

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 378

DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МЫШЛЕНИЕ В КОНТЕКСТЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Е. К. Хеннер

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,
Россия.*

E-mail: ehenner@psu.ru

Аннотация. Введение. Вычислительное мышление – одна из тех категорий, которыми в настоящее время оценивается качество подготовленности людей к жизни, учебной и профессиональной деятельности в современном мире, насыщенном информационными технологиями и цифровыми инструментами. Многие вопросы, связанные с тематикой вычислительного мышления применительно к студентам вузов, остаются пока недостаточно изученными, существенно слабее, чем применительно к общему образованию.

Целью статьи является как обсуждение сущности понятия «вычислительное мышление», так и главным образом состава его структурных элементов, способов их формирования и оценивания на уровне высшего образования. Дополнительная цель – сопоставить требования к имеющим сходства и различия вычислительному мышлению и цифровым компетенциям студентов вузов.

Методология, методы и методики. Исследование носит обзорный характер и имеет теоретический и прикладной аспекты. За исключением нескольких принципиально важных работ общего характера, в которых раскрывается само понятие «вычислительное мышление», проанализированы в основном обзорные публикации не старше пяти лет с целью выявить и систематизировать современные решения, относящиеся к цели работы.

Результаты и научная новизна. Анализ базовых понятий, связанных с вычислительным мышлением, показал, что на уровне определений, в силу их определенной абстрактности, вычислительное мышление студентов вузов не обладает особой спецификой перед вычислительным мышлением школьников. Такая специфика проявляется на уровне перечня когнитивных и некогнитивных навыков, ассоциируемых с вычислительным мышлением, требований к уровню их сформированности и способов оценивания. В вычислительном мышлении когнитивные навыки – это абстрагирование, декомпозиция, распознавание закономерностей, алгоритмизация, визуализация, логическое мышление, способность к коммуникационному, представлению, структурированию и анализу данных и некоторые другие. Среди некогнитивных навыков выделяют веру в себя, коммуникабельность, гибкость и другие.

Среди методов оценивания сформированности вычислительного мышления студентов фигурируют результаты решения задач в средах блочного программирования, таких как Scratch; тесты на знания/навыки, самооценочные шкалы/опросы; тесты на знание основ вычислительного мышления, интервью и наблюдения; собеседования, оценки за задания/курсы, опросы/анкеты, решение проблем, внешних по отношению к классу; использование специального программного окружения, использование критериев оценки вычислительного мышления и/или психометриче-

ских инструментов; оценки, основанные на решении роботизированных задач или оценивания артефактов, созданных в процессе игры, и другие.

Сопоставление вычислительного мышления с цифровыми компетенциями на уровне навыков приводит к выводу, что в вычислительном мышлении навыки представляют собой некоторый фиксированный набор метанавыков, необходимых студенту безотносительно к решению конкретных задач (например, навык абстрагирования), а в цифровых компетенциях они специфицируются по многочисленным видам и носят более конкретный характер.

Практическая значимость. Результаты работы могут быть использованы при проектировании программ формирования вычислительного мышления и цифровых компетенций студентов вузов.

Ключевые слова: вычислительное мышление, студенты вузов, методы оценивания, цифровые компетенции.

Для цитирования: Хеннер Е. К. Вычислительное мышление в контексте высшего образования: аналитический обзор // Образование и наука. 2024. Т. 26, № 2. С. 35–59. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59

COMPUTATIONAL THINKING IN THE CONTEXT OF HIGHER EDUCATION: ANALYTICAL REVIEW

E. K. Khennner

Perm State National Research University, Perm, Russia.

E-mail: ehennner@psu.ru

Abstract. Introduction. Computational thinking is one of the categories that currently assess the quality of people's preparedness for life, educational and professional activities in the modern world, saturated with information technologies and digital tools. Many issues related to university students' computational thinking remain insufficiently studied as applied to general education.

Aim. The present research *aims* to discuss the essence of the concept of "computational thinking" and, mainly, the composition of its structural elements, methods of their formation and assessment at the level of higher education; and to compare the requirements for university students' computational thinking and digital competencies, which have similarities and differences.

Methodology and research methods. The present review article has theoretical and applied aspects. Except for several fundamentally important works of general studies, which reveal the concept of "computational thinking", the author analysed mainly review articles published in the past five years in order to identify and systematise modern solutions related to the purpose of the work.

Results and scientific novelty. An analysis of the basic concepts associated with computational thinking showed that at the level of definitions, due to their certain abstractness, the computational thinking of university students does not have much specificity compared to the computational thinking of schoolchildren. This specificity is manifested at the level of the list of cognitive and non-cognitive skills associated with computational thinking, requirements for the level of their development and assessment methods. In computational thinking, cognitive skills include abstraction, decomposition, pattern recognition, algorithmisation, visualisation, logical thinking, communicative competence, the ability to present, structure and analyse data, and some others skills. Non-cognitive skills include self-confidence, communication skills, flexibility, and others.

Methods for assessing the maturity of students' computational thinking include the results of solving problems in block programming environments such as Scratch; knowledge/skill tests, self-assessment scales/surveys; tests on knowledge of the basics of computational thinking, interviews and observations; interviews, grades for assignments/courses, surveys/questionnaires, solving problems external to the class; the use of a special software environment, the use of criteria for assessing computational thinking

and/or psychometric tools; assessments based on solving robotic problems or evaluating artifacts created during the game, and others.

A comparison of computational thinking with digital competencies at the skill level leads to the conclusion that in computational thinking, skills represent a certain fixed set of meta-skills needed by a student regardless of solving specific problems (for example, abstraction skills). In digital competencies, skills are specified according to numerous types and are more specific.

Practical significance. The results of this study can be used in the design of programmes for developing computational thinking and digital competencies of university students.

Keywords: computational thinking, university students, assessment methods, digital competencies.

For citation: Khenner E. K. Computational thinking in the context of higher education: Analytical review. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2024; 26 (2): 35–59. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59

EL PENSAMIENTO COMPUTACIONAL EN EL CONTEXTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR: REVISIÓN ANALÍTICA

E. K. Henner

Universidad Nacional Estatal de Investigación, Perm, Rusia.

E-mail: ehenner@psu.ru

Abstracto. Introducción. El pensamiento computacional es una de esas categorías que actualmente evalúan la calidad de la preparación de las personas para la vida, hacia las actividades educativas y profesionales en el mundo moderno, que a hoy día está saturado de tecnologías de la información y herramientas digitales. Muchas cuestiones relacionadas con el tema del pensamiento computacional en relación con los estudiantes universitarios siguen siendo estudiadas de manera insuficiente, de manera menor, si se compara con la educación general.

Objetivo. El propósito de este artículo, es discutir la esencia del concepto de “pensamiento computacional” y, principalmente, de los elementos estructurales que lo componen, los métodos de su formación y su evaluación a nivel de la educación superior. Un objetivo adicional, es comparar los requisitos tanto de las similitudes y las diferencias referidas al pensamiento computacional y las competencias digitales de los estudiantes universitarios.

Metodología, métodos y procesos de investigación. El estudio es de carácter revisivo y contempla aspectos teóricos y aplicados. Con la excepción de varios trabajos de carácter general fundamentalmente importantes, en los que se revela el concepto mismo de “pensamiento computacional”, donde se han analizado principalmente publicaciones de revisión no mayores de cinco años con el fin de identificar y sistematizar soluciones modernas relacionadas con el propósito del trabajo.

Resultados y novedad científica. El análisis de los conceptos básicos asociados al pensamiento computacional mostró que a nivel de definiciones, y debido a su cierta abstracción, el pensamiento computacional de los estudiantes universitarios no tiene mucha especificidad en comparación con el pensamiento computacional de los escolares. Dicha especificidad se manifiesta a nivel del listado de habilidades cognitivas y no cognitivas asociadas con el pensamiento computacional, los requisitos para el nivel de su desarrollo y los métodos de evaluación. En el pensamiento computacional, las habilidades cognitivas son la abstracción, la descomposición, el reconocimiento de patrones, la algoritmización, la visualización, el pensamiento lógico, la capacidad de comunicar, presentar, estructurar y analizar datos, y otras más. Entre las habilidades no cognitivas se incluyen la confianza en uno mismo, la comunicación, la flexibilidad y otras. Los métodos para evaluar la madurez del pensamiento computacional de los estudiantes incluyen los resultados de la resolución de problemas en entornos de programación de bloques como Scratch; pruebas de conocimientos/habilidades, escalas/encuestas de autoevaluación; pruebas de conocimiento

de los conceptos básicos del pensamiento computacional, entrevistas y observaciones; entrevistas, calificaciones de tareas/cursos, encuestas/cuestionarios, resolución de problemas externos a la clase; uso de un entorno de software especial, uso de criterios para evaluar el pensamiento computacional y/o herramientas psicométricas; evaluaciones basadas en la resolución de problemas robóticos o la evaluación de artefactos creados durante el juego, entre otros. Una comparación del pensamiento computacional con las competencias digitales a nivel de habilidad, lleva a la conclusión de que en el pensamiento computacional las habilidades representan un cierto conjunto fijo de metahabilidades que necesita un estudiante independientemente de la solución de problemas específicos (por ejemplo, habilidades de abstracción), y en las competencias digitales se especifican en numerosos tipos y son más específicas.

Significado práctico. Los resultados del trabajo pueden utilizarse en el diseño de programas para el desarrollo del pensamiento computacional y las competencias digitales de los estudiantes universitarios.

Palabras claves: pensamiento computacional, estudiantes universitarios, métodos de evaluación, competencias digitales.

Para citas: Henner E. K. El pensamiento computacional en el contexto de la educación superior: Revisión analítica. *Obrazovanie i nauka* = Educación y Ciencia. 2024; 26 (2): 35–59. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-2-35-59

Введение

Различные аспекты подготовленности современного человека к жизни, учебе и профессиональной деятельности в «цифровом мире» обозначаются в разных категориях: информационная грамотность, информационная культура, ИКТ-компетентность, цифровая компетентность (цифровые компетенции) и некоторых других. Каждое из этих качеств нуждается в осмыслении и детализации, способах формирования и оценивания; они формируются в рамках формального и неформального образования; некоторые из них (например, цифровые компетенции) имеют уровневую структуру, включают общие и профессионально ориентированные компоненты. Качества эти метапредметны; образовательная область «Информатика и информационные технологии», внося весомый вклад в формирование указанных качеств, вовсе не претендует в этом деле на монополию, несмотря на созвучие названий.

За последние 15 лет к перечисленным выше категориям добавилась еще одна – вычислительное мышление. Как это иногда случается в образовании и не только, некий феномен, который существовал на периферии общественного сознания, будучи выведен на передний край в тот момент, когда на него сложился запрос, мгновенно привлек к себе большое внимание и стал востребованным. Применительно к понятию «вычислительное мышление» (Computational Thinking) сказанное выше о важности в современном мире, наполненном информационными технологиями, относится в полной мере. J. Wing, опубликовавшая в 2006 г. статью с соответствующим названием [1], образно говоря, нажала на спусковой крючок, и к настоящему времени количество публикаций на тему «вычислительное мышление» в англоязычной научно-педагогической литературе измеряется сотнями. Этой теме посвящено уже не только множество оригинальных исследовательских работ, но и больше десяти обзоров; более того, в этом потоке литературы в последние 5 лет появились такие редкие жанры, как «обзор обзоров» (Review of Reviews) и «предвари-

тельный обзор» (Scoping Review), примеры приведены ниже. В отечественной научно-педагогической литературе процесс исследований в области вычислительного мышления существенно менее интенсивен, что, по мнению автора, не соответствует его общенаучной и прикладной значимости.

Цель данной работы – дать обзор проблем и достижений в осознании принципиальной важности и практической необходимости наличия вычислительного мышления студентов – учащихся вузов, способов его формирования и оценивания.

Проблема осознания того, что такое вычислительное мышление применительно к высшему образованию, зачем и как его формировать у студентов вузов, несомненно, является актуальной. В школьном образовании, как отмечают Hubwieser P. с коллегами, цель формирования вычислительного мышления во многих странах заявлена в официальных документах наряду с целью формирования цифровой грамотности как первостепенная [2], потеснив за неполные 10 лет многие традиционные в этой сфере цели; в российском школьном образовании формирование вычислительного мышления также заявлено как стратегическая цель при изучении информатики [3]. Относительно высшего образования такая глобальная цель официального признания пока не получила; нарастающий поток исследований в этой области свидетельствует о том, что это вопрос времени.

Методология, материалы и методы

В процессе работы использовалась методология общенаучного уровня. Исследование носит теоретический и прикладной характер. Учитывая необъятность литературы, посвященной вычислительному мышлению, обозначим рамки выбора источников. За исключением нескольких принципиально важных работ общего характера, не привязанных к уровню обучения, в которых раскрывается само понятие «вычислительное мышление», рассмотрены публикации не старше пяти лет; особое внимание уделяется статьям обзорного характера. Обзор представлений о вычислительном мышлении первых 10 лет его обсуждения (с 2006 по 2015 гг.) можно найти в работе [4]. Как предыдущее, так и текущее обсуждение по большей части базируется на публикациях зарубежных авторов, что отражает реальное внимание к данной проблеме; работы отечественных авторов на эту тему немногочисленны и по большей части также включены в данный обзор. Большинство цитируемых статей находятся в свободном доступе; несколько статей получены после ознакомления с рефератами путем обращения к их авторам через научно-информационную социальную сеть ResearchGate. Те немногие использованные источники, которые не являются научными журналами (отчеты, концепции), имеют высокую профессиональную репутацию.

Практически каждая статья, посвященная вычислительному мышлению, начинается с определений. Поскольку таких определений немало (автор одного из цитируемых ниже обзоров насчитал их более двадцати) и многие из них

интерпретируют одно и то же разными словами, то ограничимся лишь наиболее общими представлениями и принципиальным вопросом о том, в чем состоит специфика вычислительного мышления применительно к высшему образованию для категории «студент вуза».

И в теоретическом, и в практическом аспекте применительно к обсуждаемой проблеме на первом плане в настоящее время стоят следующие вопросы, которым уделялось наибольшее внимание:

- каковы составляющие вычислительного мышления студентов вузов?
- как оценивается уровень сформированности вычислительного мышления студентов вузов?
- как формируется вычислительное мышление студентов вузов?

Внимание многих исследователей привлекает вопрос о соотношении вычислительного мышления с иными категориями понятий, отражающих информационно-технологические аспекты подготовленности людей к жизни и профессиональной деятельности в мире, насыщенном средствами информационных технологий. Наиболее важной из таких категорий является цифровая компетенция (компетентность). В работе проводится анализ сопоставимости этих родственных понятий.

Обзор работ по вычислительному мышлению студентов вузов

Практически в каждой статье, посвященной вычислительному мышлению, цитируется первоначальное описание феномена, данное J. Wing в указанной выше публикации: *«Вычислительное мышление – это мыслительные процессы, участвующие в постановке проблем и их решения таким образом, чтобы решения были представлены в форме, которая может быть эффективно реализована с помощью средств обработки информации»*.

За 18 лет, прошедших с момента появления этой формулировки, она обросла большим количеством интерпретаций и конструктивных описаний элементов, составляющих вычислительное мышление. Подробное обсуждение можно найти, например, в работе P. J. Denning, M. Tedre [5] и монографии тех же авторов [6]. В статье описываются интеллектуальное происхождение и обоснование вычислительного мышления, его цели и центральные концепции, методы и связываемые с ним способы мышления, а также представлены способы анализа вычислительного мышления по различным измерениям, например, с точки зрения широты и глубины, специализации и обобщения, а также развития навыков от новичка до эксперта; в монографии понятие обсуждается также в разрезе разделов компьютеринга и ИТ-образования. При этом авторы, обобщая многочисленные представления о ВМ, дают следующее определение: *«Вычислительное мышление – это умственные навыки и практики для проектирования вычислений, которые заставляют компьютеры выполнять за нас работу, а также для объяснения и интерпретации мира с точки зрения информационных процессов»*. Отметим, что в оригинале то, что переведено выше как

«вычислений», значит *computations*; в английском языке это слово означает математическую процедуру, привязанную к компьютеру (*the actor process of calculating an answer or amount by using a machine*). Это определение также нуждается в детализации, как и данное J. Wing.

Еще одно важное в контексте обсуждения обстоятельство, с точки зрения Denning & Tedre, заключается в том, что доминирующее внимание к вычислительному мышлению на уровне школьного образования² породило упрощенческий подход к его сути. В связи с этим они предлагают выделить в вычислительном мышлении базовую и продвинутую (*advanced*) составляющие; последняя включает те профессиональные навыки в области компьютеринга, без которых деятельность профессионалов в различных областях является невозможной, поскольку алгоритмы и системы разрабатываются с глубоким знанием предметной области. Это принципиально важное утверждение пока, судя по обсуждаемым ниже работам, еще не стало общепринятым.

Как отмечено выше, наибольшее внимание исследователей феномена «вычислительное мышление» привлекает общее (школьное) образование. Связано это, скорее всего, с тем, что именно в школе информатика (*Computer Science*) почти повсеместно изучается как предмет, с которым вычислительное мышление часто ассоциируется. Работы по указанной тематике, связанные с высшим образованием, составляют, по оценке автора, не более 10 % от общего их числа.

Работ, посвященных проблематике «вычислительное мышление студентов вузов», достаточно много. Будем в основном опираться на работы обзорного характера, содержащие анализ разных сторон обсуждаемой проблемы.

Вычислительное мышление всегда ассоциируется с некоторым набором навыков. Минимальный набор, сформировавшийся в исследованиях начального периода и многократно приведенный (с небольшими вариациями) в литературе, включает навыки:

- абстрагирования: способности делать проблему более понятной за счет отбрасывания ненужных деталей;
- декомпозиции: разбиение данных, процессов или проблем на более мелкие части, которые легче анализировать и решать по отдельности;
- распознавания закономерностей: сопоставления разных явлений и наблюдения за ними, поиск и анализ шаблонов (паттернов);
- разработки алгоритма в виде пошаговых инструкций для решения предложенной задачи;
- оценки полученного результата, его соответствия поставленной цели.

Иногда к этому набору когнитивных навыков, рассматриваемых в контексте школьного образования, добавляют навык моделирования, еще реже – программирования.

¹ Cambridge Dictionary on-line. Режим доступа: dictionary.cambridge.org

² Термину «школьное образование» в данном тексте в цитируемых работах зарубежных авторов соответствует термин K-12, означающий диапазон от детского сада до 12 класса общеобразовательной школы.

Во многих работах, в которых вычислительное мышление рассматривается в контексте высшего образования, декларируемый набор навыков существенно шире. Так, в обзоре D. Sondakh [7] приведен перечень навыков, которые разные авторы ассоциируют с вычислительным мышлением:

- абстрагирование;
- оценивание;
- распознавание образов;
- декомпозиция;
- отладка;
- критический анализ;
- алгоритмизация;
- структурирование данных;
- манипулирование данными;
- визуализация;
- анализ данных;
- информационные технологии;
- моделирование;
- решение проблем;
- креативность;
- автоматизация;
- обобщение;
- сотрудничество;
- логическое мышление;
- систематический анализ;
- коммуницирование;
- представление данных.

В том же обзоре отмечается, что для вычислительного мышления важны наряду с когнитивными и некогнитивные навыки:

- уверенность – вера в свои способности решать проблемы;
- коммуникабельность – желание и способность эффективно общаться с другими;
- гибкость – способность справляться с изменениями и открытыми проблемами,
- вовлеченность в обучение и поведенческое взаимодействие (behavioral engagement).

Обзор I. De Jong и J. Jeuring [8] посвящен учебным приемам (interventions) формирования вычислительного мышления в процессе высшего образования. Анализ 49 статей, опубликованных в период с 2011 по 2019 гг., посвященных этому вопросу, приводит авторов обзора к следующим выводам:

- наибольшая часть исследований проводилась в процессе изучения информатики и подготовки учителей (по 14 работ на каждый случай). Остальные

дисциплины из самых разных областей – от математики и биологии до музыки и изобразительного искусства – были представлены одной-двумя работами;

– доминирующим методом обучения были лекции и задания либо только задания. В нескольких случаях авторами было указано «лекции и мероприятия»;

– задания по программированию – наиболее часто используемый вид, однако есть примеры использования и иных видов заданий – как предметно-ориентированных, так и более общего характера. Только в двух случаях были разработаны специальные учебные программы, посвященные вычислительному мышлению. Ни одно из описанных усилий по формированию вычислительного мышления не продолжалось больше одного учебного года, что не позволяет проследить насколько они успешны с точки зрения главной задачи, стоящей перед вычислительным мышлением, – способствовать решению проблем;

– исследователям в данной сфере предстоит проделать большую работу по созданию стандартизированных инструментов уровня сформированности вычислительного мышления, поскольку сопоставить результаты, описанные в разных работах, практически невозможно.

Говоря об определении вычислительного мышления, авторы обзора цитируют приведенные выше определения Wing и Denning&Tedre. Они отмечают несколько попыток дать иные определения, не цитируя их, и суммируют результат следующим образом: «В целом исследователи и преподаватели сходятся во мнении, что вычислительное мышление приводит к новому мышлению о проблемах и их решениях, предоставляя лицам, решающим проблемы, дополнительные инструменты (например, вычислительные устройства) и стратегии или навыки (например, алгоритмы, декомпозиция) для решения сложных проблем».

Обзор F. J. Agbo и др. [9] посвящен работам, в которых исследуется, насколько инструменты вычислительного мышления способствует успешности формирования навыков решения проблем и изучения программирования в вузах. Анализ охватывает 33 работы, выполненные в основном в 2017–2019 гг. Авторы делают вывод о том, что интерес к использованию вычислительного мышления в процессе изучения первокурсниками вводных курсов программирования в высших учебных заведениях растет. Проникновение вычислительного мышления в высшее образование является хорошим знаком для «компьютерного» образования, поскольку оно развивает познавательные способности учащихся и готовит первокурсников к изучению базовых курсов программирования. Авторы рекомендуют сочетать изучение программирования с решением реальных задач, в которых формируются навыки, связываемые с вычислительным мышлением. Перспективным в этом направлении является создание интеллектуальной среды обучения для поддержки обучения программированию на основе подхода, использующего вычислительное мышление. Польза состоит еще и в том, что навыки вычислительного мышле-

ния являются фундаментальными для студентов вузов в целом. Что касается определения базового понятия, то авторы, упомянув об определениях, данных Wing и Denning & Tedre, цитируют операциональное определение, данное в 2011 г. Barr и Stephenson, часто упоминаемое в литературе по вычислительному мышлению. То обстоятельство, что это определение было дано в контексте школьного образования, не снижает его общности.

«Вычислительное мышление – процесс решения проблем, включающий следующие характеристики (но не ограничивающийся ими):

- *формулирование проблем таким образом, чтобы позволить использовать компьютер и другие инструменты для их решения;*
- *логическая организация и анализ данных;*
- *представление данных через абстракции, такие как модели и имитации;*
- *автоматизация решения посредством алгоритмического мышления (сериализация упорядоченных шагов);*
- *выявление, анализ и реализация возможных решений с целью достижения наиболее эффективного и эффективного сочетания шагов и ресурсов;*
- *обобщение и перенос процесса решения данной проблемы на процесс решения широкого круга задач».*

Обзор L. M. C. Castro и др. [10] посвящен в основном существующим практикам оценивания уровня сформированности вычислительного мышления у студентов вузов. На основе анализа 19 статей авторы ищут ответы на вопросы: что эти статьи сообщают нам о практиках и типах оценок, используемых для оценки вычислительного мышления в высшем образовании, и какие концепции вычислительного мышления используются для поддержки указанных оценок. Авторы отмечают, что концепции вычислительного мышления, используемые в общем образовании, применительно к высшему образованию нуждаются в переосмыслении и что они пока не согласованы образовательным сообществом. Следует отметить, что интерес авторов данного обзора в основном сосредоточен на подготовке инженеров. Большая часть работы при оценке вычислительного мышления у студентов указанной категории выполняется в области программирования; при этом часто используется инструмент Scratch, основанный на программировании и позволяющий оценить способность к абстрагированию, параллелизму, логике, синхронизации, управлению потоком данных, интерактивности пользователя и представлению данных. Другой инструмент, используемый рядом исследователей, – задания конкурса Bebras с множественным выбором, позволяющие оценить навыки вычислительного мышления «в чистом виде», а именно абстракцию, декомпозицию, алгоритмическое мышление, обобщение и оценку.

Кроме указанных инструментов, для решения обсуждаемых задач в вузах используются анкеты для самооценки навыков и портфолио.

Подчеркивается, что, хотя программирование является важным инструментом для инженеров, вычислительное мышление предполагает гораздо больше, чем просто способность программировать и разрабатывать онлайн-и-

гры. Авторы приходят к выводу, что пространство оценки вычислительного мышления должно быть сосредоточено на разработке новых специализированных рамок вычислительного мышления для студентов-инженеров и объединении их с инновационными формами оценки, которые нацелены на развитие вычислительных навыков, а также на вычислительную практику и перспективы студентов-инженеров.

Обзор J. A. Lyon и A. J. Magana [11] ставит основной целью определить ключевые области для будущих исследований на основе анализа недавних эмпирических исследований, изучающих вычислительное мышление в контексте преподавания и обучения в рамках высшего образования. В ходе анализа большого массива публикаций авторами обзора были отобраны 13 исследовательских работ, опубликованных в период с 2013 по 2019 гг., в которых описаны используемые методы исследований, целевые группы, педагогические приемы и результаты.

Исследования анализировались по типам методов, целевой группе, роли вычислительного мышления, использованных педагогических разработок. Только 5 работ из числа отобранных базировались на изучении вычислительного мышления в ходе изучения дисциплин группы STEM, а остальные – применительно к студентам, изучающим английский язык, гуманитарные науки и проходящих учительскую подготовку. Но даже в областях, не относящихся к STEM, основное внимание в исследованиях уделялось техническим навыкам, таким как программирование и образовательные технологии, за исключением одного гуманитарного курса, в котором авторы рассматривали использование вычислительного мышления для структурирования профессиональной деятельности. Лишь три работы включали анализ возможностей вычислительного мышления в разрезе учебной программы, остальные ограничивались одним курсом.

Примеры результатов, по которым оценивалась успешность деятельности: «значительное повышение успеваемости учащихся, увеличение как по распространенности, так и по правильности использования вычислительных инструментов», «студенты продемонстрировали способность абстрагировать слои информации», «статистически значимое увеличение понимания вычислительного мышления, повышение интереса к программированию», «студенты высоко оценили курс».

В заключение авторы обзора отмечают, что предстоит еще много работы в области исследований вычислительного мышления. Расплывчатые определения, отсутствие механизмов оценки и отсутствие ясности в отношении использования в аудитории по-прежнему делают вычислительное мышление трудной для изучения концепцией. Будущие исследования, по мнению авторов, должны затем обратиться к трем областям: как операционально определить вычислительное мышление в более широком дисциплинарном контексте, как вычислительное мышление может быть включено в новую педагогику и специально интегрировано в контексты конкретных дисциплин бакалавриата.

Обзор обзоров X. Z. Zhang и M. S. Specht [12] посвящен в основном выявлению конструкторов, методов и их характеристик для проведения оценки вычислительного мышления, а также контекста, в котором эта оценка проводилась. Авторами проанализировано 11 обзоров на предмет выявления указанных характеристик. Наиболее часто встречающиеся в литературе конструкторы (объекты) оценивания таковы:

Категория «концепции вычислительного мышления»:

- алгоритмы / алгоритмическое мышление / навыки алгоритмизации;
- данные, анализ данных, представление данных, сбор данных;
- автоматизация, решения для автоматизации (automation solutions);
- логика и логическое мышление;
- оценивание (evaluation);
- паттерны, распознавание паттернов.

Категория «практики вычислительного мышления»:

- абстрагирование;
- решение проблем;
- модульность, модульное моделирование;
- тестирование и отладка;
- творчество и созидание;
- сотрудничество и кооперирование.

Среди методов оценивания используются:

- результаты решения задач в средах блочного программирования без учета синтаксиса, таких как Scratch;
 - тесты на знания/навыки, самооценочные шкалы/опросы;
 - тесты на знание основ вычислительного мышления, интервью и наблюдения;
 - собеседования, оценки за задания/курсы, опросы/анкеты, решение проблем, внешних по отношению к классу;
 - использование специального программного окружения, критериев оценки вычислительного мышления и/или психометрических инструментов;
 - оценки, основанные на решении роботизированных задач или оценивания артефактов, созданных в процессе игры;
 - оценивание решения задач по программированию на Python;
 - участие студентов в викторинах, проектах;
 - использование нескольких форм оценивания одновременно.
- Среди характеристик оценивания контекста доминируют:
- обеспокоенность тем, насколько академическая дисциплина имеет значение для оцениваемой группы;
 - обеспокоенность уровнем образования для оцениваемой группы;
 - обеспокоенность типом образовательной деятельности, в которой участвует группа;
 - обеспокоенность предпринятыми действиями для развития навыков и/или их соответствующий характеристики.

Подводя итоги, авторы обзора фиксируют, что существующие исследования не применяют никаких рамок оценки или обоснования схемы оценивания. Дизайн оценивания, особенно оценивания для обучения, играет решающую роль в оказании помощи учащимся в освоении навыков, и это надо учитывать при разработке оценки навыков вычислительного мышления.

Обзор С. Lu и др. [13] основное внимание уделяет проблеме оценивания уровня сформированности вычислительного мышления у студентов вузов в различных контекстах. Обзор базируется на анализе 33 эмпирических исследований данной проблемы, выполненных в период с 2013 по 2019 гг.

Авторами были проанализированы и обобщены некоторые аспекты исследований, включая характеристики целевых уровней обучения и программ обучения, инструменты оценки и измерения уровня вычислительного мышления. Большинство исследований охватывали студентов бакалавриата по специальностям, связанным со STEM, таким как информатика, инженерное дело и математика. Анализировались также работы, связанные с оцениванием вычислительного мышления учителей. Среди рассмотренных исследований 48 % базировались на вводных курсах информатики, за которыми следовали курсы начального образования, инженерии, математики и науки о данных. Действия по оцениванию уровня вычислительного мышления по большей части проводились в ходе формального образования; лишь в трех работах оценки КТ проводились в неформальной обстановке, например, на семинарах или онлайн-опросах. Наиболее часто используемые формы оценки в рассмотренных исследованиях базировались на использовании систем блочного программирования (например, Scratch или Alice), текстового (традиционного) программирования, тестов знаний, шкал самооценки, интервью и наблюдения. В большинстве случаев измерялось сочетание когнитивных и некогнитивных навыков с упором на когнитивные навыки. Во всех исследованиях оценивалось знание концепций, в 85 % оценивались практики в 58 % – знание перспектив вычислительного мышления. Среди совокупности навыков, связанных с вычислительным мышлением, в анализируемых работах чаще всего оцениваются алгоритмическое мышление, решение проблем, работа с данными, логическое мышление и абстрагирование.

Статья S. Liu и др. [14], являясь не обзором, а описанием конкретного исследования, привлекла наше внимание тем, что в ней затронута проблема, не фигурировавшая в описанных выше обзорах, а именно: влияние уровня вовлеченности в обучение на формирование вычислительного мышления студентов вуза. Вычислительное мышление студентов исследовалось в пяти измерениях: креативность, алгоритмическое мышление, сотрудничество, критическое мышление и решение проблем. Было установлено, что к началу исследования его участники (более 300 студентов первого курса бакалавриата) обладали только промежуточными уровнями сформированности соответствующих навыков, хотя относились к хорошо образованной группе населения. Результаты исследования показали, что как эмоциональная, так и когнитивная вовле-

ценности положительно влияют на все аспекты вычислительного мышления. Эмоциональная вовлеченность людей (т. е. интерес к обучению, мотивация и отношение) и когнитивная вовлеченность (т. е. мышление, понимание, память и рассуждение) являются критическими факторами для прогнозирования всех аспектов вычислительного мышления – в отличие от поведенческой вовлеченности, которая включает в себя поверхностное поведение учащихся, например, выполнение заданий вовремя, участие в обсуждениях в классе и т. п.

Представляет большой интерес инструментарий исследования – «умный класс», который противопоставляется традиционному мультимедийному классу (одна доска, один компьютер, один проектор и стационарные рабочие места студентов). «Умный класс» обеспечивает многоэкранный демонстрационный режим работы; он оснащен мультимедийной обучающей демонстрационной и операционной платформой, которая объединяет функции традиционных проекторов, телевизоров, компьютеров, электронных досок, колонок и других устройств, которые способны отображать обучающий контент синхронно в процессе группового обсуждения во время занятий. Аудитория оснащена десятками передвижных учебных мест, что позволяет гибко организовывать учебный процесс в соответствии с характером учебных мероприятий и обеспечивать поддержку группового сотрудничества. «Умный класс» также был оснащен соответствующими интеллектуальными системами обучения, такими как учебная платформа Chaoxing. В «умных классах» использовалась технология «перевернутого обучения», в то время как в традиционных мультимедийных классах – лекционный подход.

В исследованиях вычислительного мышления применительно к высшему образованию работы зарубежных авторов доминируют, но важно отметить, что в последние годы данная тематика привлекла и российских исследователей. Соответствующие работы посвящены в основном задаче формирования вычислительного мышления в процессе изучения конкретной дисциплины или группы родственных дисциплин.

В работе М. М. Клунниковой, Н. И. Пака и др. [15] рассмотрен вопрос о формировании вычислительного мышления студентов физико-математического профиля на основе полидисциплинарного подхода в процессе изучения дисциплин «Программирование», «Вычислительные методы» и «Информационные технологии в образовании». Представлено, что указанная задача в рамках кластера дисциплин решается эффективнее, чем в моно-дисциплинарном подходе. При этом авторы исходят из понимания вычислительного мышления как «когнитивного мыслительного процесса, заключающегося в последовательной активации из памяти человека цепочек объектов ментальных схем и карт из области математики и информатики для постановки проблемы и ее эффективного решения с помощью абстрактных инструментов». М. М. Клунникова в работе [16] детализирует методику выработки навыков вычислительного мышления в рамках изучения курса «Численные методы» на основе ви-

зуализации алгоритмических расчетных схем и активизации познавательной самостоятельности студентов.

В цикле работ А. В. Баранова [17–19] рассматривается возможность формирования вычислительного мышления вкупе с компьютерным моделированием при изучении курса физики в техническом университете. Средством достижения цели стало создание программных продуктов, большинство из которых представляют собой интерактивные виртуальные лабораторные работы с динамической 3D-визуализацией моделируемых физических систем и процессов.

Существенно отметить, что в работах, описанных выше, задача формирования вычислительного мышления решалась для студентов, для которых ИТ-образование было базовым, т. е. само это обстоятельство вовсе не гарантирует автоматического наличия вычислительного мышления. Автор данной статьи в собственной образовательной практике не раз убеждался, что свободное владение навыками программирования удивительным образом может сочетаться с очень слабыми навыками, являющимися неотъемлемой частью вычислительного мышления.

Н. В. Чигиринская и др. [20], рассматривая вычислительное мышление как связующее звено между вычислительной математикой и инжинирингом, обсуждают формирование вычислительного мышления у будущих инженеров в процессе изучения курса «Численные методы». Авторы увязывают это обучение с необходимостью выбора рациональных математических методов специалистами указанной категории. Для успешного решения данной задачи, по мнению авторов, необходимо использовать такой педагогический прием, как математическое сопровождение, суть которого раскрыта в работе.

Отдельные аспекты развития вычислительного мышления у разных категорий студентов обсуждаются также в работах [21, 22]. В ряде публикаций (как правило, в материалах конференций) отмечается значимость вычислительного мышления для разных категорий студентов.

Соотнесение вычислительного мышления и цифровых компетенций студентов вузов

Как отмечалось во введении, подготовленность человека к жизни и профессиональной деятельности в «цифровом мире» оценивается по нескольким категориям, и вычислительное мышление – лишь одна из них. Наиболее широкой из категорий, предшествующих институционализации понятия «вычислительное мышление», является ИКТ-компетентность («цифровая компетентность», «цифровые компетенции»). У него немало общего с вычислительным мышлением, и анализ сходств и различий целесообразен.

Указанный вопрос неоднократно обсуждался применительно к педагогическому образованию. В работе А. С. Loureiro и др. [23] проанализированы подходы к вычислительному мышлению в рамках документов, определяющих

цифровые компетенции учителя: ЮНЕСКО¹, Европейского союза², международной ассоциации по развитию информационных технологий ISTE³ и других. Анализ базируется на сопоставлении цифровых компетенций, описанных в этих документах, и навыков вычислительного мышления. Выясняется, в каких областях обширной структуры цифровых компетенций в каждом из указанных документов есть место для вычислительного мышления. Аналогичные исследования под разными углами зрения описаны в работах F. M. Esteve-Mon и др. [24], A. Juskeviciene A. и V. Dagiene [25].

При анализе соотношения цифровых компетенций и вычислительного мышления важно определиться с понятиями «компетенция», «цифровая компетенция», которые имеют, как и вычислительное мышление, несколько определений и сильно зависят от контекста, в котором их используют. Принципиальным для ответа на этот вопрос является то, как соотносятся при разных подходах такие рядоположенные понятия, как «компетенция», «знания», «умения», «навыки». Например, в законе «Об образовании в РФ» сказано: «Обучение – целенаправленный процесс организации деятельности обучающихся по овладению знаниями, умениями, навыками и компетенцией», т. е. понятие «компетенция» обособлено от знаний, умений и навыков. Как следствие, это узаконивает возможность существования беззнанийевых и/или безнавыковых компетенций, узаконивает конструкцию действующих «компетентностных» образовательных стандартов высшего образования, в которых требования к результатам образования (названия компетенций) сформулированы расплывчато, фразами, не подразумевающими возможности измерения и оценивания [26].

Противоположная в этом плане точка зрения состоит в том, что знания и навыки являются неотъемлемой составляющей компетенции. Такая точка зрения явно или неявно отражена во многих отечественных и зарубежных публикациях и в настоящее время доминирует.

В обзоре Computing Curricula 2020⁴ приведена отсылка к понятию «компетенция», описанному в словаре компетенций Гарвардского университета:

«В самом общем смысле компетенции – это „вещи“, которые человек должен продемонстрировать, чтобы быть эффективным в работе, роли, функции, задаче или обязанности. Эти „вещи“ включают поведение, связанное с работой (то, что человек говорит или делает, что приводит к хорошей или плохой работе), мотивацию (как человек относится к работе, организации или географическому местоположению) и технические знания/навыки (то, что человек знает/демон-

¹ UNESCO ICT Competency Framework for Teachers. Version 3. UNESCO. 2018. 66 p. Режим доступа: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721> (дата обращения: 01.11.2023).

² ISTE Standards for Students, Educators, Computer Scientists, Technology Coaches and Administrators by ISTE. Режим доступа: <https://iste.org/standards> (дата обращения: 01.11.2023).

³ The European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu). European Commission. 2017. 93 p. Режим доступа: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en (дата обращения: 01.11.2023).

⁴ Computing Curricula 2020. A Computing Curricula Series Report 2020. Paradigms for Global Computing Education. Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society (IEEE-CS). Режим доступа: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).

стрирует относительно фактов, технологий, профессии, процедур, работы, организации и т. д.)».

Будем исходить из созвучного приведенному выше определению компетенции, данного в обзоре Высшей школы экономики [27] (2022), сформулированного на основе анализа многих работ по данной проблеме.

«Компетенция» – это интегрированный набор знаний, навыков и деятельностных установок, которые мобилизуются в определенном контексте для решения определенной задачи, для достижения определенного результата, при этом:

- 1) знания включают факты, цифры, идеи, теории, которые уже известны и способствуют пониманию данной задачи или предмета;
- 2) навыки – это способности совершать конкретные действия и использовать имеющиеся знания для достижения результатов;
- 3) деятельностные установки – принципы, влияющие на то, как человек реагирует на идеи, людей и ситуации».

Формула

Компетенция = знания + навыки + диспозиции

принята за основу при дальнейшем рассмотрении.

Категории «знания» и «навыки» в комментариях не нуждаются. Что касается диспозиций (они же в разных работах называются «деятельностные установки» либо «отношения» – attitudes), то, согласно психологическому словарю², это в общем виде предрасположение, готовность человека к определенным внутренним или внешним действиям. В Computing Curricula 2020 приведено более развернутое толкование: *«Диспозиции – это привычные склонности, которые представляют собой социально-эмоциональные тенденции, пристрастия и установки. Диспозиции контролируют, склонен ли человек использовать свои навыки и каким образом. Диспозиция может обозначать ценности и мотивацию, которые направляют применение знаний, одновременно обозначая качество знаний и показатель уровня профессиональной деятельности».*

Цифровым компетенциям студентов вузов посвящен ряд работ. Поскольку эта тема не является в данной работе основной, ограничимся двумя источниками.

В обзоре К. Tzafilkou и др. [28] (2022) систематизированы на основе многих зарубежных публикаций цифровые компетенции студентов вузов. Они (в несколько сокращенном виде) перечислены ниже.

Искать, найти, получить доступ. Я могу:

- искать и находить конкретные объекты или похожие объекты;
- использовать различные поисковые системы и базы данных, подходящие ключевых слов, расширенные критерии и фильтры;

¹ Авторы цитируемой работы вслед за большинством зарубежных авторов отождествляют понятия «компетенция» и «компетентность».

² Психологический словарь. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2007. 560 с.

- искать и находить конкретного человека и группы людей в различных социальных сетях, используя различные методы и фильтры;
- перемещаться в реальном мире с помощью навигатора;
- работать с контентом в различных форматах на различных устройствах.

Развивать, применять, модифицировать. Я могу:

- пользоваться цифровым календарем;
- разработать веб-сайт, используя различные цифровые инструменты;
- создавать документы с текстом, диаграммами, таблицами, отчетами;
- применить лицензии Creative Commons к созданному мной контенту;
- применять статистические методы, используя подходящее программное обеспечение, для прогнозирования;
- конвертировать контент из одного формата в другой.

Общаться, сотрудничать, делиться. Я могу:

- сотрудничать с людьми, используя различные интеллектуальные устройства, платформы и цифровые инструменты;
- вести курсы или семинары, читать лекции, делать презентации, используя различные цифровые инструменты;
- загружать разработанное мною программное обеспечение в различные социальные сети и делиться им.

Хранить, управлять, удалять. Я могу:

- сделать фото или видео и сохранить их в разных форматах с использованием различных интеллектуальных устройств и инструментов;
- загрузить контент и сохранить его в соответствующей папке;
- скопировать и сохранить снимок экрана с различных умных устройств;
- удалить некоторые из моих связей/друзей в различных социальных сетях;
- организовать файлы на своем компьютере в иерархическую структуру папок.

Оценивать. Я могу:

- оценить объект и/или умное устройство, используя соответствующие критерии качества;
- критиковать объект и/или умное устройство в соответствующих социальных сетях;
- оценить, является ли какая-либо информация фальшивой или мошеннической;
- оценить, является ли веб-сайт безопасным и надежным;
- определить права интеллектуальной собственности на контент, который я нашел в интернете;
- оценить, является ли электронная почта спамом, рекламным ПО, фишингом или мошенничеством.

В Концепции развития цифровых компетенций студентов НИУ ВШЭ¹ (2022) дано следующее определение:

«Цифровые компетенции – это комплекс компетенций по работе в цифровой среде и с цифровыми продуктами, включая активность по созданию и сбору данных, их обработке и анализу, а также по автоматизации процессов с помощью компьютерных технологий».

Цифровые компетенции в указанной концепции разбиты на 3 группы: цифровая грамотность, алгоритмическое мышление и программирование, анализ данных и методы искусственного интеллекта. Сопоставляя приведенный выше перечень из работы [28] с тем, что приведено в концепции и многих других источниках о цифровой грамотности, можно сделать вывод, что этот перечень по большей части может быть отнесен к категории «цифровая грамотность». Это обстоятельство подчеркивает многоуровневость понятия «цифровая компетенция», возможность и необходимость выделять в нем базовую (цифровую грамотность), общепрофессиональную и профессионально ориентированную составляющие. Это перекликается с отмеченной выше точкой зрения Denning & Tedre [5] о необходимости выделять базовую и продвинутую составляющие и в вычислительном мышлении. Базовый уровень – это то, что должно быть сформировано у каждого студента вуза независимо от направления его подготовки или специальности; продвинутый адресован тем, чей характер профессиональной деятельности требует более глубоких знаний и навыков работы с информацией.

Сопоставляя вычислительное мышление и цифровые компетенции можно сделать вывод, что между этими понятиями есть немало общего, но они отнюдь не тождественны друг другу. Принципиальная общность состоит в том, что оба конструкта нацелены прежде всего на решение задач, т. е. имеют доминирующую прикладную направленность. Цифровые компетенции, как и вычислительное мышление, включают навыки и диспозиции, но в списке составляющих компетенций на первом месте фигурируют знания.

По-разному в вычислительном мышлении и цифровых компетенциях фигурируют навыки. В вычислительном мышлении они представляют собой практически фиксированный набор метанавыков, необходимых безотносительно к решению конкретных задач, а в цифровых компетенциях они специфицируются по видам компетенций. Соответствующее обстоятельство проиллюстрировано на рис. 1.

¹ Концепции развития цифровых компетенций студентов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2022. Режим доступа: <https://www.hse.ru/docs/575682494.html> (дата обращения: 01.11.2023).



Рис. 1. Пространство цифровых навыков студента вуза

Fig. 1. University student digital skills space

Заключение

В результате проведенного исследования получены ответы на вопросы, поставленные в начале статьи:

- о составляющих вычислительного мышления студентов вузов;
- о существующих методах оценивания уровня сформированности вычислительного мышления студентов вузов;
- о существующих способах формирования вычислительного мышления студентов вузов;
- о соотношения вычислительного мышления и цифровых компетенций студентов вузов.

По результатам проведенной работы можно судить, насколько большой интерес представляет проблема формирования вычислительного мышления студентов вузов в зарубежной научно-педагогической литературе. За каждым из шести обзоров на тему «Вычислительное мышление студентов вузов», процитированных выше, стоят десятки конкретных исследовательских работ.

Несмотря на наличие многих определений вычислительного мышления, два из которых приведены в начале данной статьи, предложим еще одно, охватывающее, на наш взгляд, ключевые аспекты этого понятия.

Вычислительное мышление – это набор когнитивных и некогнитивных метанавыков, создающих базу и формирующих предрасположенность к решению проблем с помощью информационных технологий и цифровых инструментов.

Наиболее проблематичным, по мнению автора, остается не строгое определение феномена «вычислительное мышление» и не дискуссия о том, включать или не включать в него некий конкретный навык, а все то, что связано с оцениванием уровня сформированности вычислительного мышления. Все или почти все инструменты такого оценивания, описанные выше, не являются специфичными для связываемых с ними возможностями оценивания метанавыков. Разработка более тонких инструментов либо доказательная, статистически обоснованная привязка существующих инструментов к конкретным метанавыкам является важной задачей.

Наконец, можно утверждать, что вычислительное мышление, имея определенные пересечения с цифровыми компетенциями, не тождественно им. Это разные категории, качества личности, отражающие разные стороны подготовленности (в данном случае студентов вузов) к жизни, учебной и профессиональной деятельности в «цифровом мире»; вместе с тем процесс формирования обоих качеств может быть в значительной мере совмещен.

Список использованных источников

1. Wing J. M. Computational thinking // Communications of the ACM. 2006. Vol. 49, Issue 3. P. 33–35. DOI: 10.1145/1118178.1118215
2. Hubwieser P., Giannakos M. N., Berges M., Brinda, T., Diethelm I., Magenheimer J., Pal Y., Jackova J., Jasute E. A Global Snapshot of Computer Science Education in K-12 Schools // ITICSE-WGR '15: Proceedings of the 2015 ITiCSE on Working Group Reports. 2015. P. 65–83. DOI: 10.1145/2858796.2858799
3. Босова Л. Л. Вычислительное мышление как стратегическая цель общего образования в области информатики и информационных технологий // Актуальные проблемы методики обучения информатике и математике в современной школе: материалы международной научно-практической интернет-конференции. 2019. С. 10–17. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_41517554_63361642.pdf (дата обращения: 01.11.2023).
4. Хеннер Е. К. Вычислительное мышление // Образование и наука. 2016. № 2. С. 16–33. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-2-18-33
5. Denning P. J., Tedre M. Computational Thinking: A Disciplinary Perspective // Informatics in Education. 2021. Vol. 20, No. 1. P. 361–390. DOI: 10.15388/infedu.2021.21
6. Denning P. J., Tedre M. Computational Thinking. Cambridge, MA: The MIT Press, 2019. Series: The MIT press essential knowledge series. 199 p. URL: <http://repository.universitasbumigora.ac.id/2217/1795/2019%20Computational%20Thinking%20by%20Peter%20J.%20Denning%2C%20Matti%20Tedre.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).
7. Sondakh D. E. Review of Computational Thinking Assessment in Higher Education // 9th International Scholar's Conference Proceedings. Saraburi, Thailand: Asia-Pacific International University. 2022. P. 808–815. URL: <https://repository.unai.edu/id/eprint/344/1/Full%20Paper%20Proceeding%209ISC%202022.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).
8. De Jong I., Jeuring J. Computational Thinking Interventions in Higher Education: A Scoping Literature Review of Interventions Used to Teach Computational Thinking // 20th Koli Calling International Conference on Computing Education Research. 2020. Article number 35. DOI: 10.1145/3428029.3428055
9. Agbo F. J., Oyelere S.S., Simonen J., Adewumi S. A Systematic Review of Computational Thinking Approach for Programming Education in Higher Education Institutions // 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research. 2019. Article number 12. DOI: 10.1145/3364510.3364521

10. Castro L. M. C., Douglas K. A. Computational Thinking frameworks used in Computational Thinking assessment in higher education. A systematized literature review // 2021 ASEE Virtual Annual Conference. DOI: 10.18260/1-2--36824
11. Lyon J. A., Magana A. J. Computational thinking in higher education: A review of the literature // International journal engineering education. 2020. Vol. 36. P. 101–116. DOI: 10.1002/cae.22295
12. Zhang X., Specht M. A Review of Reviews on Computational Thinking Assessment in Higher Education // Conference CTE-STEM2022. The Netherlands. 2022. DOI: 10.34641/ctestem.2022.472
13. Lu Ch., Macdonald R., Odell B., Kokhan V., Epp C. D., Cutumisu M. A scoping review of computational thinking assessments in higher education // Journal of Computing in Higher Education 2022. Vol. 34. P. 416–461. DOI: 10.1007/s12528-021-09305-y
14. Liu S., Peng Ch., Srivastava G. What influences computational thinking? A theoretical and empirical study based on the influence of learning engagement on computational thinking in higher education // Computer Applications in Engineering Education. 2023. Vol. 31, № 6. DOI: 10.1002/cae.22669
15. Klunnikova M. M., Bazhenova I. V., Pak N. I. Kirgizova E. V. Developing students computational thinking with a recursive polydisciplinary approach // Journal of Physics. Conference Series. 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1691/1/012190
16. Клунникова М. М. Методика развития вычислительного мышления студентов при изучении курса «Численные методы» на основе смешанного обучения // Информатика и образование. 2019. № 6. С. 34–41. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-6-34-41
17. Baranov A. V. Forming Computational Thinking and Computer Modeling Project Activities in the Physics Course of the Technical University // ITM Web of Conferences. 2020. Vol. 35. DOI: 10.1051/itmconf/20203503002
18. Баранов А. В. Дидактический потенциал учебных физических задач в формировании вычислительного мышления студентов ИТ-направлений // Научно-педагогическое обозрение. 2019. № 1. С. 144–150. DOI: 10.23951/2307-6127-2019-1-144-150
19. Баранов А. В. Контекстное формирование вычислительного мышления в университетском курсе физики // Современное образование: качество образования и актуальные проблемы современной высшей школы: материалы международной научно-методической конференции. Томск. Изд-во ТУСУРа, 2019. С. 25–26. URL: <https://nmk.tusur.ru/storage/125574/conference-2019.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).
20. Чигиринская Н. В., Григорьева О. Е., Бочкин А. М., Андреева М. И. Вычислительное мышление будущего инженера: понятийный аппарат и опыт формирования в техническом вузе // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 205–211. DOI: 10.17513/snt.39546
21. Бровка Н. В., Филимонов Д. В. О развитии вычислительного мышления при обучении студентов математике и программированию // Современные проблемы математики и математического образования: сборник научных статей Международной научной конференции: к 225-летию Герценовского университета. Санкт-Петербург, 2022. С. 47–51. URL: https://rep.herzen.spb.ru/file_viewer/351 (дата обращения: 01.11.2023).
22. Филимонов Д. В. О развитии вычислительного мышления и Agile-практиках в образовательном процессе учреждений высшего образования // Университетский педагогический журнал. 2022. Т. 2. С. 61–65. URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/293553/1/61-65.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).
23. Loureiro A. C., Meirinhos M., Osório A. J., Valente L. Computational Thinking in Teacher Digital Competence Frameworks // Revista Prisma Social. 2022. Vol. 38, № 3. P. 77–93. URL: https://www.researchgate.net/publication/362343333_computational_thinking_in_teacher_digital_competence_frameworks#fullTextFileContent (дата обращения: 01.11.2023).

24. Esteve-Mon F. M., Ángeles Llopis M., Adell-Segura J. Digital Competence and Computational Thinking of Student Teachers // *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2020. Vol. 15, № 02. P. 29–41. DOI: 10.3991/ijet.v15i02.11588

25. Juskeviciene A., Dagiene V. Computational Thinking Relationship with Digital Competence // *Informatics in Education*. 2018. Vol. 17, № 2, 265–284. DOI: 10.15388/infedu.2018.14

26. Хеннер Е. К. Профессиональные знания и профессиональные компетенции в высшем образовании // *Образование и наука*. 2018. Т. 20, № 2. С. 9–31. DOI: 10.17853/1994-5639-2018-2-9-31

27. Универсальные компетентности и новая грамотность: от лозунгов к реальности / Под ред. М. С. Добряковой, И. Д. Фрумина [Электрон. ресурс] Москва: Высшая школа экономики, 2020. 468 с. URL: <https://ioe.hse.ru/mirror/pubs/share/360763569.pdf> (дата обращения: 01.11.2023)

28. Tzaflikou K., Perifanou M, Economides A.A. Development and validation of students' digital competence scale // *International Journal of Education Technology in Higher Education*. 2022. Article number 30. DOI: 10.1186/s41239-022-00330-0

References

1. Wing J. M. Computational thinking. *Communications of the ACM*. 2006; 49 (3): 33–35. DOI: 10.1145/1118178.1118215

2. Hubwieser P., Giannakos M. N., Berges M., Brinda T., Diethelm I., Magenheimer J., Pal Y., Jackova J., Jasute E. A global snapshot of computer science education in K-12 Schools. In: *ITiCSE-WGR '15. Proceedings of the 2015 ITiCSE on Working Group Reports*. 2015. p. 65–83. DOI: 10.1145/2858796.2858799

3. Bosova L. L. Computational thinking as a strategic goal of general education in the field of computer science and information technology. In: *Aktual'nye problemy metodiki obucheniya informatike i matematike v sovremennoj shkole: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii = Current Problems in Teaching Computer Science and Mathematics in Modern School. Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference* [Internet]. Moscow, Russia: 2019 [cited 2023 Nov 01]; p. 10–17. Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_41517554_63361642.pdf (In Russ.)

4. Khenner E. K. Computational thinking. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2016; 2: 16–33. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-2-18-33 (In Russ.)

5. Denning P. J., Tedre M. Computational thinking: A disciplinary perspective. *Informatics in Education*. 2021; 20 (1): 361–390. DOI: 10.15388/infedu.2021.21

6. Denning P. J., Tedre M. Computational thinking [Internet]. Cambridge, MA: The MIT Press; 2019 [cited 2023 Nov 01]. 199p. Available from: <http://repository.universitasbumigora.ac.id/2217/1795/2019%20Computational%20Thinking%20by%20Peter%20J.%20Denning%2C%20Matti%20Tedre.pdf>

7. Sondakh D. E. Review of computational thinking assessment in higher education. In: *9th International Schoolar's Conference Proceedings* [Internet]; 2022 Oct. Saraburi, Thailand: Asia-Pacific International University; 2022 [cited 2023 Nov 01]; p. 805–813. Available from: <https://repository.unai.edu/id/eprint/344/1/Full%20Paper%20Proceeding%209ISC%202022.pdf>

8. De Jong I., Jeuring J. Computational thinking interventions in higher education: A scoping literature review of interventions used to teach computational thinking. In: *20th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. Article number 35. New York: ACM; 2020. DOI: 10.1145/3428029.3428055

9. Agbo F. J., Oyelere S. S., Simonen J., Adewumi S. A systematic review of computational thinking approach for programming education in higher education institutions. In: *19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. Article number 12. New York: ACM; 2019. DOI: 10.1145/3364510.3364521

10. Castro L. M. C., Douglas K. A. Computational thinking frameworks used in computational thinking assessment in higher education. A systematized literature review. In: *2021 ASEE Virtual Annual Conference, ASEE 2021*; 2021 Jul 26–29; Minneapolis, USA. DOI: 10.18260/1-2-36824

11. Lyon J. A., Magana A. J. Computational thinking in higher education: A review of the literature. *International Journal Engineering Education*. 2020; 36: 101–116. DOI: 10.1002/cae.22295
12. Zhang X., Specht M. A review of reviews on computational thinking assessment in higher education. In: *Conference CTE-STEM 2022*. Delft, Netherlands; 2022. p. 98–103. DOI: 10.34641/ctestem.2022.472
13. Lu Ch., Macdonald R., Odell B., Kokhan V., Epp C. D., Cutumisu M. A scoping review of computational thinking assessments in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*. 2022; 34: 416–461. DOI: 10.1007/s12528-021-09305-y
14. Liu S., Peng Ch., Srivastava G. What influences computational thinking? A theoretical and empirical study based on the influence of learning engagement on computational thinking in higher education. *Computer Applications in Engineering Education*. Wiley Periodicals LLC. 2023; 31 (6): 1–24. DOI: 10.1002/cae.22669
15. Klunnikova M. M., Bazhenova I. V., Pak N. I. Kirgizova E. V. Developing students computational thinking with a recursive polydisciplinary approach. *Journal of Physics. Conference Series*. 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1691/1/012190
16. Klunnikova M. M. Methodology for developing students' computational thinking when studying the "Numerical Methods" course based on blended learning. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*. 2019; 6: 34–41. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-6-34-41 (In Russ.)
17. Baranov A. V. Forming computational thinking and computer modeling project activities in the physics course of the technical university. In: *ITM Web of Conferences*. 2020. Vol. 35. p. 1–12. DOI: 10.1051/itmconf/20203503002
18. Baranov A. V. Didactic potential of educational physical problems in the formation of computational thinking of IT students. *Nauchno-pedagogicheskoe obozrenie = Scientific and Pedagogical Review*. 2019; 1: 144–150. DOI: 10.23951/2307-6127-2019-1-144-150 (In Russ.)
19. Baranov A. V. Contextual formation of computational thinking in a university physics course In: *Sovremennoe obrazovanie: kachestvo obrazovaniya i aktual'nye problemy sovremennoj vysshej shkoly: materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii = Modern Education: Quality of Education and Current Problems of Modern Higher Education. Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference* [Internet]. Tomsk, Russia; 2019 [cited 2023 Nov 01]; p. 25–26. Available from: <https://nmk.tusur.ru/storage/125574/conference-2019.pdf> (In Russ.)
20. Chigirinskaya N. V., Grigor'eva O. E., Bochkina A. M., Andreeva M. I. Computational thinking of the future engineer: Conceptual apparatus and experience of formation at a technical university. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technology*. 2023; 2: 205–211. DOI: 10.17513/snt.39546 (In Russ.)
21. Brovka N. V., Filimonov D. V. On the development of computational thinking when teaching students mathematics and programming. In: *Sovremennye problemy matematiki i matematicheskogo obrazovaniya: sbornik nauchnykh statej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: k 225-letiju Gercenovskogo universiteta = Modern Problems of Mathematics and Mathematics Education. Collection of Scientific Articles of the International Scientific Conference for the 225th Anniversary of Herzen University* [Internet]. Saint-Petersburg, Russia; 2022 [cited 2023 Nov 01]. p. 47–51. Available from: https://rep.herzen.spb.ru/file_viewer/351 (In Russ.)
22. Filimonov D. V. On the development of computational thinking and Agile practices in the educational process of higher education institutions. *Universitetskij pedagogicheskij zhurnal = University Pedagogical Journal* [Internet]. 2022 [cited 2023 Nov 01]; 2: 61–65. Available from: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/293553/1/61-65.pdf> (In Russ.)
23. Loureiro A. C., Meirinhos M., Osório A. J., Valente L. Computational thinking in teacher digital competence frameworks. *Revista Prisma Social* [Internet]. 2022 [cited 2023 Nov 01]; 38 (3): 77–93. Available from: https://www.researchgate.net/publication/362343333_computational_thinking_in_teacher_digital_competence_frameworks#fullTextFileContent

24. Esteve-Mon F. M., Llopis M. A., Adell-Segura J. Digital competence and computational thinking of student teachers. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2020; 15 (02): 29–41. DOI: 10.3991/ijet.v15i02.11588

25. Juskeviciene A., Dagiene V. Computational thinking relationship with digital competence. *Informatics in Education*. 2018; 17 (2): 265–284. DOI: 10.15388/infedu.2018.14

26. Khenner E. K. Professional knowledge and professional competencies in higher education. *Образование и наука = The Education and Science Journal*. 2018; 20: 9–31. DOI: 10.17853/1994-5639-2018-2-9-31 (In Russ.)

27. Universal'nye kompetentnosti i novaja gramotnost': ot lozungov k real'nosti = Universal competencies and new literacy: From slogans to reality [Internet]. Edited by M. S. Dobryakova, I. D. Frumin. Moscow: Publishing House of Higher School of Economics; 2020 [cited 2023 Nov 01]. 458 p. Available from: <https://ioe.hse.ru/mirror/pubs/share/360763569.pdf> (In Russ.)

28. Tzafilkou K., Perifanou M., Economides A. A. Development and validation of students' digital competence scale (SDiCoS). *International Journal of Education Technology in Higher Education*. 2022; 19: 30. DOI: 10.1186/s41239-022-00330-0

Информация об авторе:

Хеннер Евгений Карлович – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии образования, профессор кафедры информационных технологий Пермского государственного национального исследовательского университета; ORCID 0000-0002-6397-4465; Пермь, Россия. E-mail: ehenner@psu.ru

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.10.2023; поступила после рецензирования 29.12.2023; принята к публикации 10.01.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Evgeniy K. Khenner – Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Professor, Department of Information Technologies, Perm State National Research University; ORCID 0000-0002-6397-4465; Perm, Russia. E-mail: ehenner@psu.ru

Conflict of interest statement. The author declares that there is no conflict of interest.

Received 01.10.2023; revised 29.12.2023; accepted for publication 10.01.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Información sobre el autor:

Evgénij Kárlovich Henner: Doctor en Ciencias de la Física y Matemáticas, Profesor, Miembro Correspondiente de la Academia de Educación de Rusia, Profesor del Departamento de Tecnologías de la Información; Universidad Nacional Estatal de Investigación de Perm; ORCID 0000-0002-6397-4465; Perm, Rusia. Correo electrónico: ehenner@psu.ru

Información sobre conflicto de intereses. El autor declara no tener conflictos de intereses.

El artículo fue recibido por los editores el 01/10/2023; recepción efectuada después de la revisión el 29/12/2023; aceptado para su publicación el 10/01/2024.

El autor leyó y aprobó la versión final del manuscrito.