование выбора инструмента в зависимости от целей и этапа решения задачи. Также следует отметить, что применение перечисленных в таблице 1 инструментов ведет к увеличению когнитивной нагрузки на учащихся. Поэтому мы решили ввести частично формализованные визуальные модели, которые позволят визуализировать элементы проблемы в свободной форме. Наше гипотеза состояла в том, что такие модели помогут учащемуся понять «разрыв» между целевым состоянием и начальными условиями и выработать собственное решение.

Результаты педагогического эксперимента

Для проверки гипотезы был проведен педагогический эксперимент с учащимися 9-10 классов, изучавшими раздел алгоритмизации и программирования. Рассматривались алгоритмы поиска и сортировки массивов. Целью эксперимента было определить, помогают ли визуальные модели зафиксировать полученные в результате решения учеником знания. Для сравнения результатов были выделены 3 группы учеников: контрольная (9 человек) и две экспериментальные группы: с применением табличной модели (9 человек) и визуальной (10 человек).

Известно, что усвоение школьниками алгоритмов поиска и сортировки массивов вызывает у обучающихся значительные трудности, поэтому сами алгоритмы во всех трех группах были разработаны совместно с преподавателями при активном обсуждении с учениками. Были разработаны алгоритмы линейного и бинарного поисков, а также алгоритмы сортировки пузырьком, методом наименьшего и использование готовых

встроенных сортировок.

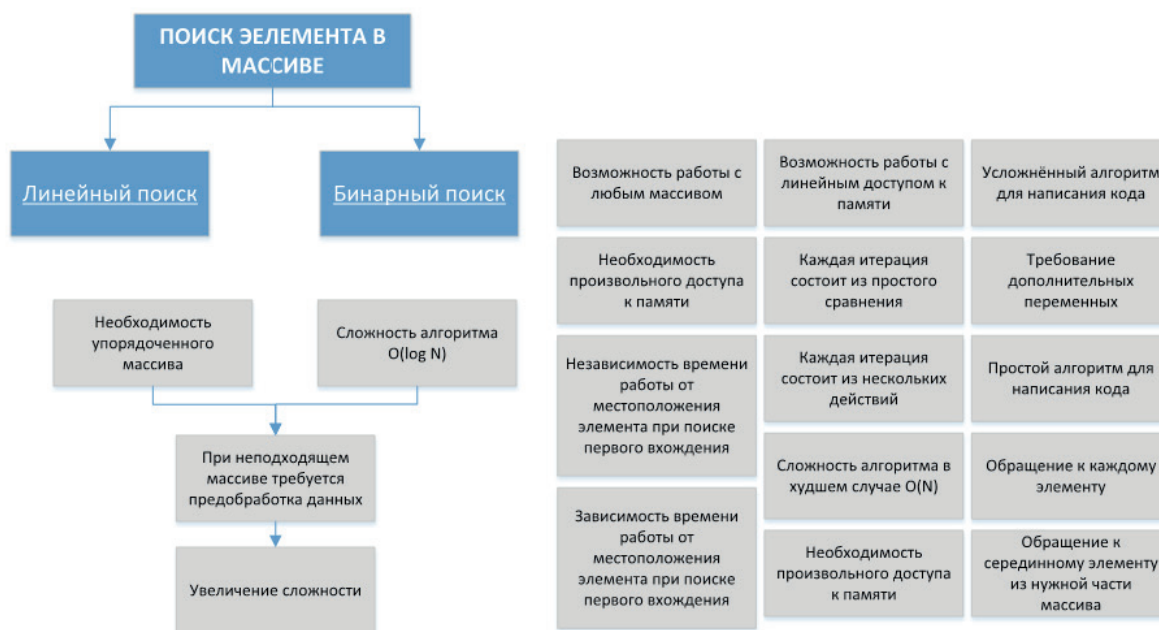
Проблемность в данном случае заключалась не непосредственно в разработке алгоритма, а в том, что ученикам необходимо было понять, какие алгоритмы использовать в каких ситуациях. Мы акцентировали внимание не столько на достижении практического результата, сколько на качестве усвоения и самостоятельной оценке учащимися полученных результатов.

Сначала обе группы были ознакомлены с алгоритмами. С контрольной группой было проведено обсуждение характеристик разработанных алгоритмов. Группе с вербальной моделью была предложена таблица сравнения, в которой по одной размерности были алгоритмы, а по другой описаны характеристики для сравнения - ученикам необходимо было заполнить таблицу.

Третьей группе была предложена визуальная модель, выполненная в MS Visio (для старших школьников сам инструмент уже известен). Эту модель можно рассмотреть как предформальный вид концептуальной карты, в которой явно не указаны связи, а только атрибутивная структура алгоритмов поиска.

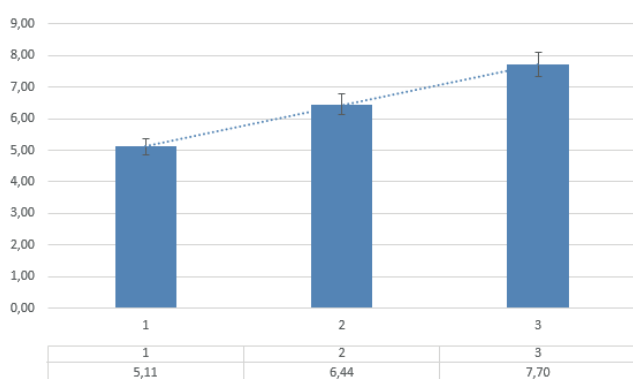
Поскольку ученики еще не знакомы с принципами построения моделей полностью самостоятельно, для поддержки им представлялось пространство атрибутов проблем. Задача состояла в построении общей визуальной модели сравнения: сопоставить алгоритм со своим атрибутом и выявить связи между атрибутами, а также выделить цветом по возможности «положительные» и «отрицательные» атрибуты (рис. 2). Сложность для учеников третьей группы стало определение зависимостей между атрибутами, то есть как одни характеристики могут влиять на другие, а также анализ того, при каких условиях эти атрибуты будут способствовать оптимизации работы алгоритма, а когда наоборот.





Р и с. 2. Предложенная визуальная модель сравнения алгоритмов поиска элемента в массиве
F i g. 2. The proposed visual model for comparing algorithms for searching for an element in an array

Для проверки результатов эксперимента всем ученикам был предложен тест, в котором были вопросы как теоретического, так и практического проблемного характера: в какой ситуации какой алгоритм использовать. Предлагались 10 вопросов с описанием ситуаций, требовалось выбрать правильный ответ. Сравнение средних баллов результатов теста представлено на рисунке 3. Как видно из рисунка 3, более высокие результаты показала именно 3 группа.

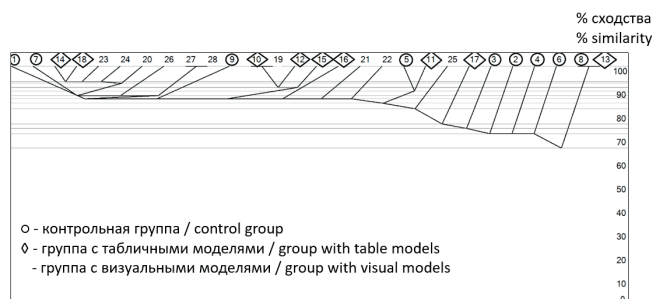


Р и с. 3. Диаграмма средних баллов контрольного теста по группам
F i g. 3. The average score of the control test in groups

Для сравнения выборок применялся критерий Манна-Уитни (1):

$$u_{emp} = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x(1)$$

где T_x - наибольшая сумма рангов, n_x - наибольшая из объемов выборок n_1 и n_2 .



Р и с. 4. Дендрограмма кластерного анализа сравнения результатов теста
F i g. 4. Dendrogram of cluster analysis for comparison of test results

Сравнение показало недостоверность различия между контрольной группой и группой, где применялись табличные модели (эмпирическое значение критерия – 36.5, критическое – 23). Также недостоверным оказалось и сравнение двух экспериментальных групп (эмпирическое значение критерия – 25, критическое – 23). Однако сравнение контрольной группы и группы, где применялись визуальные модели, показало достоверное различие (эмпирическое значение критерия – 11.5, критическое – 23).

Результаты кластерного анализа представлены на дендрограмме (рис. 4): кругом обозначены элементы контрольной группы, ромбом – группы с табличными моделями, без выделения – группа с визуальными моделями, по вертикальной оси обозначен процент сходства. Видно, что наиболее высокий процент сходства у самых дальних элементов экспериментальной группы с визуальными моделями выше (~85%), чем у двух других групп (68%). Это показывает более равномерное усвоение материала группой в целом.



Заключение

Обучение алгоритмизации и программированию – одна из важнейших образовательных линий в курсе информатики старшей школы. Однако, для качественного усвоения материала необходимо применение не только репродуктивных заданий, но и проблемных задач, решение которых подготовит учащихся к будущей профессиональной деятельности.

Нами были выявлены актуальные преимущества проблемно-ориентированного подхода. Были описаны типа проблемных задач и этапы их решения. Однако, наряду с ними есть и сложности при внедрении проблемных задач в образовательный маршрут: недостаточная методическая поддержка, увеличение когнитивной нагрузки на учащихся, разное время решения задач. Для их преодоления мы предлагаем применение инструментов визуального моделирования.

Для каждого из этапов решения проблемного задания были предложены соответствующие инструменты визуального моделирования, а также предформальные модели на их основе.

Проведенный педагогический эксперимент показывает, что инструменты визуального моделирования в процессе обучения информатике для решения проблемных задач повышают качество усвоения материала.

Список использованных источников

- [1] Caspersen, M. E. Informatics as a fundamental discipline for the 21st century / M. E. Caspersen, J. Gal-Ezer, A. McGettrick, E. Nardelli. – DOI 10.1145/3310330 // Communications of the ACM. – 2019. – Vol. 62, Issue 4. – Pp. 58. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3310330> (дата обращения: 20.04.2020).
- [2] Özdemir, S. Soloborative Learning: Solo Thinking, Collaborative Tinkering / S. Özdemir. – DOI 10.26822/iejee.2019349246 // International Electronic Journal of Elementary Education. – 2019. – Vol. 11, Issue 3. – Pp. 217-219. – URL: <https://www.iejee.com/index.php/IEJEE/article/view/779/385> (дата обращения: 20.04.2020).
- [3] Кознов, Д. В. Основы визуального моделирования / Д. В. Кознов. – М.: Интуит.Ру, Бином, Лаборатория знаний, 2008.
- [4] Jonassen, D. H. Toward a design theory of problem solving / D. H. Jonassen. – DOI 10.1007/BF02300500 // Educational Technology Research and Development. – 2000. – Vol. 48, Issue 4. – Pp. 63-85. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02300500> (дата обращения: 20.04.2020).
- [5] Jonassen, D. H. Instructional design models for well-structured and III-structured problem-solving learning outcomes / D. H. Jonassen. – DOI 10.1007/BF02299613 // Educational Technology Research and Development. – 1997. – Vol. 45, Issue 1. – Pp. 65-94. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02299613> (дата обращения: 20.04.2020).
- [6] De Corte, E. The CLIA-model: A framework for designing powerful learning environments for thinking and problem solving / E. De Corte, L. Verschaffel, C. Masui. – DOI 10.1007/BF03173216 // European Journal of Psychology of Education. – 2004. – Vol. 19, Issue 4. – Pp. 365-384. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03173216> (дата обращения: 20.04.2020).
- [7] Brilingaite, A. Competency Assessment in Problem-Based Learning Projects of Information Technologies Students / A. Brilingaite, L. Bukauskas, A. Juškevičienė. – DOI 10.15388/infedu.2018.02 // Informatics in Education. – 2018. – Vol. 17, Issue 1. – Pp. 21-44. – URL: <https://infedu.vu.lt/journal/INFEDU/article/52/info> (дата обращения: 20.04.2020).
- [8] Robins, A. Learning and Teaching Programming: A Review and Discussion / A. Robins, J. Rountree, N. Rountree. – DOI 10.1076/csed.13.2.137.14200 // Computer Science Education. – 2003. – Vol. 13, Issue 2. – Pp. 137-172. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/csed.13.2.137.14200> (дата обращения: 20.04.2020).
- [9] Kwon, K. Exploring Problem Decomposition and Program Development through Block-Based Programs / K. Kwon, J. Cheon. – DOI 10.21585/ijcses.v3i1.54 // International Journal of Computer Science Education in Schools. – 2019. – Vol. 3, Issue 1. – Pp. 1-14. – URL: <https://www.ijcses.org/index.php/ijcses/article/view/54> (дата обращения: 20.04.2020).
- [10] Donley, K. S. Coding in the Curriculum: Learning Computational Practices and Concepts, Creative Problem Solving Skills, and Academic Content in Ten to Fourteen-Year-Old Children: diss. ... Ph.D. (Philosophy). – ProQuest Number: 10842428. – Temple University, USA, 2018.
- [11] Çoklar, A. N. Evaluating programming self-efficacy in the context of inquiry skills and problem-solving skills: A perspective from teacher education / A. N. Çoklar, A. Akçay // World Journal on Educational Technology: Current Issues. – 2018. – Vol. 10, Issue 3. – Pp. 153-164. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1185367.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [12] Yusri. The Effects of Problem Solving, Project-Based Learning, Linguistic Intelligence and Critical Thinking on the Students' Report Writing / Yusri. – DOI 10.7575/aiac.all.v9n.6p.21 // Advances in Language and Literary Studies. – 2018. – Vol. 9, Issue 6. – Pp. 21-26. – URL: <https://www.journals.aiac.org.au/index.php/all/article/view/4982> (дата обращения: 20.04.2020).
- [13] Sawyer, R. Filtered Time Series Analyses of Student Problem-Solving Behaviors in Game-Based Learning / R. Sawyer, J. Rowe, R. Azevedo, J. Lester // Proceedings of the 11th International Conference on Educational Data Mining. – 2018. – p. 229-238. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED593118.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [14] de Jong, T. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought / T. de Jong. – DOI 10.1007/s11251-009-9110-0 // Instructional Science. – 2010. – Vol. 38, Issue 2. – Pp. 105-134. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11251-009-9110-0> (дата обращения: 20.04.2020).
- [15] Huttel, H. If PBL is the answer, then what is the problem? / H. Huttel, D. Gnaur. – DOI 10.5278/ojs.jpblhe.v5i2.1491 // Journal of Problem Based Learning in Higher Education. – 2017. – Vol. 5, Issue 2. – Pp. 1-21. – URL: <https://journals.aau.dk/index.php/pbl/article/view/1491> (дата обращения: 20.04.2020).
- [16] Михайлова, Н. В. Методологический прагматизм проблемно-ориентированного обучения математике / Н. В. Михайлова. – DOI 10.25513/2222-8772.2018.1.30-36 // Математические структуры и моделирование. –



2018. – № 1. – С. 30-36. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32613364> (дата обращения: 20.04.2020). – Рез. англ.
- [17] Kwon, K. Novice Programmer's Misconception of Programming Reflected on Problem-Solving Plans / K. Kwon. – DOI 10.21585/ijcses.v1i4.19 // International Journal of Computer Science Education in Schools. – 2017. – Vol. 1, No. 4. – Pp. 1-12. – URL: <https://www.ijcses.org/index.php/ijcses/article/view/19> (дата обращения: 20.04.2020).
- [18] Abushkin, H. K. Problem-based learning in secondary school: Status and prospects / H. K. Abushkin, A. A. Kharitonova, N. N. Khvastunov, M. V. Gorshunov. – DOI 10.18844/cjes.v13i4.3896 // Cypriot Journal of Educational Sciences. – 2018. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 444-450. – URL: <https://www.un-pub.eu/ojs/index.php/cjes/article/view/3896> (дата обращения: 20.04.2020).
- [19] Wang, M. Using cognitive mapping to foster deeper learning with complex problems in a computer-based environment / M. Wang, B. Wu, P. A. Kirschner, J. M. Spector. – DOI 10.1016/j.chb.2018.01.024 // Computers in Human Behavior. – 2018. – Vol. 87. – Pp. 450-458. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321830030X> (дата обращения: 20.04.2020).
- [20] Kim, N. J. Effectiveness of Computer-Based Scaffolding in the Context of Problem-Based Learning for Stem Education: Bayesian Meta-analysis / N. J. Kim, B. R. Belland, A. E. Walker. – DOI 10.1007/s10648-017-9419-1 // Educational Psychology Review. – 2018. – Vol. 30, Issue 2. – Pp. 397-429. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10648-017-9419-1> (дата обращения: 20.04.2020).
- [21] Hendriana, H. The Role of Problem Based Learning to Improve Students' Mathematical Problem-Solving Ability and Self Confidence / H. Hendriana, T. Johanto, U. Sumarmo // Journal on Mathematics Education. – 2018. – Vol. 9, Issue 2. – Pp. 291-300. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1194294.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [22] Unal, E. Students' Views about the Problem Based Collaborative Learning Environment Supported by Dynamic Web Technologies / E. Unal, H. Çakir // Malaysian Online Journal of Educational Technology. – 2017. – Vol. 5, Issue 2. – Pp. 1-19. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1142387.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [23] Махмутов, М. И. Организация проблемного обучения в школе / М. И. Махмутов. – М.: Просвещение, 1977.
- [24] Матюшкин, А. М. Проблемные ситуации в психологической подготовке специалиста в вузе / А. М. Матюшкин, А. А. Понукалин // Вопросы психологии. – 1988. – № 2. – С. 76-82. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41282418> (дата обращения: 20.04.2020). – Рез. англ.
- [25] Getzels, J. W. The creative vision: A longitudinal study of problem finding in art / J. W. Getzels, M. Csikszentmihalyi. – New York, NY: John Wiley & Sons, 1976.
- [26] Sak, U. Divergence and Convergence of Mental Forces of Children in Open and Closed Mathematical Problems / U. Sak, C. Maker // International Education Journal. – 2005. – Vol. 6, Issue 2. – Pp. 252-260. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ854978.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [27] Кудрявцев, Д. В. Применение инструментов для работы со знаниями в обучении на основе решения проблем: методология и ИТ-поддержка / Д. В. Кудрявцев, С. А. Костоусов. – DOI 10.21686/1818-4243-2017-3-57-65 // Открытое образование. – 2017. – Т. 21, № 3. – С. 57-65. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29459593> (дата обращения: 20.04.2020). – Рез. англ.
- [28] Kostousov, S. Towards a Framework of Using Knowledge Tools for Teaching by Solving Problems in Technology-Enhanced Learning Environment / S. Kostousov, D. Kudryavtsev // Proceedings of the 14th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA 2017) / D. G. Sampson, J. M. Spector, D. Ifenthaler, P. Isaías (ed.). – Vilamoura, Algarve, Portugal, 2017. – Pp. 246-250. – URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED579395.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
- [29] Kostousov S. Visual modeling for exploratory problem solving on computer science lessons / S. Kostousov, I. Simonova. – DOI 10.33965/celda2019_201911L033 // Proceedings of the 16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2019). – Cagliari, Italy, 2019. – Pp. 265-272. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43243831> (дата обращения: 20.04.2020).

Поступила 20.04.2020; принята к публикации 14.07.2020;
опубликована онлайн 30.09.2020.

Об авторах:

Костоусов Сергей Андреевич, аспирант кафедры цифрового образования, институт информационных технологий и технологического образования, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» (191186, Россия, г. Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 48); педагог дополнительного образования Академии информатики для школьников Высшей инженерной школы, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-9593>, sergkosto94@gmail.com

Симонова Ирина Викторовна, профессор кафедры цифрового образования, институт информационных технологий и технологического образования, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» (191186, Россия, г. Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 48), доктор педагогических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5308-6317>, ir_1@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Caspersen M.E., Gal-Ezer J., McGettrick A., Nardelli E. Informatics as a fundamental discipline for the 21st century. *Communications of the ACM*. 2019; 62(4):58. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3310330>
- [2] Özdemir S. Soloborative Learning: Solo Thinking, Collaborative Tinkering. *International Electronic Journal of Elementary Education*. 2019; 11(3):217-219. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.26822/iejee.2019349246>



- [3] Koznov D.V. *Osnovy vizual'nogo modelirovaniya* [Basis of Visual Modeling]. M.: Intuit.Ru Publ., BINOM Laboratory of Knowledge; 2008. (In Russ.)
- [4] Jonassen D.H. Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*. 2000; 48(4):63-85. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02300500>
- [5] Jonassen D.H. Instructional design models for well-structured and III-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*. 1997; 45(1):65-94. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02299613>
- [6] De Corte E., Verschaffel L., Masui C. The CLIA-model: A framework for designing powerful learning environments for thinking and problem solving. *European Journal of Psychology of Education*. 2004; 19(4):365-384. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03173216>
- [7] Brilingaitė A., Bukauskas L., Juškevičienė A. Competency Assessment in Problem-Based Learning Projects of Information Technologies Students. *Informatics in Education*. 2018; 17(1):21-44. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15388/infedu.2018.02>
- [8] Robins A., Rountree J., Rountree N. Learning and Teaching Programming: A Review and Discussion. *Computer Science Education*. 2003; 13(2):137-172. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.1076/csed.13.2.137.14200>
- [9] Kwon K., Cheon J. Exploring Problem Decomposition and Program Development through Block-Based Programs. *International Journal of Computer Science Education in Schools*. 2019; 3(1):1-14. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21585/ijcses.v3i1.54>
- [10] Donley K.S. Coding in the Curriculum: Learning Computational Practices and Concepts, Creative Problem Solving Skills, and Academic Content in Ten to Fourteen-Year-Old Children: diss. ... Ph.D. (Philosophy). ProQuest Number: 10842428. Temple University, USA; 2018. (In Eng.)
- [11] Çoklar A.N., Akçay A. Evaluating programming self-efficacy in the context of inquiry skills and problem-solving skills: A perspective from teacher education. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*. 2018; 10(3):153-164. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1185367.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)
- [12] Yusri. The Effects of Problem Solving, Project-Based Learning, Linguistic Intelligence and Critical Thinking on the Students' Report Writing. *Advances in Language and Literary Studies*. 2018; 9(6):21-26. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.7575/aiac.all.v9n.6p.21>
- [13] Sawyer R., Rowe J., Azevedo R., Lester J. Filtered Time Series Analyses of Student Problem-Solving Behaviors in Game-Based Learning. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Educational Data Mining*. 2018. p. 229-238. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED593118.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)
- [14] de Jong T. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*. 2010; 38(2):105-134. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9110-0>
- [15] Huttel H., Gnaur D. If PBL is the answer, then what is the problem? *Journal of Problem Based Learning in Higher Education*. 2017; 5(2):1-21. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5278/ojs.jpblhe.v5i2.1491>
- [16] Michailova N.V. Methodological Pragmatism of the Problem-Oriented Training in Mathematics. *Mathematical Structures and Modeling*. 2018; (1):30-36. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.25513/2222-8772.2018.1.30-36>
- [17] Kwon K. Novice Programmer's Misconception of Programming Reflected on Problem-Solving Plans. *International Journal of Computer Science Education in Schools*. 2017; 1(4):1-12. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21585/ijcses.v1i4.19>
- [18] Abushkin H.K., Kharitonova A.A., Khvastunov N.N., Gorshunov M.V. Problem-based learning in secondary school: Status and prospects. *Cypriot Journal of Educational Sciences*. 2018; 13(4):444-450. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.18844/cjes.v13i4.3896>
- [19] Wang M., Wu B., Kirschner P.A., Spector J.M. Using cognitive mapping to foster deeper learning with complex problems in a computer-based environment. *Computers in Human Behavior*. 2018; 87:450-458. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.024>
- [20] Kim N.J., Belland B.R., Walker A.E. Effectiveness of Computer-Based Scaffolding in the Context of Problem-Based Learning for Stem Education: Bayesian Meta-analysis. *Educational Psychology Review*. 2018; 30(2):397-429. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9419-1>
- [21] Hendriana H., Johanto T., Sumarmo U. The Role of Problem Based Learning to Improve Students' Mathematical Problem-Solving Ability and Self Confidence. *Journal on Mathematics Education*. 2018; 9(2):291-300. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1194294.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)
- [22] Unal E., Çakir H. Students' Views about the Problem Based Collaborative Learning Environment Supported by Dynamic Web Technologies. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*. 2017; 5(2):1-19. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1142387.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)
- [23] Makhmutov M.I. *Organizacija problemnogo obuchenija v shkole* [Organization of problem-based learning in school]. M.: Education; 1977. (In Russ.)
- [24] Matyushkin A.M., Ponukalin A.A. Problematic situations in the psychological preparation of a specialist at a university. *Voprosy Psichologii*. 1988; (2):76-82. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41282418> (accessed 20.04.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [25] Getzels J.W., Csikszentmihalyi M. The creative vision: A longitudinal study of problem finding in art. New York, NY: John Wiley & Sons; 1976. (In Eng.)
- [26] Sak U., Maker C. Divergence and Convergence of Mental Forces of Children in Open and Closed Mathematical Problems. *International Education Journal*. 2005; 6(2):252-260. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ854978.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)
- [27] Kudryavtsev D.V., Kostousov S.A. Application of Knowledge Tools in Training, Based on Problems' Solving: Methodology and it Support. *Open Education*. 2017; 21(3):57-65. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2017-3-57-65>
- [28] Kostousov S., Kudryavtsev D. Towards a Framework of Us-



ing Knowledge Tools for Teaching by Solving Problems in Technology-Enhanced Learning Environment. In: Sampson D.G., Spector J.M., Ifenthaler D., Isaías P. (ed.) *Proceedings of the 14th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA 2017)*. Vilamoura, Algarve, Portugal; 2017. p. 246-250. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED579395.pdf> (accessed 20.04.2020). (In Eng.)

- [29] Kostousov S., Simonova I. Visual modeling for exploratory problem solving on computer science lessons. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2019)*. Cagliari, Italy; 2019. p. 265-272. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.33965/celda2019_201911L033

*Submitted 20.04.2020; revised 14.07.2020;
published online 30.09.2020.*

About the authors:

Sergei A. Kostousov, Postgraduate Student of the Department of Digital Education, Institute of Computer Science and Technology Education, The Herzen State Pedagogical University of Russia (48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia); Teacher of Additional Education at the Academy of Informatics for Schoolchildren of the Higher Engineering School, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29 Polytechnicheskaya St., St.Petersburg 195251, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2588-9593>, sergkosto94@gmail.com

Irina V. Simonova, Professor of the Department of Digital Education, Institute of Computer Science and Technology Education, The Herzen State Pedagogical University of Russia (48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia), Dr.Sci. (Pedagogy), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5308-6317>, ir_1@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

