



Интеграция вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки

С. И. КАЛИНИН, С. И. ТОРОПОВА

АННОТАЦИЯ

Введение. Вычислительное мышление подрастающего поколения приобретает важность в современном информационном обществе, поскольку обеспечивает понимание молодыми людьми вычислительной природы процесса решения проблем с использованием цифровых технологий. Недостаточно изученными представляются исследовательские вопросы, связанные с тематикой вычислительного мышления в контексте обучения математике студентов вузов определенных профилей. *Цель исследования* – прояснить с помощью конкретных примеров и апробировать математические темы и педагогические подходы к интеграции вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки, а также определить степень такой интеграции.

Материалы и методы. В исследовании, проведенном в 2023–2024 гг., участвовало 68 студентов направления подготовки 06.03.01 Биология Вятского государственного университета (Российская Федерация). Математическое содержание подобрано в соответствии с таксономией навыков вычислительного мышления в математике и научных практиках (The Computational Thinking in Mathematics and Science Practices Taxonomy). Основная методика измерения вычислительного мышления, представленная Шкалой вычислительного мышления (The Computational Thinking Scales, CTS), была дополнена кейс-заданиями, отражающими математические основы эпидемиологии. Статистический анализ выполнен посредством U-критерия Манна-Уитни.

Результаты исследования. Выявлено, что проблемно-ориентированное, исследовательское и проектное обучение, групповые формы работы позволяют в значительной степени совместить процесс обучения математике в вузе с развитием вычислительного мышления обучающихся. Практически все разделы высшей математики обладают образовательным и прикладным потенциалом для такого развития. Для его реализации целесообразно сочетать изучение математических тем с решением реальных задач, в которых формируются вычислительные навыки, при этом само вычислительное мышление может выступать как средство и цель современного математического образования студентов естественнонаучного профиля. Количественный анализ полученных результатов подтвердил достоверность различий ($U_{\text{эмп.}} = 5$, $U_{\text{кр.}} = 6$ при $p < 0,01$), что свидетельствует об эффективности предпринятого вмешательства на основе предложенных педагогических подходов и сформулированных математических тем.

Заключение. Практическая значимость исследования определяется возможностями использования его результатов при совершенствовании навыков вычислительного мышления студентов в процессе обучения математике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вычислительное мышление, математическое мышление, решение проблем, математическое моделирование

Для цитирования: Калинин С. И., Торопова С. И. Интеграция вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки // Перспективы науки и образования. 2025. № 2. С. 163–174. <https://doi.org/10.32744/pse.2025.2.11>

Поступила: 22.09.2024 | Одобрена: 21.02.2025 | Опубликована: 30.04.2025



Лицензия «С указанием авторства — С сохранением условий». Позволяет перерабатывать, исправлять и развивать произведения при условии указания авторства и лицензирования производных работ на аналогичных условиях.



Integration of computational thinking into the mathematical education of students of natural sciences

S. I. KALININ, S. I. TOROPOVA

ABSTRACT

Introduction. Computational thinking of the younger generation is becoming important in the modern information society, as it provides young people with an understanding of the computational nature of the problem-solving process using digital technologies. Research issues related to the topic of computational thinking to university students of certain profiles in the process of teaching mathematics are insufficiently studied. *The purpose of the study* is to clarify mathematical topics, pedagogical approaches and the degree of integration of computational thinking into the mathematical education of students of natural sciences with the help of specific examples.

Materials and methods. 68 students of the Vyatka State University majoring in 06.03.01 Biology took part in the study, covering 2023–2024. Mathematical content is selected according to the Computational Thinking in Mathematics and Science Practices Taxonomy by Weintrop et al. The main method for measuring computational thinking, presented by the Computational Thinking Scales (CTS), was supplemented with case studies reflecting the mathematical foundations of epidemiology. Statistical analysis of the obtained results was performed using the Mann-Whitney U test.

Results. It is substantiated that problem-oriented, research and project-based learning, group forms of work make it possible to significantly combine the process of teaching mathematics at a university with the development of students' computational thinking. Almost all branches of higher mathematics have educational and applied potential for such development. To implement it, it is advisable to combine the study of mathematical topics with the solution of real problems in which computational skills are formed, while computational thinking itself can act as a means and goal of modern mathematical education for students in the natural sciences. A quantitative analysis confirmed the significance of the differences ($U_{\text{emp}} = 5 < U_{\text{cr}} = 6$; $p < 0,01$), which indicates the effectiveness of the intervention based on the proposed pedagogical conditions and formulated mathematical topics.

Conclusion. The practical significance of the study is determined by the possibilities of using its results in improving the computational thinking skills of students in the process of teaching mathematics.

KEYWORDS

computational thinking, mathematical thinking, problem solving, mathematical modeling

For Citation: Kalinin, S. I., & Toropova, S. I. (2025). Integration of computational thinking into the mathematical education of students of natural sciences. *Perspektivy nauki i obrazovaniya = Perspectives of Science and Education*, (2), 163–174. <https://doi.org/10.32744/pse.2025.2.11>

Received: 22 September 2024 | Approved: 21 February 2025 | Published: 30 April 2025



This is an open access article distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike International License (CC-BY-SA 4.0) that allows others to share the work with an acknowledgement of the work's authorship and initial publication in this journal

ВВЕДЕНИЕ

Подготовленность человека к жизни и профессиональной деятельности в современном цифровом мире оценивается согласно нескольким категориям, одной из которых является вычислительное мышление [1]. При описании глобальной структуры цифровой грамотности ЮНЕСКО определяет вычислительное мышление в качестве существенной составляющей процесса решения проблем, позволяющей разложить вычислительную задачу на последовательные и логические шаги, пригодные для решения с помощью человеческих или компьютерных систем [2]. В цитируемом источнике особо подчеркивается, что, хотя вычислительное мышление и связано с программированием в рамках производства цифрового контента, оно не тождественно способности создавать программы и предполагает нечто большее.

По мнению Е. К. Хеннер, вычислительное мышление включает набор когнитивных и некогнитивных метанавыков, создающих базу и формирующих predisposedность к решению проблем с помощью информационных технологий и цифровых инструментов [1]. Выполненный автором аналитический обзор показал, что задача формирования вычислительного мышления решалась преимущественно для студентов ИТ-профиля, тем не менее она является актуальной и для студентов других направлений подготовки, включая естественнонаучное. Так, в соответствии с оценкой С. И. Калинина и С. И. Тороповой математические методы, в частности вычислительной математики, важны, но не в полной мере представлены в освоении химических, биохимических, биофизических и смежных наук, составляющих основу профессиональной подготовки студентов естественнонаучного профиля [3]. Вместе с тем А. А. Ogegbo и U. Ramnarain отмечают пристальное внимание сообщества, объединяющего специалистов в области естественнонаучного образования, к совместному использованию вычислительного мышления и математики как ценных ресурсов для характеристики естественного и искусственного мира вокруг нас [4].

С точки зрения Н.Уе с коллегами, несмотря на обилие публикаций по вычислительному мышлению, проведено недостаточно исследований, которые представляли бы детальный анализ взаимодействия между указанным видом мышления и изучением математики на уровне бакалавриата, в то время как вследствие характера математического содержания интеграция в данном контексте видится более естественной и распространенной [5].

Отмеченное положение лучше всего демонстрирует тот факт, что Организация экономического сотрудничества и развития включила вычислительное мышление в свое международное исследование PISA 2022 по фундаментальной концепции математической грамотности [6]. Это исследование нацелено на рассмотрение математики в быстро меняющемся мире, движимом новыми технологиями и тенденциями, которые создают необходимость для учащихся понимать структуру вычислительного мышления как неотъемлемую часть их математической грамотности [7].

При всем том, что вычислительные инструменты становятся обычным явлением в математике и естественных науках, имеются некоторые трудности, препятствующие их продуктивной интеграции в образовательном процессе [8; 9]. S. K. Nordby и др. считают, что основная проблема с большинством (если не со всеми) из этих инструментов состоит в том, что занятия, включающие их использование, как правило, нивелируют математическую составляющую [10]. Ученые настаивают на том, чтобы основной целью деятельности учащихся по математике являлось обучение математике, только тогда вычислительные средства станут убедительным и обоснованным примером ее практического применения в современном цифровом мире.

В контексте вычислительных практик L. Lv, B. Zhong и X. Liu указывают на ограниченность конкретного математического содержания числами, операциями и темами по геометрии [11]. В понимании авторов необходимо расширить интегрирующий математический контент. Также по их заключению дальнейшего внимания заслуживают следующие аспекты, позволяющие свести к минимуму потенциальные затруднения со стороны самих учащихся. Во-первых, целесообразно разрабатывать математические задачи таким образом, чтобы избежать дополнительной когнитивной нагрузки. Во-вторых, предварительно знакомить обучающихся с вычислительными инструментами и особенностями их применения, чтобы связать их с математикой естественным и подлинным способом. В-третьих, представляется важным заблаговременно осознать различия и синергию между математическим и вычислительным мышлением. Например, по утверждению С.-К. Looi и коллег, общими концепциями между ними могли бы стать решение проблем, моделирование, анализ и интерпретация данных, теория фракталов [12].

Цель исследования – прояснить с помощью конкретных примеров и апробировать математические темы и педагогические подходы к интеграции вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки, а также определить степень такой интеграции.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Согласно О. Т. Kaufmann и В. Stenseth взаимосвязь между вычислительным мышлением и математикой обсуждается преимущественно через концепцию решения проблем, поскольку вычислительное мышление можно рассматривать как набор методов, включающих выражение проблем и их решений способами, которые может выполнить компьютер [13]. По высказыванию М. Dahshan и Т. Galanti, естественная и историческая синергия между вычислительным мышлением и математикой проистекает из общего акцента на поиске закономерностей и обобщении количественных отношений, а их интеграция позволяет углубить математические знания и представления [14].

Проведя аналитический обзор, М. Kallia и соавторы перечисляют навыки вычислительного мышления, важные с точки зрения математического образования. Они включают в себя (но не ограничиваются) абстракцию, декомпозицию, распознавание закономерностей, моделирование, алгоритмизацию, визуализацию, логическое мышление, обобщение, структурирование и анализ данных. Сравнивая указанные навыки с различными наборами навыков вычислительного мышления, описанными в литературе, ученые приходят к выводу, что они по сути совпадают. Исследователи также называют источники интеграции вычислительного и математического мышления, в частности, и то и другое используется для решения проблем, формирования у учащихся стиля мышления и практики, отражающих способы познания реального мира; такие логические приемы, как абстрагирование и обобщение, являются одними из базовых компонентов математической деятельности; когнитивные действия, лежащие в основе вычислительного мышления (формализация, работа в рамках компьютерной науки, перевод обратно в контекст, проверка адекватности), соответствуют основным этапам математического моделирования [15].

Р. М. Whitney-Smith, описывая опыт внедрения вычислительного мышления в австралийскую национальную программу обучения математике, указывает на математическое моделирование как основу интеграции [16]. По словам автора, процесс математического моделирования с применением вычислительных инструментов достоверно имитирует то, как математики, ученые, представители различных секторов промышленности и экономики работают математически. К. Bråting, С. Kilhamn [17] и О. Т. Kaufmann, В. Stenseth [13] говорят о том, что существуют математические понятия, общие для математики и программирования: переменная, функция, алгоритм, модель, формальные языки. Трактовки данных понятий с пояснением их смысла применительно к естественнонаучному образованию приведены в исследовании В. А. Тестова и Е. А. Перминова [18].

Г. Sala-Sebastià с коллегами констатируют, что в определении учебной программы Министерства образования Испании на самых разных уровнях образования присутствует интеграция между вычислительным и математическим мышлением. Ее основу составляют контекстуализированные проблемы, проектный подход и групповая форма работы. Исследователи отмечают: в программе четко указано, что учащиеся должны использовать вычислительное мышление для моделирования и эффективного решения математических задач, включая такие задачи открытого типа, чтобы их решение могло быть представлено в виде вычислительных шагов или алгоритмов и способствовало приобретению математических знаний [19].

Аналогично W.-R. Wu и K.-L. Yang систематизируют литературу о том, каким образом может быть осуществлена интеграция между математическим и вычислительным мышлением в области математического образования с акцентом на решении задач. Исследователи подчеркивают необходимость приложить дополнительные усилия по их разработке, чтобы реализовывать взаимодополняющую связь между этими двумя видами мышления. Действительно, в процессе обучения математике имеется возможность продемонстрировать реальное применение цифровых инструментов с целью обеспечить понимание изучаемого математического материала; вычислительное мышление, в свою очередь, упрощает вычисления, выполняет абстракцию, создавая и представляя проблемы математическим способом, вследствие чего на первый план выходит актуальность

математики в различных дисциплинах и современном мире. В заключение авторы признают роль вычислительного мышления как средства формирования у учащихся умений мыслить математически и эффективно изучать математику [20].

K. M. Rich, A. Yadav и C. J. Fessler также исследуют тенденцию интеграции вычислительного мышления в математическое образование. Их внимание сосредоточено на важности создания математических задач таким образом, чтобы при работе с ними вычислительное мышление служило инструментом изучения математики. Для этого, по мнению ученых, необходимы дополнения к методическим требованиям, которые предъявляются к самим задачам. В их числе – выявление крупных математических идей, лежащих в основе решения проблем в контексте реального мира; разбиение задачи на части (последовательность подзадач) для снижения когнитивных трудностей учащихся [21].

Следовательно, проблема совершенствования навыков вычислительного мышления в процессе высшего математического образования, формирующего целостное представление об окружающей действительности и месте математики в ней, представляется своевременной и перспективной для студентов различных направлений подготовки, включая естественнонаучное.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Педагогические подходы, обеспечивающие интеграцию вычислительного мышления в математическое образование, устанавливались на основе систематизации и обобщения научно-исследовательской литературы. Математические темы подбирались в соответствии с таксономией навыков вычислительного мышления в математике и научных практиках (The Computational Thinking in Mathematics and Science Practices Taxonomy), созданной D. Weintrop и др. [22]. Данная таксономия конкретизирует применение концепции вычислительного мышления к математике и включает четыре категории практик в области данных, моделирования и имитации, решения вычислительных проблем и системного мышления.

Исследование эффективности отобранных педагогических подходов и разработанных математических тем выполнено на базе Института биологии и биотехнологии Вятского государственного университета в 2023–2024 гг. с применением Шкалы вычислительного мышления (The Computational Thinking Scales, CTS) [23] и кейс-заданий диагностической контрольной работы. Эти задания интегрируют математику и основы эпидемиологических знаний, предоставляя контекстную среду для анализа реальных проблем, что полностью соответствует профилю «Контроль качества лекарственных средств» участвовавших во вмешательстве студентов направления подготовки 06.03.01 Биология, которые произвольным образом были разделены поровну на контрольную (КГ) и экспериментальную группы (ЭГ). При выборе диагностического инструментария мы придерживались точки зрения E. Polat с соавторами о том, что отсутствие общепринятого определения вычислительного мышления влияет на способы его измерения в каждом исследовании и затрудняет сопоставление результатов, следовательно, для всестороннего и полноценного понимания целесообразно использовать различные методы оценки и комбинировать их между собой [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Педагогические подходы, обеспечивающие интеграцию вычислительного мышления в высшее математическое образование. По мнению L. Lv, B. Zhong, X. Liu, выбор подходящих педагогических подходов имеет решающее значение для интеграции математики и вычислительного мышления [11]. Проведенный нами анализ литературы показывает, что большинство ученых фокусируются на проблемно-ориентированном, исследовательском, проектном обучении и групповых формах работы. Проблемно-ориентированное обучение позволяет поместить реальную проблему в контекст [5]. Исследовательское обучение приводит к новым идеям или открытиям в области математики, если перед учащимися ставится открытый вопрос без очевидных решений на основе вычислительного мышления [25]. При этом исследовательская математическая деятельность

выступает базовой практикой работы с интеллектуально сложными задачами с помощью вычислительных инструментов [12]. Проектная деятельность стимулирует обучающихся к решению математических задач с использованием компьютерного программирования в значимом контексте. Однако обучение кодированию не должно становиться самоцелью, а способствовать развитию математического мышления подрастающего поколения в среде, которая поощряет исследование и экспериментирование учащихся в группе [26]. Совместное обучение является ключом к решению сложных вопросов и позволяет людям эффективно общаться, сотрудничать и делиться знаниями друг с другом для коллективного решения проблем [27]. В целом анализ эмпирических данных о включении вычислительного мышления в естественнонаучное образование свидетельствует об успешности использования нескольких педагогических стратегий одновременно [4].

Реализация и проверка эффективности названных педагогических подходов для интеграции вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучного профиля предусматривалась установлением однородности КГ и ЭГ на основании данных CTS-опросника (см. табл. 1) посредством U-критерия Манна-Уитни ($U_{\text{эмп.}} = 525,5$; $U_{\text{кр.}} = 443$ при $p < 0,05$).

Таблица 1

Результаты CTS-опросника

Общий балл	Число студентов		Общий балл	Число студентов		Общий балл	Число студентов	
	КГ	ЭГ		КГ	ЭГ		КГ	ЭГ
77	3		89	1	1	99	3	2
78		2	90		3	100	3	3
79		1	91		1	101	3	
81		1	92	3	1	102	1	
82	1	1	93	1		105		2
84	3		94		1	106		1
85	1		95	1	2	108	1	
86		2	96	1	2	109		2
87		1	97	3	2	111	2	
88	1	1	98	1	2	114	1	

Математические темы, лежащих в основе интеграции вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки. Для ответа на второй исследовательский вопрос проиллюстрируем ряд математических тем, которые обеспечили интеграцию вычислительного мышления в процесс обучения математике студентов ЭГ на основе выделенных педагогических подходов (в КГ целенаправленное развитие вычислительного мышления не велось). Все предложенные темы актуальны и в то же время доступны для реализации; применительно к реальным проблемам демонстрируют принципиальную важность и практическую необходимость приобретения математических навыков и навыков вычислительного мышления.

В соответствии с описанием М. Kallia и др. работа над каждой заявленной темой производилась по плану: формулирование и при необходимости декомпозиция проблем таким образом, чтобы студенты могли использовать компьютер и другие инструменты для их решения; логическая организация, анализ и визуализация данных; их представление с помощью абстракций, в частности математических моделей; автоматизация решения с помощью алгоритмического мышления; распознавание, анализ и применение возможных вариантов решения с позиции наиболее эффективной и действенной комбинации имеющихся ресурсов; обобщение и перенос этой процедуры на решение других проблем [15].

Подчеркнем, что использование вычислительных инструментов происходило не на каждом занятии по математике, а там, где это было уместно (например, отсутствовало аналитическое решение или требовалась автоматизация вычислительных процедур для сложных, труднообразимых выражений), целесообразно с точки зрения мотивации обучающихся и демонстрации того, как математические методы применяются в реальных условиях. Вместе с тем наши усилия

были направлены на то, чтобы в каждом разделе высшей математики выделить темы, предусматривающие развитие вычислительных навыков студентов ЭГ. Приведем примеры.

При обучении линейной алгебре студентам – будущим биологам было предложено поработать над проблемой федерального значения – осуществить моделирование динамики численности популяции амурского тигра, обитающего на Дальнем Востоке Российской Федерации, на основе матричных моделей Лесли. С помощью программирования на Python обучающиеся нашли главное собственное значение матрицы Лесли, характеризующее скорость, с которой размножается популяция, когда ее возрастная структура стабилизировалась, и координаты соответствующего собственного вектора, отражающего устойчивую структуру популяции. Также была проведена серия численных экспериментов с целью подобрать коэффициенты выживаемости таким образом, чтобы значения численности популяции, найденные путем вычислений, в наибольшей степени соответствовали официальным данным переписей с 1959–2015 гг.

Рассматриваемые в курсе дифференциального исчисления понятия первой производной как скорости изменения различных процессов и второй производной были востребованы при исследовании реальной проблемы глобального характера – пандемии COVID-19. Цель этого исследования состояла в том, чтобы по эпидемиологической кривой в логарифмическом масштабе определить примерное время, начиная с которого скорость заражения замедляется. Помимо формирования вычислительных навыков актуальность проведенной работы заключалась также в том, что систематически используемая СМИ логарифмическая кривая вследствие возможных затруднений при ее интерпретации может служить источником некорректной визуализации. Во избежание когнитивных трудностей со стороны студентов их деятельность с нелинейными шкалами осуществлялась в формате лабораторной работы с привлечением вычислительных средств.

При изучении тем по теории функции нескольких переменных перед участниками опытно-экспериментальной работы была поставлена задача оптимизировать форму биотехнологического аппарата, спроектированного в виде цилиндра, сверху и снизу ограниченного полуповерхностями в форме эллипсоида вращения. Поиск и обоснование минимальной площади его общей поверхности требовал вычисления первой и второй производных, которые записываются громоздкими выражениями, и в целом получение аналитического решения не представляется возможным. Применение вычислительных инструментов позволило получить аппроксимационные формулы для инженерных расчетов.

Экспериментальные и прикладные аспекты теории обыкновенных дифференциальных уравнений были проиллюстрированы студентам ЭГ на примере выполнения кейс-заданий, в которых требовалось построить экспоненциальную и логистическую модели заражения COVID-19. Источником данных служил ресурс <https://coronavirus-monitor.info/country/russia/kirovskaya-oblast/>, содержащий информацию о подтвержденных случаях заболеваемости в Кировской области.

Решение заданий по оптимизации различных производственных процессов в растениеводческой отрасли, например моделирование оптимальной структуры посевных площадей или размещения культур в севообороте, в среде Excel возможно при изучении методов линейного программирования. Известно, что вручную такие задачи могут быть реализованы только при малом количестве переменных, однако, расчет структуры реальных посевных площадей с учетом двух севооборотов, в частности, 8-польного и 10-польного потребует введения двадцати двух переменных и составления двадцати восьми ограничений. Очевидно, что решение подобной задачи невозможно без применения компьютера.

Изучение раздела «Дискретная математика» позволяет показать роль математического понятия фрактала как средства описания природных явлений, включая листья растений, раковины моллюсков, рельеф горного хребта. В частности, обучающимся было предложено составить фрактальное изображение листа папоротника.

В процессе освоения математической статистики студенты ЭГ применили метод флуктуирующей асимметрии для листа березы повислой с целью изучения качества окружающей среды на четырех участках г. Кирова, два из которых являются местами отдыха гостей и жителей города (сквер у дома архитектора А. Л. Витберга и Александровский сад), два другие расположены на пересечении крупных транспортных магистралей в районе железнодорожного вокза-

ла и автовокзала (ул. Комсомольская д. 37 и д. 39), а также перекрестка ул. Дзержинского и Октябрьского проспекта.

Ценность описанного исследования определяется не только тем, что обучающиеся были обеспечены возможностью приобрести практический опыт работы над реальной экологической проблемой регионального значения, но и реализовать все этапы статистического исследования, включая самостоятельный сбор данных и их автоматизированный анализ. Обучить этим этапам на занятиях по математике, как правило, не представляется возможным, поскольку основное внимание уделяется несложным наборам готовых учебных данных и ручному вычислению требуемых статистических показателей. Таким образом, осуществлялось одновременное совершенствование вычислительной культуры и статистической грамотности испытуемых и вовлечение их в деятельность, присущую реальному научному эксперименту с применением современных вычислительных средств.

Придерживаясь позиции Т. S. S. Rao и К. K. Bhagat [28], согласно которой оценка вычислительного мышления будет эффективной, если она проста в реализации, фиксирует результаты обучения по конкретной учебной программе (в нашем случае – по математике) в практической деятельности обучающихся, повторная диагностика вычислительных навыков студентов производилась с помощью решения кейс-заданий диагностической контрольной работы по эпидемиологическим темам исходя из реальных данных.

Первые три ее задачи составлены Р. О. Gilchrist с коллегами в соответствии с упоминаемой таксономией D. Weintrop и др. и направлены на исследование патогенов и пор материалов, применяемых для изготовления масок для лица; расчет средних показателей и скорости размножения бактерий в симуляторах эпидемий; разработку собственного симулятора вспышки инфекционного заболевания [25]. Следующие три математические задачи предложены М. Schonger и D. Sele и нацелены на сравнение экспоненциального и линейного роста в контексте пандемии COVID-19 в мире [29]. Последнее задание сформулировано нами и содержит открытый вопрос, ответ на который подразумевает визуализацию SIR-модели посредством построения трех графиков, изображающих соответственно количество восприимчивых, инфицированных и выздоровевших жителей Кировской области, на основе данных ресурса <https://gogov.ru/covid-19/krv> со сведениями о подтвержденном числе зараженных и выздоровевших в регионе.

Доля студентов (в %), выполнивших семь заданий кейсов, в КГ составила 76, 47, 12, 62, 59, 32, 6; в ЭГ – 97, 88, 65, 91, 82, 68, 53. Количественный анализ полученных результатов на основе U-критерия Манна-Уитни подтвердил достоверность различий ($U_{\text{эмп.}} = 5$, $U_{\text{кр.}} = 6$ при $p < 0,01$).

Степень интеграции вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучного профиля. При ответе на последний исследовательский вопрос о степени интеграции вычислительного мышления в математическое образование с опорой на выполненный анализ литературы и опытное преподавание отметим, что вычислительное мышление может служить как средством, так и целью обучения математике на его основе. В первом случае у обучающихся формируется способность распознавать те аспекты математических задач, которые подходят для вычислительной практики, а также оценивать и разрабатывать алгоритмические решения, реализуемые с помощью компьютера. Во втором случае обучение математике с акцентом на развитие вычислительного мышления нацелено на то, чтобы выработать у студентов набор когнитивных навыков решения сложных проблем с использованием цифровых технологий. Подобная интеграция открывает новые возможности изучения математики, в конечном итоге трансформируя традиционные взгляды на природу самой математики и ее значение в современном мире.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом изложенные результаты согласуются с предыдущими выводами о том, что вычислительное мышление эффективно развивается в процессе математической деятельности. Так, Н. Ye с соавторами в ответ на два аналогичных исследовательских вопроса о том, целесообразно ли разрабатывать задачи, решение которых опирается на программирование для глубокого понимания математики, или использовать математику для улучшения навыков решения проблем,

предполагают ответ: и то, и другое. Согласно размышлениям ученых целевая область математики может служить контекстом для создания и применения практик вычислительного мышления, а также предоставлять учащимся новые, вычислительно-облегченные подходы для изучения дисциплинарных математических идей [5].

Аналогично Р. О. Gilchrist и коллеги в своем исследовании представили эпидемиологию как современную тему, которая аутентично интегрирует навыки решения проблем, математического и вычислительного мышления. Все предложенные авторами уроки были основаны на проблемно-ориентированном и исследовательском подходах, что, по их утверждению, позволило обучающимся работать с данными осознанным образом, повышая способность мыслить вычислительно [25].

Е. Lockwood с соавторами также использовали таксономию практик вычислительного мышления D. Weintrop и др., чтобы показать, каким образом комбинаторные знания студентов обогащались и углублялись их вычислительной деятельностью в контексте программирования на Python [30].

Следуя за мыслью S. K. Nordby и др. [10], реализованной ими с учащимися Норвегии, в настоящем исследовании мы отстаиваем принцип математической содержательности и делаем акцент не на освоении вычислительных инструментов, а на интеллектуальной деятельности, исключая из рассмотрения задачи, в которых математический аппарат выполняет вспомогательную функцию, а главная идея состоит в применении вычислительных средств. Такие задачи целесообразно решать в рамках соответствующих дисциплин.

В представленной работе цели обучения математике помимо прочего заключались также в том, чтобы дать обучающимся возможность использовать математические методы для получения ответов на открытые вопросы, распознавать реальные проблемы, поддающиеся анализу с точки зрения математики, строить математические модели и применять вычислительные практики для их исследования. Ранее С.-К. Looi и его коллеги руководствовались схожими соображениями при организации занятий по математическому моделированию с ориентацией на развитие вычислительного мышления учащихся в Сингапуре [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования получены ответы на вопросы, поставленные в начале статьи о педагогических подходах и темах, обеспечивающих интеграцию вычислительного мышления в математическое образование студентов естественнонаучных направлений подготовки, а также о степени подобной интеграции. В результате аналитического обзора литературы и опытно-экспериментальной работы установлено, что проблемно-ориентированное, исследовательское и проектное обучение, групповые формы работы позволяют в значительной степени совместить процесс обучения математике в вузе с развитием вычислительного мышления обучающихся. Практически все разделы высшей математики обладают образовательным и прикладным потенциалом для такого развития. Для его реализации особо рекомендуется сочетать изучение математических тем с решением реальных задач, в которых формируются вычислительные навыки, при этом само вычислительное мышление может выступать как средство и цель современного математического образования студентов естественнонаучного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хеннер Е. К. Вычислительное мышление в контексте высшего образования: аналитический обзор // Образование и наука. 2024. № 2 (26). С. 35–59. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59
2. UNESCO: A Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2. URL: <https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/ip51-global-framework-reference-digital-literacy-skills-2018-en.pdf> (дата обращения 10.09.2024).
3. Калинин С. И., Торопова С. И. Трансдисциплинарный подход как ресурс развития критического мышления в высшем математическом образовании // Перспективы науки и образования. 2024. № 4 (70). С. 54–66. DOI: 10.32744/pse.2024.4.4

4. Ogegbo A. A., Ramnarain U. A systematic review of computational thinking in science classrooms // *Studies in Science Education*, 2022, vol. 58 (2), pp. 203–230. DOI: 10.1080/03057267.2021.1963580
5. Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: a systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning // *International Journal of STEM Education*, 2023, vol. 10. DOI: 10.1186/s40594-023-00396-w
6. OECD: PISA 2022: Mathematics Framework (draft). URL: <https://pisa2022-maths.oecd.org/ca/index.html#Mathematical-Reasoning> (дата обращения 15.09.2024).
7. Helsa Y., Turmudi, Juandi D. TPACK-based hybrid learning model design for computational thinking skills achievement in mathematics // *Journal on Mathematics Education*, 2023, vol. 14 (2), pp. 225–252. DOI: 10.22342/jme.v14i2.pp225-252
8. Aminah N., Sukestiyarno Y. L., Cahyono A. N., Maat S. M. Student activities in solving mathematics problems with a computational thinking using Scratch // *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 2023, vol. 12 (2), pp. 613–621. DOI: 10.11591/ijere.v12i2.23308
9. Ersozlu Z., Swartz M., Skourdoumbis A. Developing Computational Thinking through Mathematics: An Evaluative Scientific Mapping // *Education Sciences*, 2023, vol. 13 (4). DOI: 10.3390/educsci13040422
10. Nordby S. K., Mifsud L., Bjerke A. H. Computational thinking in primary mathematics classroom activities // *Frontiers Education*, 2024, vol. 9. DOI: 10.3389/feduc.2024.1414081
11. Lv L., Zhong B., Liu X. A literature review on the empirical studies of the integration of mathematics and computational thinking // *Education and Information Technologies*, 2023, vol. 28, pp. 8171–8193. DOI: 10.1007/s10639-022-11518-2
12. Looi C.-K., Chan S.-W., Wu L., Huang W., Kim M. S., Sun D. Exploring Computational Thinking in the Context of Mathematics Learning in Secondary Schools: Dispositions, Engagement and Learning Performance // *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2024, vol. 22, pp. 993–1011. DOI: 10.1007/s10763-023-10419-1
13. Kaufmann O. T., Stenseth B. Programming in mathematics education // *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 2020, vol. 52 (7), pp. 1029–1048. DOI: 10.1080/0020739X.2020.1736349
14. Dahshan M., Galanti T. Teachers in the Loop: Integrating Computational Thinking and Mathematics to Build Early Place Value Understanding // *Education Sciences*, 2024, vol. 14 (2). DOI: 10.3390/educsci14020201
15. Kallia M., van Borkulo S. P., Drijvers P., Barendsen E., Tolboom J. Characterising computational thinking in mathematics education: a literature-informed Delphi study // *Research in Mathematics Education*, 2021, vol. 23 (2), pp. 159–187. DOI: 10.1080/14794802.2020.1852104
16. Whitney-Smith R. M. The emergence of computational thinking in national mathematics curricula: An Australian example // *Journal of Pedagogical Research*, 2023, vol. 7 (2), pp. 41–55. DOI: 10.33902/JPR.202318520
17. Bråting K., Kilhamn C. Exploring the intersection of algebraic and computational thinking // *Mathematical Thinking and Learning*, 2021, vol. 23 (2), pp. 170–185. DOI: 10.1080/10986065.2020.1779012
18. Тестов В. А., Перминов Е. А. Трансдисциплинарная роль физико-математических дисциплин в современном естественно-научном и инженерном образовании // *Образование и наука*. 2023. № 7 (25). С. 14–43. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-7-14-43
19. Sala-Sebastià G., Breda A., Seckel M. J., Farsani D., Alsina À. Didactic–Mathematical–Computational Knowledge of Future Teachers When Solving and Designing Robotics Problems // *Axioms*, 2023, vol. 12 (2). DOI: 10.3390/axioms12020119
20. Wu W.-R., Yang K.-L. The relationships between computational and mathematical thinking: A review study on tasks // *Cogent Education*, 2022, vol. 9 (1). DOI: 10.1080/2331186X.2022.2098929
21. Rich K. M., Yadav A., Fessler C. J. Computational thinking practices as tools for creating high cognitive demand mathematics instruction // *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2024, vol. 27, pp. 235–255. DOI: 10.1007/s10857-022-09562-3
22. Weintrop D., Beheshti E., Horn M., Orton K., Jona K., Trouille L., Wilensky U. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms // *Journal of Science Education and Technology*, 2016, vol. 25 (1), pp. 127–147. DOI: 10.1007/s10956-015-9581-5
23. Korkmaz O., Çakir R., Ozden M. Y. A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS) // *Computers in Human Behavior*, 2017, vol. 72, pp. 558–569. DOI: 10.1016/j.chb.2017.01.005
24. Polat E., Hopcan S., Kucuk S., Sisman B. A comprehensive assessment of secondary school students' computational thinking skills // *British Journal of Educational Technology*, 2021, vol. 52 (5), pp. 1965–1980. DOI: 10.1111/bjet.13092
25. Gilchrist P. O., Alexander A. B., Green A. J., Sanders F. E., Hooker A. Q., Reif D. M. Development of a Pandemic Awareness STEM Outreach Curriculum: Utilizing a Computational Thinking Taxonomy Framework // *Education Sciences*, 2021, vol. 11 (3). DOI: 10.3390/educsci11030109
26. Beatty R., Clyne C., Muma L.-A., Parkinson J., Sears B. Developing Computational Thinking Using LYNX for Loom Beading Designs in Grade 5 // *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2024. DOI: 10.1007/s42330-024-00330-4
27. Zhang J., Zhou Y., Jing B., Pi Z., Ma H. Metacognition and Mathematical Modeling Skills: The Mediating Roles of Computational Thinking in High School Students // *Journal of Intelligence*, 2024, vol. 12 (6). DOI: 10.3390/jintelligence12060055
28. Rao T. S. S., Bhagat K. K. Computational thinking for the digital age: a systematic review of tools, pedagogical strategies, and assessment practices // *Education Technology Research and Development*, 2024,

- vol. 72 (4), pp. 1893–1924. DOI: 10.1007/s11423-024-10364-y
29. Schonger M., Sele D. Intuition and exponential growth: bias and the roles of parameterization and complexity // *Mathematischen Semesterberichte*, 2021, vol. 68, pp. 221–235. DOI: 10.1007/s00591-021-00306-7
30. Lockwood E., De Chenne A. Enriching Students' Combinatorial Reasoning through the Use of Loops and Conditional Statements in Python // *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 2020, vol. 6, pp. 303–346. DOI: 10.1007/s40753-019-00108-2

REFERENCES

1. Khenner E. K. Computational thinking in the context of higher education: Analytical review. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*, 2024, vol. 26, no. 2, pp. 35–59. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59 (In Russ.)
2. UNESCO: A Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2. Available at: <https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/ip51-global-framework-reference-digital-literacy-skills-2018-en.pdf> (accessed 10 September 2024).
3. Kalinin S. I., Toropova S. I. Transdisciplinary approach as a resource for the development of critical thinking in higher mathematical education. *Perspektivy nauki i obrazovania = Perspectives of Science and Education*, 2024, vol. 70 (4), pp. 54–66. DOI: 10.32744/pse.2024.4.4 (In Russ.)
4. Ogegbo A. A., Ramnarain U. A systematic review of computational thinking in science classrooms. *Studies in Science Education*, 2022, vol. 58, iss. 2, pp. 203–230. DOI: 10.1080/03057267.2021.1963580
5. Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: a systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. *International Journal of STEM Education*, 2023, vol. 10. DOI: 10.1186/s40594-023-00396-w
6. OECD: PISA 2022: Mathematics Framework (draft). Available at: <https://pisa2022-maths.oecd.org/ca/index.html#Mathematical-Reasoning> (accessed 15 September 2024).
7. Helsa Y., Turmudi, Juandi D. TPACK-based hybrid learning model design for computational thinking skills achievement in mathematics. *Journal on Mathematics Education*, 2023, vol. 14, no. 2, pp. 225–252. DOI: 10.22342/jme.v14i2.pp225-252
8. Aminah N., Sukestiyarno Y. L., Cahyono A. N., Maat S. M. Student activities in solving mathematics problems with a computational thinking using Scratch. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 2023, vol. 12, no. 2, pp. 613–621. DOI: 10.11591/ijere.v12i2.23308
9. Ersozlu Z., Swartz M., Skourdoumbis A. Developing Computational Thinking through Mathematics: An Evaluative Scientific Mapping. *Education Sciences*, 2023, vol. 13, no. 4. DOI: 10.3390/educsci13040422
10. Nordby S. K., Mifsud L., Bjerke A. H. Computational thinking in primary mathematics classroom activities. *Frontiers Education*, 2024, vol. 9. DOI: 10.3389/educ.2024.1414081
11. Lv L., Zhong B., Liu X. A literature review on the empirical studies of the integration of mathematics and computational thinking. *Education and Information Technologies*, 2023, vol. 28, pp. 8171–8193. DOI: 10.1007/s10639-022-11518-2
12. Looi C.-K., Chan S.-W., Wu L., Huang W., Kim M. S., Sun D. Exploring Computational Thinking in the Context of Mathematics Learning in Secondary Schools: Dispositions, Engagement and Learning Performance. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2024, vol. 22, pp. 993–1011. DOI: 10.1007/s10763-023-10419-1
13. Kaufmann O. T., Stenseth B. Programming in mathematics education. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 2020, vol. 52, iss. 7, pp. 1029–1048. DOI: 10.1080/0020739X.2020.1736349
14. Dahshan M., Galanti T. Teachers in the Loop: Integrating Computational Thinking and Mathematics to Build Early Place Value Understanding. *Education Sciences*, 2024, vol. 14, no. 2. DOI: 10.3390/educsci14020201
15. Kallia M., van Borkulo S. P., Drijvers P., Barendsen E., Tolboom J. Characterising computational thinking in mathematics education: a literature-informed Delphi study. *Research in Mathematics Education*, 2021, vol. 23, no. 2, pp. 159–187. DOI: 10.1080/14794802.2020.1852104
16. Whitney-Smith R. M. The emergence of computational thinking in national mathematics curricula: An Australian example. *Journal of Pedagogical Research*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 41–55. DOI: 10.33902/JPR.202318520
17. Bråting K., Kilhamn C. Exploring the intersection of algebraic and computational thinking. *Mathematical Thinking and Learning*, 2021, vol. 23, no. 2, pp. 170–185. DOI: 10.1080/10986065.2020.1779012
18. Testov V. A., Perminov E. A. Transdisciplinary role of physical and mathematical disciplines in modern natural science and engineering education. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*, 2023, vol. 25, no. 7, pp. 14–43. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-7-14-43 (In Russ.)
19. Sala-Sebastià G., Breda A., Seckel M. J., Farsani D., Alsina À. Didactic–Mathematical–Computational Knowledge of Future Teachers When Solving and Designing Robotics Problems. *Axioms*, 2023, vol. 12, no. 2. DOI: 10.3390/axioms12020119
20. Wu W.-R., Yang K.-L. The relationships between computational and mathematical thinking: A review study on tasks. *Cogent Education*, 2022, vol. 9, no. 1. DOI: 10.1080/2331186X.2022.2098929
21. Rich K. M., Yadav A., Fessler C. J. Computational thinking practices as tools for creating high cognitive demand mathematics instruction. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2024, vol. 27, pp. 235–255.

- DOI: 10.1007/s10857-022-09562-3
22. Weintrop D., Beheshti E., Horn M., Orton K., Jona K., Trouille L., Wilensky U. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 127–147. DOI: 10.1007/s10956-015-9581-5
 23. Korkmaz O., Çakir R., Ozden M. Y. A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS). *Computers in Human Behavior*, 2017, vol. 72, pp. 558–569. DOI: 10.1016/j.chb.2017.01.005
 24. Polat E., Hopcan S., Kucuk S., Sisman B. A comprehensive assessment of secondary school students' computational thinking skills. *British Journal of Educational Technology*, 2021, vol. 52, no. 5, pp. 1965–1980. DOI: 10.1111/bjet.13092
 25. Gilchrist P. O., Alexander A. B., Green A. J., Sanders F. E., Hooker A. Q., Reif D. M. Development of a Pandemic Awareness STEM Outreach Curriculum: Utilizing a Computational Thinking Taxonomy Framework. *Education Sciences*, 2021, vol. 11, no. 3. DOI: 10.3390/educsci11030109
 26. Beatty R., Clyne C., Muma L.-A., Parkinson J., Sears B. Developing Computational Thinking Using LYNX for Loom Beading Designs in Grade 5. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2024. DOI: 10.1007/s42330-024-00330-4
 27. Zhang J., Zhou Y., Jing B., Pi Z., Ma H. Metacognition and Mathematical Modeling Skills: The Mediating Roles of Computational Thinking in High School Students. *Journal of Intelligence*, 2024, vol. 12, no. 6. DOI: 10.3390/jintelligence12060055
 28. Rao T. S. S., Bhagat K. K. Computational thinking for the digital age: a systematic review of tools, pedagogical strategies, and assessment practices. *Education Technology Research and Development*, 2024, vol. 72, no. 4, pp. 1893–1924. DOI: 10.1007/s11423-024-10364-y
 29. Schonger M., Sele D. Intuition and exponential growth: bias and the roles of parameterization and complexity. *Mathematischen Semesterberichte*, 2021, vol. 68, pp. 221–235. DOI: 10.1007/s00591-021-00306-7
 30. Lockwood E., De Chenne A. Enriching Students' Combinatorial Reasoning through the Use of Loops and Conditional Statements in Python. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 2020, vol. 6, pp. 303–346. DOI: 10.1007/s40753-019-00108-2

Авторы

Калинин Сергей Иванович
(Россия, Киров)

Профессор, доктор педагогических наук,
профессор кафедры фундаментальной математики
Вятский государственный университет
E-mail: kalinin_gu@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-5439-9414
Scopus Author ID: 57205334852

Торопова Светлана Ивановна
(Россия, Киров)

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры
фундаментальной математики
Вятский государственный университет
E-mail: svetori82@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-0533-5654
Scopus Author ID: 57207460543

Authors

Sergey I. Kalinin
(Russia Kirov)

Professor, Dr. Sci. (Educ.), Professor of the Department of
Fundamental Mathematics
Vyatka State University
E-mail: kalinin_gu@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-5439-9414
Scopus Author ID: 57205334852

Svetlana I. Toropova
(Russia Kirov)

Cand. Sci. (Educ.), Associate Professor of the Department of
Fundamental Mathematics
Vyatka State University
E-mail: svetori82@mail.ru
ORCID ID: 0000-0003-0533-5654
Scopus Author ID: 57207460543

Вклад авторов

Калинин С. И.: концептуализация, методология,
создание рукописи и ее редактирование, руководство
исследованием
Торопова С. И.: верификация данных, формальный
анализ, проведение исследования, создание черновика
рукописи, визуализация

Author's contribution

Sergey I. Kalinin: Conceptualization, Methodology, Writing -
Review & Editing, Supervision
Svetlana I. Toropova: Validation, Formal analysis,
Investigation, Writing - Original Draft, Visualization

© Калинин С. И., Торопова С. И., 2025

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

© Sergey I. Kalinin, Svetlana I. Toropova, 2025

The author's declared no conflicts of interest