

УДК 378

DOI 10.25688/2072-9014.2019.47.1.09

**М.М. Клунникова**

## **Когнитивный метод повышения уровня усвоения студентами дисциплины «Численные методы»**

В статье обосновывается реализация комплексного подхода при обучении студентов численным методам, нацеленного на развитие когнитивной компоненты вычислительного мышления с опорой на визуализацию алгоритмических расчетных схем и активизацию познавательной самостоятельности студентов. Показано, что обучение студентов в условиях спроектированной среды способствует успешности освоения численных методов.

*Ключевые слова:* когнитивный метод; обучение численным методам; визуализация расчетных схем; вычислительное мышление.

**Н**аучно-технологический прогресс, включающий в себя масштабное развитие интеллектуальных систем, рост сенсорных технологий, микропроцессорных мощностей, глобальную связанность мира, очень быстро вносит изменения в современное общество, что предъявляет более высокие интеллектуальные требования к специалистам, обслуживающим это общество и особенно работающим в сфере IT-технологий.

Для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 02.03.01 — «Математика и компьютерные науки», в соответствии с ФГОС ВО, основными результатами обучения должны являться: знание и умение решать базовые математические задачи, возникающие в производственной и технологической деятельности, с помощью численных методов; готовность применять методы математического и алгоритмического моделирования при анализе прикладных программ и в научных исследованиях<sup>1</sup>.

В этой связи особая роль принадлежит базовой дисциплине «Численные методы», в рамках которой необходимо научить студентов применять основные численные методы решения классических математических задач, выбирать эффективные алгоритмы, реализовывать методы на языке программирования высокого уровня или с помощью математических пакетов, анализировать

<sup>1</sup> Приказ Минобрнауки РФ от 16.04.2010 № 374 (ред. от 31.05.2011) «Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 010200 — «Математика и компьютерные науки» (квалификация (степень) «бакалавр»)» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 03.06.2010 № 17454).

и интерпретировать полученные результаты расчетов. Дисциплина носит ярко выраженный практико-ориентированный характер, является основой для изучения последующих дисциплин, служит базовым инструментом для проведения научных исследований в области вычислительной математики и компьютерных наук.

Фундаментальной основой при разработке рабочих программ по дисциплине «Численные методы» являются труды многих российских ученых. В первую очередь это труды Н.С. Бахвалова, О.М. Белоцерковского, И.С. Березина, В.В. Воеводина, И.М. Гельфанда, С.К. Годунова, А.А. Дородницына, Н.П. Жидкова, Н.Н. Калиткина, Г.И. Марчука, А.А. Самарского, А.Н. Тихонова, Д.К. Фадеева, В.Н. Фадеевой, Н.Н. Яненко и др. В работах этих авторов подробно рассматриваются вопросы теоретического обоснования методов, что очень важно при обучении студентов-математиков, однако почти не затрагивается их практическая реализация с использованием современных компьютерных технологий.

Издания последних лет содержат достаточно краткие предварительные сведения по теории используемых методов, но в них приводятся примеры реализации алгоритмов и тексты программ, ориентированных на конкретную среду разработки, что помогает студентам при практической реализации методов. Все чаще в качестве рабочего инструментария для решения практических задач при изучении численных методов используются специализированные пакеты, такие как Maple, Mathematica, MathLab, MathCad, Excel, позволяющие интенсифицировать учебный процесс [1, 4]. В зависимости от выбранного программного обеспечения подходы к преподаванию курса существенно меняются, что влечет за собой новые методические проблемы.

Трудности, с которыми сталкиваются студенты при изучении численных методов, исследовались во многих работах [2, 4, 8–10]. Их авторы сходятся во мнении, что не все студенты одинаково хорошо могут реализовывать алгоритмы численных методов и необходимо разрабатывать новые методические подходы к обучению данной дисциплине. Противоречие между дидактическими возможностями новых программных сред, инновационными подходами к обучению численным методам и падением уровня усвоения студентами этого курса проявляется все отчетливее в силу слабой психолого-педагогической проработки ресурсов современных электронных средств и методик обучения, учитывающих когнитивные особенности обучаемых.

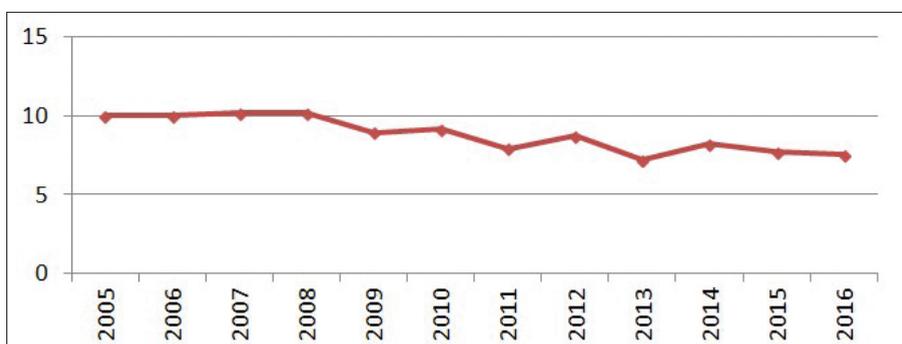
Целью работы является обоснование когнитивного метода обучения студентов дисциплине «Численные методы», учитывающего индивидуальные особенности вычислительного мышления обучающихся, способствующего развитию их познавательной самостоятельности и опирающегося на визуализацию алгоритмических расчетных схем. Ряд исследователей работали над вопросом улучшения качества подготовки студентов по дисциплине «Численные методы». Стоит отметить труды В.В. Беликова, И.В. Беленковой, И.В. Водолазской, Н.И. Пака, Т.А. Степановой, Г.М. Федченко, в работах которых отмечается,

что нужно уделять одинаковое внимание теоретическим основам численных методов и программированию, преподавание дисциплины не должно скатываться к изучению конкретного продукта, а должно быть нацелено на решение практических задач, выбор инструмента должен зависеть от уровня подготовки студента, его стремления к самостоятельному изучению нового материала.

Анализ показывает, что подходы к преподаванию дисциплины «Численные методы» для разных направлений подготовки существенно отличаются. Для будущих педагогов, помимо изучения теории численных методов, важно уделять внимание теории и методике преподавания курса, физической картине исследуемых процессов и явлений [3]. Для студентов инженерных и экономических специальностей, где элементы численных методов изучаются параллельно с курсом высшей математики, основное внимание обычно уделяют знакомству с первыми реальными примерами математического моделирования. Отсутствие у студентов опыта программирования вынуждает использовать либо программу MathCAD [4], так как она для пользователя является визуальной средой, т. е. формулы записываются в привычном математическом виде, либо программу MS Excel [7], которая легко позволяет получить таблицу последовательных приближений работы методов. Плюс такого подхода заключается в том, что не требуется дополнительного обучения, так как навыки работы с электронными таблицами студенты получают в курсе школьной информатики, а графические возможности MS Excel позволяют визуализировать процесс вычислений, сравнивать ряды данных, соответствующих различным значениям входных параметров.

Однако для студентов, обучающихся по направлению «Математика и компьютерные науки», в силу специфики подготовки важны и умение математически корректно анализировать алгоритмы, и умение их реализовывать с использованием языков высокого уровня, и умение строить новые алгоритмы численного решения.

Многолетний авторский опыт преподавания дисциплины «Численные методы» студентам Института математики и фундаментальной информатики Сибирского федерального университета (ИМФИ СФУ) показывает, что общий уровень усвоения дисциплины из года в год падает (рис. 1).



**Рис. 1.** Средний балл оценок знаний дисциплины «Численные методы» по результатам мини-сессий (15-балльная шкала)

Это может быть вызвано несколькими причинами:

- *Слабая математическая подготовка.* Результаты ЕГЭ по математике демонстрируют недостаточный уровень математической подготовки в школе. Средний балл по ЕГЭ не превышает 50 баллов. У большей части студентов возникают трудности при изучении базовых математических дисциплин на первом-втором курсе, что безуспешно пытаются скорректировать введением различных адаптационных курсов.
- *Трудности в программировании.* Наблюдается разноуровневая подготовка студентов. Есть студенты, которые изучали программирование еще в профильных классах средней школы, а есть такие, кто начал изучать базовый язык программирования только на первом курсе и еще не получил должного опыта разработки программ.
- *Особенности мышления.* Характерное для современной молодежи клиповое мышление, являющееся следствием необходимости перерабатывать большие объемы информации, заметно снижает уровень усвоения знаний и способность к анализу. Студентам не хватает умения мыслить в терминах разных уровней абстракции, они испытывают трудности при представлении алгоритма в виде последовательности конкретных шагов, при анализе полученных результатов, построении тестовых задач.

Более десяти лет курс «Численные методы» в ИМФИ СФУ преподается с использованием системы электронного обучения LMS Moodle. Активно используются практически все возможности этой системы, позволяющие упростить изучение материалов курса, организацию самостоятельной работы студентов, онлайн-взаимодействие между преподавателем и студентом и оценивание результатов обучения. Несмотря на то что ряд исследователей [9, 10] доказывают, что хорошо спроектированная информационно-коммуникационная предметная среда дает повышение качества обучения, уровня самостоятельности и производительности учебного труда студентов по курсу «Численные методы», это все-таки не позволяет заметно улучшить результаты обучения.

В этой связи представляет интерес поиск новых когнитивных подходов и дидактических приемов организации учебного процесса по курсу «Численные методы», обеспечивающих лучшее усвоение дисциплины.

*Концептуальная часть.* Основной методологической линией предлагаемого подхода является лично ориентированная методика преподавания дисциплины «Численные методы», направленная на развитие познавательной самостоятельности студентов, их вычислительного мышления за счет электронных средств визуализации учебного материала с помощью ментальных схем и смешанных форм обучения.

Когнитивный характер обучения обеспечивается применением метода динамической визуализации, с использованием ментальных карт численных расчетных схем. Считается, что до 80 % информации человек воспринимает через зрение. Возник даже такой термин «визуальное мышление», основой которого

являются умственные действия, возникающие при наблюдении за объектом или процессом, и абстрактно-логическое мышление. Использование наглядных средств является вспомогательным иллюстрирующим приемом и может рассматриваться как продуктивное средство, способное обеспечить при определенных условиях более эффективное развитие когнитивных способностей студентов.

Актуальной визуализация учебных материалов является и для математических дисциплин, где невозможно обойтись без наглядности при оперировании абстрактными математическими объектами, а создание динамических образов позволяет не только фиксировать исходную наглядность, но и преобразовывать ее в другие формы. Визуализация может образно продемонстрировать такие важные свойства численных методов, как погрешность, сходимость, устойчивость. Студенту будет полезно получить правильное представление, сформировать ментальный образ изменения интегральной суммы, который приводит к понятию сходимости. С помощью визуализации легко представить решение краевой задачи конечно-разностным методом, переходя от решения дифференциальной задачи к задаче дискретной.

В качестве центрального связующего элемента каждой изучаемой темы предлагается использовать ментальные карты, которые позволяют преподавателю в визуальной форме структурировать информацию, наглядно в сжатом виде изложить суть и содержание, определить основные понятия, сформулировать постановку задачи и методы ее решения, установить связь с ранее изученными методами. Составление ментальных вычислительных схем самими студентами может дать дополнительный познавательный эффект при обучении.

Качество образования в значительной мере зависит от мотивации обучаемого, от его личных целей и предпочтений. Главной задачей педагога является оказание помощи студенту в осуществлении индивидуального развития, что возможно через выстраивание траектории обучения, основанной на свободном выборе средств, форм и методов обучения дисциплине, которая соответствует и требованиям образовательной программы, и предпочтениям студента.

Одной из основных задач при обучении студентов математического направления является формирование и развитие вычислительного мышления. Этот термин обсуждается в зарубежной научной и педагогической литературе последние 15 лет. С точки зрения профессора Питсбургского университета Карнеги-Меллона Жаннетты Винг, это «фундаментальное умение для понимания жизни и ее развития в современном мире, необходимое для решения задач, проектирования систем и понимания человеческого поведения с помощью понятий, фундаментальных для информатики» [11].

В качестве основных компонентов «вычислительного мышления» обычно выделяют [6]: абстрактное мышление, алгоритмическое мышление, умение мыслить в терминах декомпозиции, умение обобщать, умение делать правильные оценки. Все эти компоненты должны быть хорошо развиты

у студентов-математиков, и успешность усвоения дисциплины «Численные методы» напрямую связана с их развитием.

Обучение следует направить на развитие абстрактного мышления студентов на трех уровнях: уровне постановки математической задачи, уровне численного метода решения и уровне программной реализации. На каждом этапе студент должен продемонстрировать умение алгоритмически правильно реализовывать численные методы, разбивать программы на отдельные модули, оценивать свою работу, делать выводы из полученных результатов.

*Практическая часть.* Начиная с 2017 года процесс обучения строился следующим образом. Изучение курса проводится по смешанной форме обучения на базе LMS Moodle, когда основой является традиционное очное обучение, а самостоятельная работа студентов поддерживается дистанционными возможностями доступа к учебным ресурсам. Вся самостоятельная работа студентов с элементами курса автоматически фиксируется и оценивается.

Основой каждой темы курса стал элемент «Лекция», включающий в себя сжатую теоретическую информацию, ментальную схему по изучаемой теме, визуальные элементы, демонстрирующие работу численных методов в режиме онлайн, вопросы для контроля полученных знаний. Это элемент курса, предполагающий активное участие студентов во время изучения, он состоит из небольших, логически завершенных страниц учебной информации и страниц с вопросами по теоретическому материалу. В зависимости от ответа осуществляется условный переход на определенный раздел лекции и выставляется балл за ответ. Такой подход позволяет учитывать самостоятельную работу студента в итоговой оценке курса.

В качестве одного из разделов лекции используется ментальная карта (рис. 2). Она служит для общего представления темы, позволяет лучше интерпретировать основные термины, продемонстрировать скрытые закономерности, показать связи между понятиями, представить наглядно трудно воспринимаемые положения теории курса, заменить некоторые понятия их графическим представлением, наглядно продемонстрировать алгоритм решения задачи.

Для реализации когнитивно-визуального подхода был разработан инструментарий, который позволяет включать интерактивные элементы, демонстрирующие работу численных методов, с помощью HTML-разметки. Внедрение этих элементов производится преподавателем или администратором курса, при этом программная реализация загружается с отдельного сайта. Механизм получения готовой разметки упрощен до метода копирования-вставки, предусмотрено обновление кода интерактивных элементов без обновления разметки. Взаимодействие с сайтом осуществляется через теги `<script>`, `<style>`, инициализация происходит внутри веб-страницы.

Студент может ввести входные данные и посмотреть пошаговую работу метода вместе с текстовыми пояснениями к нему, автоматически генерирующимися аналитическими выражениями и показом вычислений на графиках

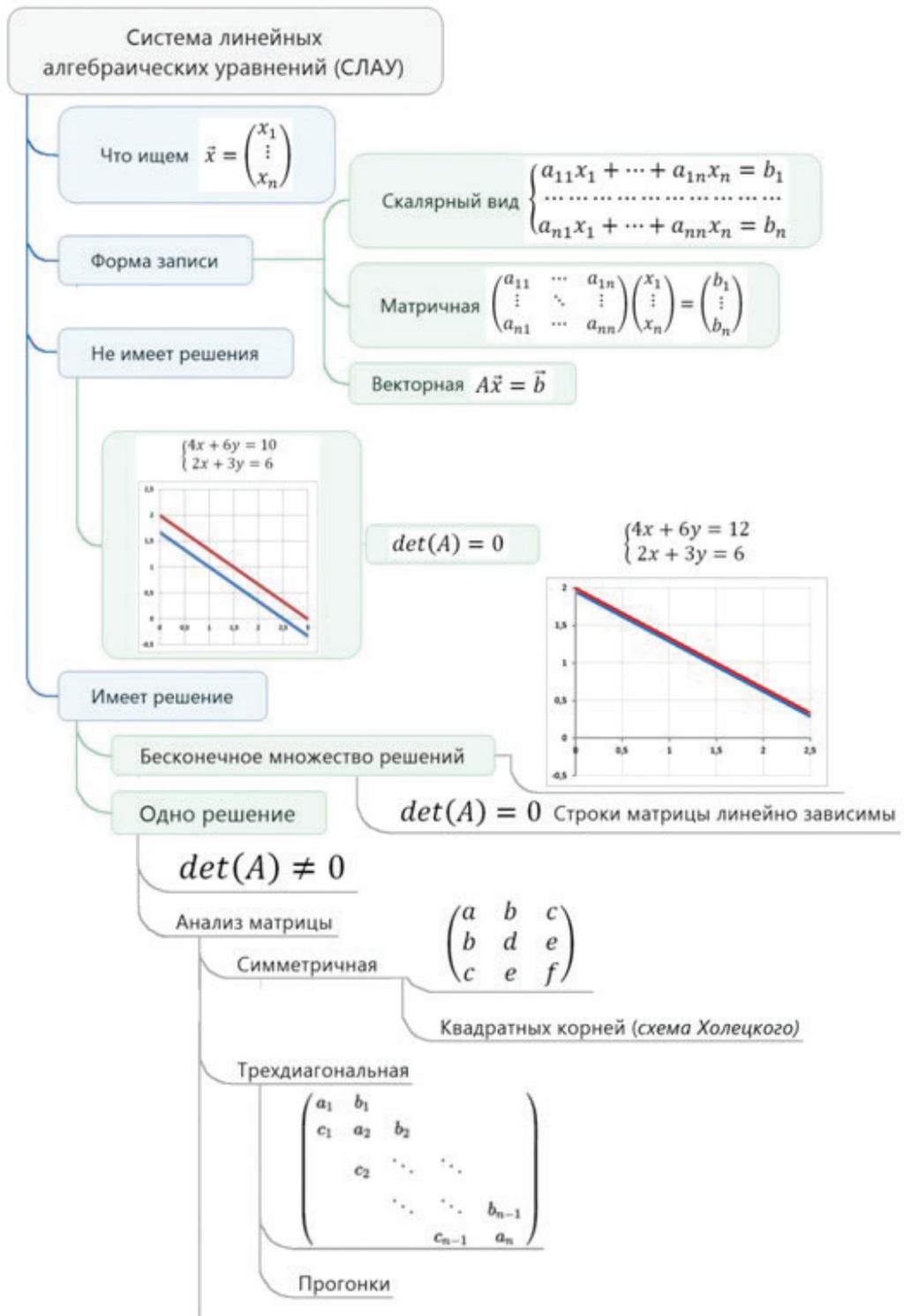


Рис. 2. Фрагмент ментальной карты по теме «Решение СЛАУ»

различных типов. При этом используется метаграфическая аранжировка информации, что делает информацию мотивированной и прагматически более выразительной для адекватной интерпретации изучаемых материалов.

Блок шага работы метода представлен несколькими областями (рис. 3): кнопка возврата к приветственной форме; навигация между шагами; текстовое пояснение и математическое представление информации; область для дополнительной визуализации — графики, анимации, и т. д.

Для повышения роли самообразовательной деятельности в соответствии с ее потребностями, мотивами, способностями студентам предлагается самостоятельно выбрать инструментарий для реализации численных методов в соответствии со своим опытом, постановкой задачи, функциональными возможностями и настройкой программного обеспечения. Чаще всего студенты выбирают языки программирования C++, C#, Python, Delphi.

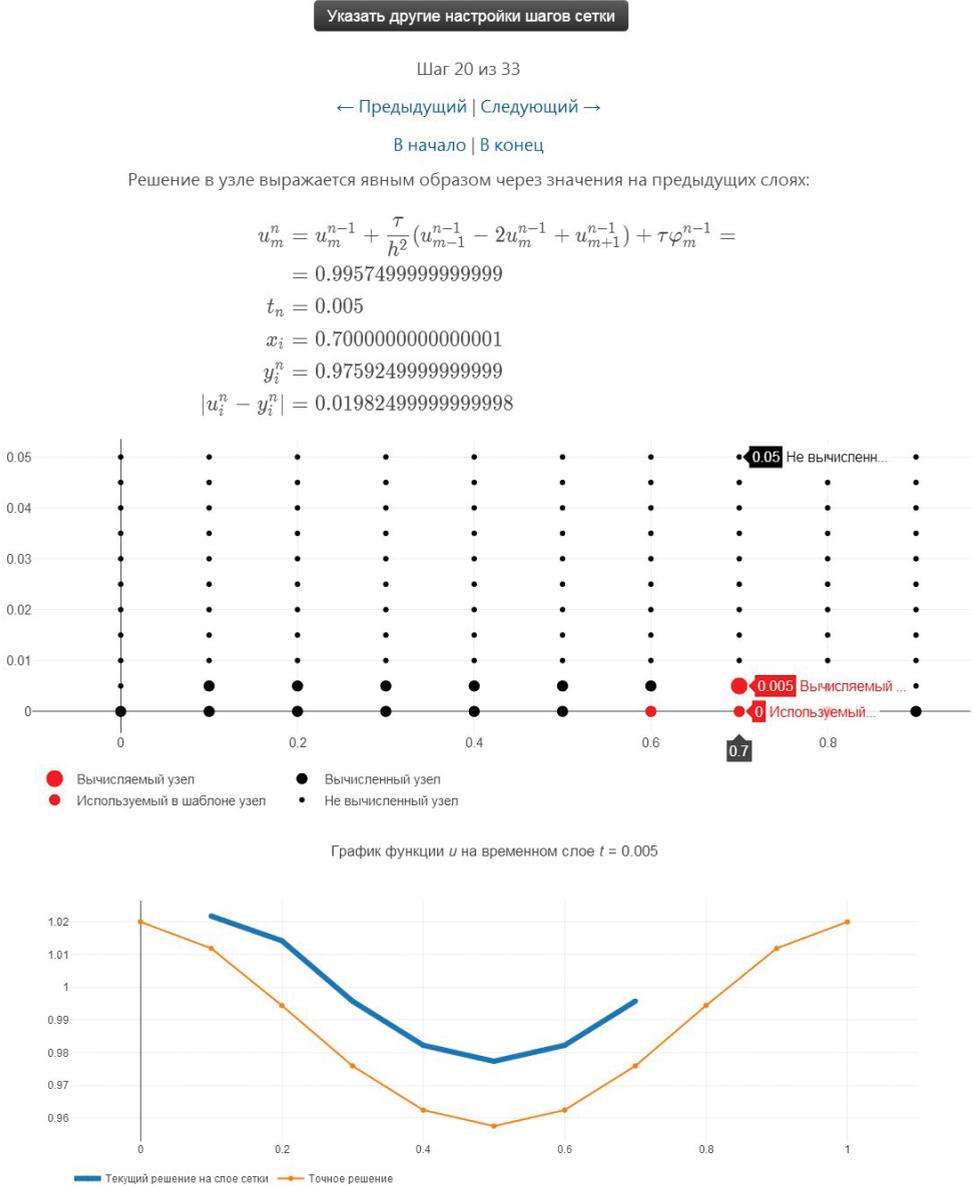
Каждая практическая работа представляет собой вычислительный эксперимент, направленный на оценку результатов работы метода в зависимости от входных параметров. Процесс обучения построен таким образом, чтобы студенты могли использовать ранее написанные модули при программировании новых. Например, при численном решении краевой задачи для уравнения теплопроводности с помощью разностных схем можно использовать реализованный ранее метод прогонки для решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей. При сдаче практических работ особое внимание уделяется сравнению численных методов, условиям их применения, их достоинствам и недостаткам, возможностям их модификации.

Кроме того, студент по согласованию с преподавателем имеет возможность выбрать интегрированные задания, охватывающие несколько тем. Это может быть разработка междисциплинарных проектов, которые могут быть зачетной работой сразу по двум дисциплинам, изучаемым одновременно. Например, «Численные методы» и «Информационные технологии в образовании» или «Численные методы» и «Математическое моделирование».

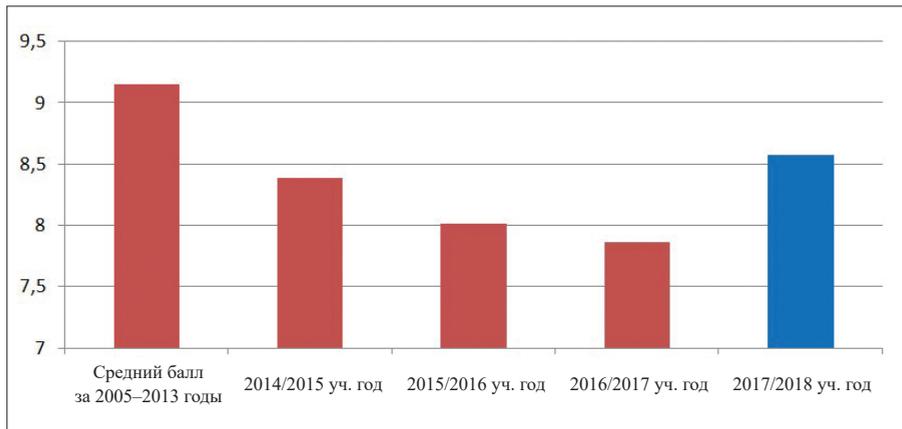
В рамках курса «Информационные технологии в образовании» студентам предлагалось разработать обучающие средства структурирования и представления учебной информации по численным методам в формате предметных ментальных схем и тренажеры для изучения численных методов, которые генерируют тематические задачи для самостоятельного решения с пошаговыми подсказками, что позволяет студентам лучше разобраться в тонкостях работы алгоритмов.

Предложенный подход показал, что результативность обучения по итогам 2018 года существенно возросла (см. рис. 4), это позволяет сделать вывод о правильности предложенного подхода.

**Выводы.** Проведенный анализ методических систем обучения дисциплине «Численные методы» показал, что, несмотря на появление новых технологий



**Рис. 3.** Шаг интерактивного решения краевой задачи 1-го рода для уравнения теплопроводности



**Рис. 4.** Динамика среднего балла по результатам мини-сессий

и программных сред, усвоение курса студентами происходит на неудовлетворительном уровне. Важно в целях успешности обучения учитывать не только предметные результаты, но и вычислительное мышление, развивать познавательную самостоятельность студентов.

Смешанное обучение на основе платформы Moodle позволяет организовать со студентами обучение-исследование, когда сами студенты разрабатывают ментальные карты расчетов, строят визуализированные средства и пр.

Предложенный когнитивный метод обучения студентов, учитывающий индивидуальные особенности вычислительного мышления обучающихся и опирающиеся на визуализацию алгоритмических расчетных схем, способствует развитию их познавательной самостоятельности и существенно повышает результативность усвоения курса «Численные методы».

Материалы работы представляют интерес для теории информатизации образования, современной электронной дидактики, а также для преподавателей, внедряющих элементы электронного обучения в предметное обучение студентов.

#### *Литература*

1. Беленкова И.В. Методика использования математических пакетов в профессиональной подготовке студентов вуза: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург, 2004. 23 с.
2. Беликов В.В. Обучение численным методам в условиях информатизации образования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования». 2006. № 1 (3). С. 125–128.
3. Беликов В.В. Инструментарий анализа содержания обучения дисциплине «Численные методы» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования». 2009. № 2. С. 75–77.
4. Водолазская И.В. Об одном из вариантов использования компьютеров в процессе обучения в техническом университете // Физическое образование в вузах. 2001. № 1. С. 98–106.

5. *Деца Е.И.* Методика реализации курса «Численные методы» в условиях смешанного обучения студентов // Проблемы современного образования. 2016. № 2. С. 158–162.
6. *Клунникова М.М., Пушкарёва Т.П.* Методы и средства развития вычислительного мышления при обучении дисциплине «Численные методы» // Современное образование. 2017. № 2. С. 95–101.
7. *Ляшко М.А.* О возможности реализации полного курса численных методов в Excel // Гуманизация образования. 2014. № 5. С. 21–23.
8. *Пак Н.И., Степанова Т.А.* Параллельный способ обучения курсу «Численные методы» // Педагогическая информатика. 2001. № 1. С. 33–38.
9. *Степанова Т.А.* Методическая система обучения курсу «Численные методы» в условиях информационно-коммуникационной предметной среды: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Красноярск, 2003. 24 с.
10. *Федченко Г.М.* Методическая система обучения будущих учителей информатики дисциплине «Численные методы»: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Нижний Новгород, 2006. 24 с.
11. *Wing J.* Computational Thinking // Communications of the ACM. 2006. V. 49 (3). P. 33–35.

#### *Literatura*

1. *Belenkova I.V.* Metodika ispol'zovaniya matematicheskix paketov v professional'noj podgotovke studentov vuza: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. Ekaterinburg, 2004. 23 s.
2. *Belikov V.V.* Obuchenie chislenny'm metodam v usloviyax informatizacii obrazovaniya // Vestnik Rossijskogo universiteta družby' narodov. Ceriya «Informatizaciya obrazovaniya». 2006. № 1 (3). S. 125–128.
3. *Belikov V.V.* Instrumentarij analiza soderzhaniya obucheniya discipline «Chislenny'e metody» // Vestnik Rossijskogo universiteta družby' narodov. Ceriya «Informatizaciya obrazovaniya». 2009. № 2. S. 75–77.
4. *Vodolazskaya I.V.* Ob odnom iz variantov ispol'zovaniya komp'yuterov v processe obucheniya v texnicheskom universitete // Fizicheskoe obrazovanie v vuzax. 2001. № 1. S. 98–106.
5. *Deza E.I.* Metodika realizacii kursa «Chislenny'e metody» v usloviyax smeshannogo obucheniya studentov // Problemy' sovremennogo obrazovaniya. 2016. № 2. S. 158–162.
6. *Klunnikova M.M., Pushkareva T.P.* Metody' i sredstva razvitiya vy'chislitel'nogo my'shleniya pri obuchenii discipline «Chislenny'e metody» // Sovremennoe obrazovanie. 2017. № 2. S. 95–101.
7. *Lyashko M.A.* O vozmozhnosti realizacii polnogo kursa chislenny'x metodov v Excel // Gumanizaciya obrazovaniya. 2014. № 5. S. 21–23.
8. *Pak N.I., Stepanova T.A.* Parallelnyj sposob obucheniya kursu «Chislenny'e metody» // Pedagogicheskaya informatika. 2001. № 1. S. 33–38.
9. *Stepanova T.A.* Metodicheskaya sistema obucheniya kursu «Chislennye metody» v usloviyax informacionno-kommunikacionnoj predmetnoj sredy': avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. Krasnoyarsk, 2003. 24 s.
10. *Fedchenko G.M.* Metodicheskaya sistema obucheniya budushix uchitelej informatiki discipline «Chislenny'e metody»: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. Nizhnij Novgorod, 2006. 24 s.
11. *Wing J.* Computational Thinking // Communications of the ACM. 2006. V. 49 (3). P. 33–35.

*M.M. Klunnikova*

**Cognitive Method of Increasing the Level of Mastering  
«The Numerical Methods» Discipline by the Students**

The article substantiates the implementation of an integrated approach to teaching students numerical methods aimed at development of the cognitive component of computational thinking based on the visualization of algorithmic computational schemes and enhancing the cognitive independence of students. It is shown that teaching students in the conditions of a projected environment contributes to the success of mastering numerical methods.

*Keywords:* cognitive method; teaching numerical methods; visualization of design schemes; computational thinking.