

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ «ОБУЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ПРЕПОДАВАНИЕ»

Аннотация: Введение. Рассматривается методическая поддержка учебного процесса с точки зрения дидактического конструирования информационной среды обучения с использованием технического педагогического инструментария при реализации педагогической технологии «обучение через преподавание». Для увеличения сложности содержания обучения считается доказанной эффективность сочетания подхода «обучение через преподавание» с информационными технологиями. Наиболее развитой идеей такого сочетания выступает введение «педагогического агента (товарища)», который осуществляет связь с предметной областью и представляет собой аналог экспертной системы. С точки зрения конструирования информационной среды обучения можно говорить об использовании технических инструментов или их аналогов в качестве граничных объектов. Горизонтальное же взаимодействие участников между собой при реализации технологии «обучение через преподавание» порождает новые граничные объекты, которые могут рассматриваться как основа методической поддержки учебного процесса. Соединение двух этих подходов является теоретической основой части исследований, реализуемых на кафедре алгоритмической математики СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Результаты. Представлена роль и место учебно-методических материалов в реализации технологии «обучение через преподавание». Подтверждены изменения в понимании содержания обучения не только при непосредственном активном «преподавании», но и при подготовке учебно-методических материалов.

Ключевые слова: обучение через преподавание, учебно-методические материалы, преподавание математики, педагогический товарищ, горизонтальные связи, граничный объект, информационная среда обучения.

TEACHING MATERIALS IN THE IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY «LEARNING THROUGH TEACHING»

Abstract: *Introduction. The methodological support of the educational process is considered from the point of view of the didactic construction of the information environment of education using technical pedagogical tools in the implementation of the pedagogical technology "learning through teaching". To increase the complexity of the teaching content, the effectiveness of combining the "learning through teaching" approach with information technologies is considered proven. The most developed idea of such a combination is the introduction of a "pedagogical agent (comrade)", which carries out communication with the subject area and is an analogue of an expert system. From the point of view of designing an information learning environment, we can talk about using technical tools or their analogs as boundary objects. Horizontal interaction of participants with each other in the implementation of the technology "learning through teaching" generates new boundary objects that can be considered as the basis of methodological support of the educational process. The combination of these two approaches is the theoretical basis of part of the research carried out at the Department of Algorithmic Mathematics of SPBSET "LETI". Results. The role and place of teaching materials in the implementation of the technology "learning through teaching" is presented. The changes in the understanding of the content of teaching are confirmed not only in direct active "teaching", but also in the preparation of teaching materials.*

Keywords: *learning through teaching, teaching materials, teaching mathematics, learning companion, horizontal linkages, boundary object, learning information environment.*

1. Введение

Проблемы повышения эффективности обучения и самообучения, как процесса преобразования учебной информации в знания, их усвоения субъектом обучения, особенно актуализируются в связи со скоростями изменений, происходящими в современном мире. Эта проблематика требует новых подходов и методик, особенно в период профессионального обучения. Причем содержание

профессионального образования меняется достаточно быстро, то есть неустойчиво. Именно в этот период наблюдается резкое увеличение объема содержания обучения при сохранении (или уменьшении) времени его рассмотрения. Устоявшиеся методические формы (как и обучения, так и самоподготовки) уже не могут обеспечить необходимой глубины понимания внутренних связей и смыслов.

Использование в обучении компьютерных технологий вызвало появление новых направлений в методическом обеспечении информационной среды обучения с точки зрения цифровых представлений концептуальных понятий. Классические исследования показали эффективность подхода «обучение через преподавание» (learning through teaching) в сочетании с информационными технологиями для увеличения сложности изучаемых разделов.

Современные исследователи приходят к выводу о том, что чем сложнее обучающая деятельность, тем больше возможностей для обучения посредством преподавания. Использование преподавания в процессе обучения для формирования понимания и усвоения содержания на принципиально новом уровне, представляет интерес не только на теоретическом, но и практическом уровне. Так как изменения в понимании содержания происходит не только для того, кто преподает дисциплину, но и готовит учебно-методические материалы для поддержки её преподавания, встает вопрос о месте учебно-методических материалов в реализации технологии «обучение через преподавания».

1.1. Обучение через преподавание как педагогическая технология

Исследования влияния преподавания на обучение проводятся более полувека. Например, сравнение познавательного эффекта обучения для себя и для другого человека [Bargh & Schul, 1980]; влияние обучения сверстников на повышение роли самоконтроля в обучении [Roscoe, 2014]; сравнение эффективности различных сценариев реализации обучения через преподавание [Koh, Lee & Lim, 2018]. Причем многие исследователи ссылаются в своих работах на теорию зоны ближайшего развития (ЗБР), разработанную Л.С. Выготским [Выготский, 1935] в качестве психолого-педагогической основы.

Когда информационные технологии только начинали входить в практику обучения, были сформулированы основные принципы сочетания с цифровыми средствами для технологии «обучение через преподавание» (Cloward, Cohen, Duran, Fiorella, Kulik, Leikin, Mayer, Robinson, Schofield, Stollhans, Webb, Zazkis). Результаты этих исследований показывают эффективность этого подхода в сочетании с информационными технологиями для восприятия сложного содержания, его смысловых аспектов. В основном рассматриваются возможности педагогических агентов (intelligent tutoring systems), которые имитируют поведение учителя. Причем сами педагогические агенты не являются носителями знаний, их функции ограничиваются «очеловечиванием» общения студента с учебно-методическими материалами.

Наиболее существенным шагом в развитии идеи педагогических агентов стало в введение «педагогического товарища» (learning companion), который осуществляет связь с предметной областью и представляет собой аналог экспертной системы [Chou, Chan & Lin, 2003]. Существенными продвижениями в области интеграции концепции «обучение через преподавание» с цифровыми педагогическими агентами являются разработки коллектива ученых из Университета Вандербильта [Biswas et al., 2005, 2016], в которых как объект обучения рассматривается обучаемый на основе использования когнитивных карт педагогический агент «Бетти». Для способствования пониманию механизмов человеческого обучения исследователи создают цифровые когнитивные модели, выполняющие предметные задачи так, как это делают студенты [Matsuda et al., 2010], имитирующие человеческое обучение математике и естественным наукам [Li et al., 2015].

Хотя дальнейшего развития концепция «педагогического товарища», как своего рода образовательного агента, играющего «неавторитетную роль в социальной среде обучения» пока не получила, но именно в этом ключе проводятся исследования информационного взаимодействия в процессе обучения, проводимые на базе СПбГЭТУ «ЛЭТИ» под руководством профессора С.Н. Позднякова. В концепции информационной среды обучения [Башмаков, Поздняков, Резник,

1997] цифровые технологии могут использоваться только как инструменты формирования социальной среды обучения. Человек всегда находится выше любого цифрового инструмента или технологии в иерархической социальной среде обучения. Даже создание интеллектуального агента [Поздняков, 2017] только обеспечивает общее информационное рабочее пространство процесса обучения. Студенты, участвующие в разработке системы, передают ей знания, трансформируя их из математического представления описательными алгоритмами в компьютерные программы, что является своеобразной формой «обучения компьютера».

2. Теоретические основы и методы исследования

2.1. Учебно-методические материалы как граничные объекты информационной среды обучения

Придерживаясь концепции информационной среды обучения [Башмаков, Поздняков, Резник, 1997] можно рассматривать различные ее виды: активная, потенциально-активная, пассивная. При реализации технологии «обучение через преподавание» нас интересует только активный вид информационной среды, так как основной своей целью «обучение через преподавание» имеет именно активизацию позиций всех участников процесса.

Рассматривая интеграцию активных видов дидактического конструирования информационной среды обучения с техническими педагогическими инструментами, можно говорить о слиянии психолого-педагогического и информационно-технологического подходов технологии в условиях развития цифровых технологий [Tolkacheva, Ivanov & Pozdniakov, 2022]. И хотя применение компьютерных программ не дает быстрого эффекта в освоении содержания обучения, так определены только базовые структуры для компьютерного моделирования понимания человеком простых математических понятий [Поздняков, Иванов, 2006]. Но зато может поддержать интеллектуальную свободу студента [Pozdnyakov & Ivanov, 2004], что принципиально для осмысления этого содержания. Именно активная информационная среда может предоставлять различную степень свободы: от жесткого контроля за субъектом до высокой степени самостоятельности обучаемого. Различным по интеграции может быть и участие

в контроле автоматизированных обучающих систем (АОС), как инструментальных средств, управляющую функцию которыми несет пользователь.

В рамках информационной среды обучения можно говорить об учебно-методических материалах как о граничных объектах информационной среды обучения. Учебно-методические материалы в их классическом понимании являются граничными объектами между вертикальными субъектами, то есть между учителем (преподавателем) и учеником (студентом).

Технология же «обучение через преподавание» определяет контекст горизонтального взаимодействия школьников или студентов, как участников учебного процесса между собой [Толкачева, 2021]. В этом случае можно рассматривать горизонтальные граничные объекты, как более широкое понятие нежели учебно-методические материалы. Учебно-методические материалы для горизонтальных граничных объектов могут быть реализованы или в виде материалов для совместного изучения из предметной области (теория, примеры, задачи), или в виде механизма для организации горизонтальных связей (консультация, проектная работа, создание новых учебных материалов).

Горизонтальное взаимодействие может быть организовано как между людьми, так и между человеком и цифровым педагогическим агентом. Принципиальна в этом случае как степень использования цифровых технологий, так и степень жесткости контроля использования граничных объектов.

Ставя своей целью формирование оценки количественных показателей для горизонтального обучения желательно сравнивать результаты не только при помощи формирования экспериментальной и контрольной групп применения разных методов и подходов к обучению, но и при помощи оценки применения различных учебно-методических материалов.

2.2. Описание исследования

На основании теоретических обоснований можно говорить, что у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого, что уже давно подтверждено и классическим исследованием [Benware & Deci, 1984] влияния на мотивацию активности позиции в процессе обучения.

Современные сравнительные исследования влияния на успешность обучения использования различных подходов к самообучению подтверждают большую эффективность устного объяснения виртуальному студенту по сравнению с написанием текста для него [Lachner, Jacob & Hoogerheide, 2021]. Различия же в понимании успешности обучения не позволяют использовать показатели академической успеваемости в качестве основного, только наряду с другими. Поэтому в рамках серии экспериментальных исследований изучения связи цифровых представлений концептуальных математических понятий и их смыслов акцент сделан на мотивационной составляющей (количественные показатели самооценки и отношения студентов к различным формам деятельности).

При изучении и аттестации по дисциплине «Комбинаторика и теория графов» была реализована технология «обучение через преподавание» посредством создания различных учебно-методических материалов в качестве граничных объектов для горизонтального обучения:

- создание модуля по графам для системы «Графы» на языке Java;
- подготовка видеозаписи с разбором задачи для использования другими студентами для обучения;
- обучение других студентов по выбранной теме.

В дальнейшем было проведено анкетирование с целью уточнения самооценки и количественных показателей отношения студентов к различным формам деятельности (мотивационная составляющая), даже видеозаписи были просмотрены и оценены группой экспертов. Данные, полученные в результате сдачи экзамена, подготовки различных учебно-методических материалов и заполнения анкет, были обработаны с целью уточнения степени корреляции этих величин. При обработке статистических показателей были учтены особенности постановки задачи – необходимость односторонней или двусторонней оценки.

В исследовании принимали участие 53 студента второго курса факультета компьютерных технологий и информатики СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Представляется к дискуссии только часть полученных результатов, связанных с созданием учебно-методических материалов.

3. Результаты и выводы (к дискуссии)

Анализ анкетных отзывов показал, что в качестве первого приближения можно рассмотреть суммарную статистику (табл. 1).

Таблица 1

Общее количество ответов на вопросы анкеты

Table 1

Total number of answers to the questionnaire questions

| Формулировка фактор-признака | Обучение других по выбранной теме (X) | Сдача экзамена студентам-преподавателям (Y) |
|---|---------------------------------------|---|
| Вызвал (-о, -а) интерес к теме | 18 | 9 |
| Помог (-ло, -ла) лучше понять суть математических идей | 20 | 10 |
| Повысил (-о, -а) мой профессиональный уровень | 15 | 7 |
| Позволил (-о, -а) узнать, то, о чем не знал и даже не думал | 5 | 7 |
| Дал (-о, -а) новые социальные навыки | 34 | 19 |
| Сделал (-о, -а) жизнь более насыщенной | 10 | 9 |

Представив результаты в виде диаграммы (рис. 1), можно наглядно проследить зависимость величин, и превалирование интереса к роли преподавателя (синие столбцы) над интересом к роли обучаемого (рыжие столбцы).

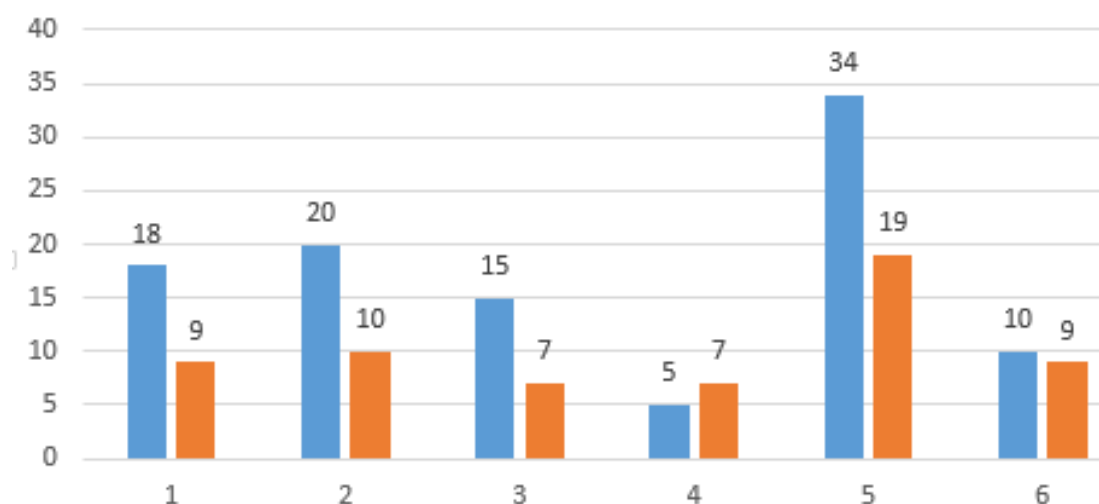


Рис. 1. Общее количество ответов на вопросы анкеты

Fig. 1. Total number of answers to the questionnaire questions

Анализ же индивидуальной статистики дает более точные оценки по отдельным признакам. Сравнение оценок отдельными студентами обучения других и сдачу экзамена студентам-преподавателям, то есть сравнение ими роли преподавателя и роли обучаемого (экзаменуемого) представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение отдельными студентами ролей преподавателя и обучаемого

Table 2

Comparison of the roles of a teacher and a student by individual students

| Формулировка фактор-признака | Вызва(-ло,-ла) интерес к теме | Помог(-ло,-ла) лучше понять суть математических идей | Повысил(-о,-а) мой профессиональный уровень | Позволил(-о,-а) узнать, то, о чем не знал и даже не думал(а) | Дал(-о,-а) новые социальные навыки | Сделал(-о,-а) жизнь более насыщенной |
|------------------------------|-------------------------------|--|---|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| Корреляция Пирсона | 0,23181 | 0,37381 | 0,094525 | -0,13644 | 0,404486 | 0,466667 |
| Наблюдаемая разность средних | 0,148148 | 0,166667 | 0,185185 | -0,01852 | 0,277778 | 0 |
| Дисперсия разностей | 0,279525 | 0,254717 | 0,304682 | 0,244934 | 0,279874 | 0,150943 |
| df | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| t-статистика | 2,059126 | 2,426703 | 2,465356 | -0,27497 | 3,858451 | 0 |
| P (T<=t) односторонняя | 0,022205 | 0,009335 | 0,00848 | 0,392206 | 0,000156 | 0,5 |
| Критическое t одностороннее | 1,674116 | 1,674116 | 1,674116 | 1,674116 | 1,674116 | 1,674116 |
| P (T<=t) двусторонняя | 0,044411 | 0,01867 | 0,01696 | 0,784411 | 0,000311 | 1 |
| Критическое t двустороннее | 2,005746 | 2,005746 | 2,005746 | 2,005746 | 2,005746 | 2,005746 |

При этом для четырёх фактор-признаков из шести (*Вызва(-ло,-ла) интерес к теме, Помог(-ло,-ла) лучше понять суть математических идей, Повысил(-о,-*

а) мой профессиональный уровень, Дал(-о,-а) новые социальные навыки) даже по двустороннему критерию значение статистики больше критерия, значит, нуль-гипотеза отвергается и у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого.

В рамках экзамена по дисциплине «Комбинаторика и теория графов» студенты готовили видеозапись с разбором задач. Видеозаписи были просмотрены и оценены группой экспертов по двум параметрам: правильное и понятное объяснение (1 или 0); лаконичность объяснения (менее или более 10 минут – соответственно 1 или 0).

При сравнении полученных данных (табл. 3) выявлена не только корреляция этих величин, но и превосходство параметра «правильности и понятности объяснения» над «лаконичностью изложения».

Таблица 3

Сравнительные характеристики параметров видеообъяснения

Table 3

Comparative characteristics of video explanation parameters

| Характеристика сравнения | Значение |
|-----------------------------|-------------|
| t-статистика | 3,611732225 |
| P (T<=t) односторонняя | 0,0005675 |
| Критическое t одностороннее | 1,699127027 |
| P (T<=t) двусторонняя | 0,001135 |
| Критическое t двустороннее | 2,045229642 |

При подготовке к аттестационным мероприятиям возможно было пользоваться банком видеообъяснений всех задач. При аттестации студенту предлагалась задача, которую объяснял не он, а другой обучающийся. При этом в обязательном порядке уточнялось просматривал ли студент видеообъяснение предложенной задачи (учитывались только те результаты аттестации, которые получены после «видеообучения»).

В рамках текущего контроля по дисциплине «Комбинаторика и теория графов» студенты создавали программный модуль на языке Java по графам для ком-

пьютерной системы «Графы». Модуль создавался индивидуально каждым студентом, далее тестировался преподавателем и отправлялся в случае необходимости на доработку. Причем в срок и сразу верно были исполнены 57% разрабатываемых модулей (один модуль был улучшен разработчиком по собственной инициативе), еще для 18% модулей были представлены, протестированы и исправлены в срок выявленные недочеты, 10% разрабатываемых модулей были представлены после окончания работы над проектом (по различным причинам) и не были протестированы, 15% не были разработаны.

С целью выявления индикаторов влияния различных форм деятельности на самообучение и активизации позиции в восприятии информации было проведено анкетирование. Все участвовавшие в анкетировании занимались двумя видами деятельности в рамках концепции «обучение через преподавание»:

- создание и реализация программного модуля, решающего задачу по теме «Графы», для использования другими студентами как тренажера;
- подготовка видеозаписи с разбором задачи для использования другими студентами для обучения.

Вопросы анкеты были сформулированы следующим образом (можно было выбрать один или несколько пунктов):

1. Создание модуля по графам для системы Графы на языке Java положительно повлияло на понимание курса теории графов.
2. Запись решения задачи на видео (с выкладыванием в YouTube) позволило осмыслить разбираемую задачу существенно лучше, чем без объяснения разбора потенциальным зрителям на видео.
3. Особенности работы с разборами задач, записанными на видео. Мною была выбрана простая задача или задача с решением.
4. Особенности работы с разборами задач, записанными на видео. Мне пришлось многое прочитать, прежде чем записать разбор задачи.
5. Мое отношение к форме экзамена. К такому экзамену легче готовиться, часть билета можно подготовить заранее.

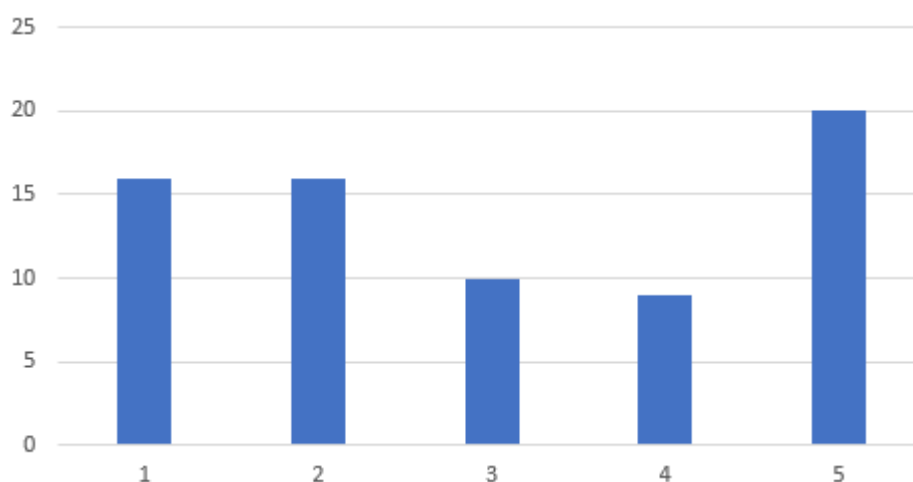


Рис. 2. Результаты опроса

Fig. 2. Survey results

Анализ индивидуальных ответов студентов указывает на взаимосвязи самооценки при выполнении различных видов работ. Например, выполняется гипотеза о том, что первая величина больше третьей и больше четвертой, что показывает связь между величинами: 1) влияние создания модуля для системы Графы на понимание курса; 2) выбор задачи для разбора на видео; 3) необходимость много прочесть для разбора задачи. Студенты, успешно реализовавшие программный модуль «Графы», выбирали более сложные задачи для записи, что влекло за собой необходимость дополнительного активного самообучения.

В результате проведенного исследования подтвердилась обоснованность использования технологии «обучение через преподавание» в образовательном процессе, так как результаты показывают, что у студентов интерес к роли преподавателя больше, чем интерес к роли обучаемого. Именно это позволило усилить мотивационную составляющую при самостоятельной работе студентов при подготовке к аттестации. Данная форма, а также включенность каждого студента в общий проект по созданию банка видеообъяснений задач, не столько повлияла на общую успешность при аттестации студентов, сколько на успешность усвоения смысловой составляющей математических понятий теории графов.

Таким образом, показаны не только возможности использования педагогической технологии «обучение через преподавание» для формирования понима-

ния и усвоения содержания, но и роль учебно-методических материалов в реализации этой технологии. Состоит она в том, что изменения в понимании содержания предмета происходит не только для тех, кто непосредственно преподаёт дисциплину, но и для тех, кто готовит учебно-методические материалы для поддержки её преподавания.

В дальнейших исследованиях роли и места учебно-методических материалов возникнет необходимость разработки требований к контрольно-измерительным материалам. Причем контрольно-измерительные материалы должны предоставлять информацию не только про выполнение прямолинейных действий, но и про понимание внутренних связей и математической сущности предмета.

Список литературы

1. Башмаков М. И. Информационная среда обучения / М. И. Башмаков, С. Н. Поздняков, Н. А. Резник ; Российская академия образования, Северо-Западное отделение, Институт продуктивного обучения. – Санкт-Петербург : Свет, 1997.

2. Выготский Л.С. Умственное развитие детей в процессе обучения / Л.С. Выготский. – Ленинград, 1935. URL: <http://psychlib.ru/mgppu/VUR/VUR-1935.html> (дата обращения 14.05.2022).

3. Иванов С. Г. Компьютерное моделирование формирования математических понятий / С. Г. Иванов, С. Н. Поздняков // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2006. – №11. – С. 38–42.

4. Поздняков С.Н. Система компьютерной алгебры как педагогическая задача / С.Н. Поздняков // Компьютерные инструменты в образовании. – 2017. – №2. – С. 25–41.

5. Толкачева Е. А. Математика в техническом университете: потенциал горизонтальных связей / Е. А. Толкачева // Компьютерные инструменты в образовании. – 2021. – №2. – С. 84–100. – DOI 10.32603/2071-2340-2021-2-84-100.

6. Bargh J. A. On the cognitive benefits of teaching / J. A. Bargh, Y. Schul // Journal of Educational Psychology. – 1980. – №72. – P. 593–604. DOI 10.1037/0022-0663.72.5.593

7. Benware C. A. Quality of learning with an active versus passive motivational set / C. A. Benware, E. L. Deci // *American Educational Research Journal*. – 1984. – №21. – P. 755–765. DOI 10.3102/00028312021004755
8. Biswas G. Learning by teaching: a new agent paradigm for educational software / G. Biswas, K. Leelawong, D. Schwartz, N. Vye, & The Teachable Agents Group at Vande // *Applied Artificial Intelligence*. – 2005. – 19(3–4). – P. 363–392. DOI 10.1080/08839510590910200
9. Biswas G. From Design to Implementation to Practice a Learning by Teaching System: Betty’s Brain / G. Biswas, J.R. Segedy, K. Bunchongchit // *Int J Artif Intell Educ*. – 2016. – 26. – P. 350–364. DOI 10.1007/s40593-015-0057-9.
10. Chou C.-Y. Redefining the learning companion: The past, present, and future of educational agents / C.-Y. Chou, T.-W. Chan, C.-J. Lin // *Computers & Education*. – 2003. – 40. – P. 255–269. DOI 10.1016/S0360-1315(02)00130-6.
11. Koh A. W. L. The learning benefits of teaching: A retrieval practice hypothesis / A. W. L. Koh, S. C. Lee, & S. W. H. Lim // *Applied Cognitive Psychology*. – 2018 – 32(3). – P. 401–410. DOI 10.1002/acp.3410
12. Lachner A. Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? / A. Lachner, L. Jacob, V. Hoogerheide // *Learning and Instruction*. – 2021. – 74. – 101438. DOI 10.1016/j.learninstruc.2020.101438
13. Li N. Integrating representation learning and skill learning in a human-like intelligent agent / N. Li, N. Matsuda, W.W. Cohen, K.R. Koedinger // *Artificial Intelligence*. – 2015. – 219. – P. 67–91. DOI 10.1016/j.artint.2014.11.002.
14. Matsuda N. Learning by Teaching SimStudent: Technical Accomplishments and an Initial Use with Students / N. Matsuda, V. Keiser, R. Raizada, A. Tu, G. Stylianides, W. W. Cohen [et al.] // V. Aleven, J. Kay & J. Mostow (Eds.). *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. – Berlin, Germany, 2010. – Pp. 317–326. Heidelberg, Berlin: Springer.
15. Pozdnyakov S. Computers in productive teaching of mathematics or how information technologies can support intellectual freedom of the learner / S. Pozdnyakov,

S. Ivanov // The 10-th International Congress on Mathematical Education, National presentation: Russia, Selected materials. – Copenhagen, Denmark, 2004. – Pp. 115–124.

16. Roscoe R. D. Self-monitoring and knowledge-building in learning by teaching / R. D. Roscoe // *Instructional Science*. – 2014. – 42. – P. 327–351. DOI 10.1007/s11251-013-9283-4

17. Tolkacheva E. Implementation of Horizontal Connections in the Course of Mathematics by Combining Pedagogical and Digital Technologies / E. Tolkacheva, S. Ivanov, S. Pozdniakov // *Mathematics*. – 2022. – 10, №2352. DOI 10.3390/math10132352

References

1. Bashmakov, M. I., & Pozdniakov, S. N. (1997). *Informatsionnaia sreda obucheniia*. Reznik ; Sankt-Peterburg: Svet.

2. Vygotskii, L. S. (1935). *Umstvennoe razvitie detei v protsesse obucheniia*. Leningrad. Retrieved from URL: <http://psychlib.ru/mgppu/VUR/VUR-1935.html>

3. Ivanov, S. G., & Pozdniakov, S. N. (2006). Komp'iuternoe modelirovanie formirovaniia matematicheskikh poniatii. *Izvestiia SPbGETU LETI*, 11, 38-42.

4. Pozdniakov, S. N. (2017). Sistema komp'iuternoi algebrы kak pedagogicheskaiа zadacha. *Komp'iuternye instrumenty v obrazovanii*, 2, 25-41.

5. Tolkacheva, E. A. (2021). Matematika v tekhnicheskome universitete: potentsial gorizonta'nykh sviazei. *Komp'iuternye instrumenty v obrazovanii*, 2, 84-100. doi:10.32603/2071-2340-2021-2-84-100.

6. Bargh, J. A., & Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72, 593. doi:10.1037/0022-0663.72.5.593

7. Benware, C. A., & Deci, E. L. (1984). Quality of learning with an active versus passive motivational set. *American Educational Research Journal*, 21, 755. doi:10.3102/00028312021004755

8. Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D., & Vye, N. (2005). Learning by teaching: a new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence*, 19(3), 363. doi:10.1080/08839510590910200

9. Biswas, G., Segedy, J. R., & Bunchongchit, K. (2016). From Design to Implementation to Practice a Learning by Teaching System: Betty's Brain. *Int J Artif Intell Educ*, 26, 350. doi:10.1007/s40593-015-0057-9.
10. Chou, T., & Chan, C. (2003). Chou C.-Y. Redefining the learning companion: The past, present, and future of educational agents. *Computers & Education*, 40, 255. doi:10.1016/S0360-1315
11. Koh, A. W., Koh, W. L., Lee, S. C., & Lim, W. H. (2018). L. The learning benefits of teaching: A retrieval practice hypothesis. *Applied Cognitive Psychology*, 32(3), 401. doi:10.1002/acp.3410
12. Lachner, A., Jacob, L., & Hoogerheide, V. (2021). Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? *Learning and Instruction*, 74. doi:10.1016/j.learninstruc.2020.101438
13. Li, N., Matsud, N., Cohen, W. W., & Koedinger, K. R. (2015). Integrating representation learning and skill learning in a human-like intelligent agent. *Artificial Intelligence*, 219, 67. doi:10.1016/j.artint.2014.11.002.
14. Matsuda, N., Keiser, V., Raizada, R., Stylianides, G., & Cohen, W. W. (2010). Learning by Teaching SimStudent: Technical Accomplishments and an Initial Use with Students. V. Alevan, J. Kay & J. Mostow (Eds.). *Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Berlin, Germany.
15. Pozdnyakov, S., & Ivanov, S. (2004). Computers in productive teaching of mathematics or how information technologies can support intellectual freedom of the learner. The 10-th International Congress on Mathematical Education, National presentation: Russia, Selected materials, Copenhagen, Denmark.
16. Roscoe, R. D. (2014). Self-monitoring and knowledge-building in learning by teaching. *Instructional Science*, 42, 327. doi:10.1007/s11251-013-9283-4
17. Tolkacheva, E., Ivanov, S., & Pozdniakov, S. (2022). Implementation of Horizontal Connections in the Course of Mathematics by Combining Pedagogical and Digital Technologies. *Mathematics*, 10, 2352. doi:10.3390/math10132352

Толкачева Елена Алексеевна – кандидат физико-математических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Иванов Сергей Георгиевич – кандидат педагогических наук, доцент кафедры алгоритмической математики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Elena A. Tolkacheva – candidate of physical and mathematical sciences, docent, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russian Federation.

Sergey G. Ivanov – candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of algorithmic mathematics of the Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russian Federation.