

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 378.147

DOI: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153

РАЗВИТИЕ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ МАГИСТРАНТОВ С ПОМОЩЬЮ STEM-КЕЙСОВ

М. В. Солодихина

*Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия.
E-mail: mv.solodikhina@mpgu.su*

А. А. Солодихина

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
ФГБОУ ВДЦ «Смена», Москва, Россия.
E-mail: aasolodikhina@edu.hse.ru*

Аннотация. *Введение.* Чтобы сохранять конкурентоспособность в динамично меняющемся мире, где происходят лавинообразное нарастание объема новой информации и быстрое ее устаревание, государству в большом количестве нужны люди, способные к регулярному интенсивному осуществлению инновационной деятельности. Потребность современной экономики в инноваторах неизбежно приводит к смещению приоритетов в образовании с запоминания и воспроизведения заранее установленного объема знаний на развитие самостоятельного мышления обучающихся, что невозможно без наличия определенных качеств и критического склада ума у педагогов.

Цели представленного в статье исследования состояли в выделении важных для инновационной активности компонентов критического мышления и поиске способов их формирования у молодых учителей – студентов, осваивающих магистерскую программу «Современное естествознание».

Методология и методы. В работе были задействованы методы анализа и обобщения содержания научных и научно-методических публикаций, посвященных развитию мыслительных способностей высшего порядка и концепции STEM-образования (Science + Technology + Engineering + Mathematics). Оценка уровня мышления обучающихся и его изменений проводилась с помощью диагностических заданий и эмпирического наблюдения за учебной и проектной деятельностью магистрантов и школьников.

Результаты и научная новизна. Определены ключевые для производства и реализации инноваций составляющие критического мышления: твор-

ческий, рациональный, логический, рефлексивный и метакогнитивный. Для их развития разработан комплект проблемно-ситуационных STEM-кейсов, а для выяснения уровня сформированности элементов критического мышления предложен специальный диагностический инструментарий. На примере проектирования и презентации гибридной технологии подъема затонувшего корабля с поврежденным корпусом, основанной на понимании учащимися особенностей агрегатного состояния воды, продемонстрирована методика работы с набором STEM-кейсов. Результаты апробации данной методики в малых группах на разных ступенях образования доказывают, что ее применение способствует совершенствованию критического мышления у обучающихся и появлению у них интереса к инновационной деятельности, если сюжеты заданий основаны на реальных проблемах науки и техники, а их решение требует контекстуального использования учебного материала, построения математических моделей, генерирования рациональных идей новых или усовершенствованных технологий.

Практическая значимость. Показаны возможности приобретения обучающимися навыков независимого аналитического мышления высшего порядка в рамках изучаемых академических дисциплин естественно-научного цикла без введения в образовательные программы специального курса.

Ключевые слова: инновации, критическое мышление, STEM-образование, кейсы, естественно-научная грамотность, технология подъема судов замораживанием.

Для цитирования: Солодихина М. В., Солодихина А. А. Развитие критического мышления магистрантов с помощью STEM-кейсов // Образование и наука. 2019. Т. 21. № 3. С. 125–153. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING OF MASTER'S DEGREE STUDENTS USING STEM CASES

M. V. Solodikhina

*Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russia.
E-mail: mv.solodikhina@mpgu.su*

A. A. Solodikhina

*National Research University Higher School of Economics, Russian Children's Center "Smena", Moscow, Russia.
E-mail: asolodikhina@hse.ru*

Abstract. Introduction. Today, a modern state needs people capable to regular intensive implementation of innovative activity in order to keep competitiveness in a dynamically changing world that is undergoing a significant increase in

Образование и наука. Том 21, № 3. 2019 / The Education and Science Journal. Vol. 21, № 3. 2019

the amount of new information and its fast obsolescence. The need of modern economy for innovators inevitably leads to the shift of priorities in education from memorising and reproducing of a specified amount of knowledge to the development of students' independent thinking, which, accordingly, requires teachers' certain qualities and critical mentality.

The *aim* of the research was to identify the components of critical thinking important for innovative activity and search for the ways of development of these components in young teachers, entering a master's programme Modern Natural Science.

Methodology and research methods. In the course of the research, the methods of the analysis and synthesis of scientific and scientific-methodological publications devoted to the development of higher order thinking skills and the concept of STEM education (Science, Technology, Engineering and Mathematics) were employed. The assessment of the level of students' thinking and its changes was carried out through diagnostic tasks and empirical observation of educational and project-based activity of undergraduates and school students.

Results and scientific novelty. The key components of critical thinking for the implementation and realisation of innovative activities were identified: creative, rational, logical, reflexive and metacognitive. To assess the development of components, a set of problem-situational tasks (STEM cases) was developed. Diagnostic tools were introduced to measure the level of critical thinking skills formation. The authors described the methodology for working with STEM cases through the example of the development and presentation of hybrid technology of lifting the sunken ship with a damaged hull, based on the students' understanding of characteristics of the aggregate state of water. The results of approbation of the presented methodology used in small groups at various educational levels prove that its implementation contributes to the development of critical thinking in students, if the plots of cues are based on real problems of science and technology, and the solution requires contextual use of educational material, building a mathematical model, generating rational ideas of new or improved technologies.

Practical significance. The research demonstrates the possibilities of acquisition by students of higher order thinking skills within the studied academic disciplines in the natural-science cycle without introduction of a special course in educational programmes.

Keywords: innovation, critical thinking, STEM education, case studies, natural science literacy, technology of lifting ships by freezing.

For citation: Solodikhina M. V., Solodikhina A. A. Development of critical thinking of master's degree students using STEM cases. *The Education and Science Journal*. 2019; 3 (21): 125–153. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153

Введение

Глобальный рынок труда стремительно меняется: с одной стороны, роботизированные устройства вытесняют людей из профессий, предполагающих стандартизированные решения и программируемые действия, с другой – все более востребованными становятся сферы деятельности, не поддающиеся алгоритмизации и, соответственно, неподвластные искусственному интеллекту. Нельзя запрограммировать такие когнитивные процессы, как понимание, осознание [1, с. 71], воображение, flowstate («неуправляемая мысль “гуляет”») и random episodic silent thought («мысль случайно на что-то “набредает”») [2, с. 12], поскольку механизм их неизвестен, однако именно они обеспечивают ментальную работу мозга в творческом процессе, итогом которого становятся открытия и изобретения. Для стран, относящихся к ведущим экономикам мира, чтобы продолжать удерживать лидирующие позиции, решающее значение имеют внедряемые изобретения (инновации) в STEM-области¹, поэтому число рабочих мест увеличивается здесь в два раза быстрее, чем в других сферах человеческой деятельности. Например, в США данный прирост составляет более 10% в год [3, с. 34]. Развитой экономике нужны люди с инновационным складом ума, особенно получившие STEM-образование.

Инновации, преобразующие окружающую среду, требуют изменения мышления всех, кто с этой средой активно взаимодействует. В быстроменяющемся мире с лавинообразно нарастающим и быстро устаревающим объемом информации обучение как процесс передачи учащемуся определенной системы знаний, умений, навыков с последующим их воспроизведением утратило актуальность. Учебные заведения поставлены перед необходимостью готовить выпускников к выполнению «работ, которых еще не существует, используя инструменты, которые еще не изобретены»².

В конце прошлого столетия премьер-министр Сингапура Го Чок Тонг справедливо заметил, что процветание или прозябание нации в XXI веке будет зависеть от ее коллективной способности осваивать новые знания, мыслить, искать новые технологии и идеи и уметь их внедрять³.

¹ STEM – четыре основных направления, играющие сегодня ключевую роль в научно-технологическом развитии: S – science (естественные науки), T – technology (технологии), E – engineering (инженерия), M – mathematics (математика).

² Интервью с ректором Университета Ричмонда Рональдом Кручером // Вопросы образования. 2015. № 4. С. 28.

³ Speech by prime minister Goh Chok Tong at the opening of the 7th international conference on thinking on monday, 2 june 1997, at 9.00 am at the suntec city convention centre ballroom shaping our future: thinking schools, learning nation. P. 1. Available from: <http://ncee.org/wp-content/uploads/2017/01/Sgp-non-AV-2-PM-Goh-1997-Shaping-Our-Future-Thinking-Schools-Learning-Nation-speech.pdf>

В Японии традиционная знаниецентричная система образования официально признана препятствием для дальнейшего развития выпускников, и дискуссии о путях ее модернизации, в особенности после того как наметилась тенденция снижения ряда показателей глобального инновационного индекса страны, в основном сводятся к определению оптимальных способов формирования мышления обучающихся [4, с. 32].

Вопросы о том, какое мышление и каким образом должна формировать система образования, нацеленная на будущее, в настоящее время активно обсуждаются научно-педагогическими сообществами всех развитых стран.

Формирование мышления как приоритет системы образования: мировой опыт

Со времен Сократа ученых интересовали возможности формирования у человека мышления более высокого уровня (higher order thinking), чем обыденное (ordinary thinking). Первоначально – с позиций философии и логики, а в наше время – с позиций психологии, социологии, педагогики и кибернетики с опорой на биологию. Многие исследователи (Д. Халперн, М. Шонесси, Р. Пол, Р. Шоден, Е. Н. Волков) отождествляют мышление высшего порядка с критическим. Четверть века назад было создано несколько моделей критического мышления, самые известные из которых – модель Пола – Элдер (Paul – Elder) Фонда критического мышления¹ и модель Американской философской ассоциации Delphi². На их основе разработаны курсы, изданы учебники и научно-популярные книги. Идеи этих моделей легли в основу реформ систем образования ряда стран.

Например, в США одной из наиболее востребованных стратегий является higher order thinking skills (HOTS).

Концепция «Мыслящая школа, обучающаяся нация» («Thinking Schools, Learning Nation»), направленная на поощрение молодых сингапурцев воспринимать образование как пожизненный процесс, развивать творческое мышление [5, с. 99], сделала Сингапур одним из лидеров по уровню образования.

В Малайзии принят план развития образования (PPPM) до 2025 года, нацеленный на разработку программы повышения и продвижения

¹ The Foundation for Critical Thinking. Available from: <http://www.criticalthinking.org/>

² Dr. Peter A. Facione. The Delphi Report. 1990. The California Academic Press, P. 19. Available from: <https://stearnscenter.gmu.edu/wp-content/uploads/2012/08/12-The-Delphi-Report-on-Critical-Thinking.pdf>

навыков мышления высшего порядка для воспитания поколения, способного внедрять инновации и конкурировать с вызовами XXI века, а в ближайшей перспективе – войти в тройку лидеров по результатам международных тестов TIMSS (Trends in Mathematics and Science Study) и PISA (Programme for International Student Assessment) [6, с. 1069].

Вместе с тем в разных концепциях содержание понятия «критическое мышление» существенно отличается. Так, дискуссионным остается вопрос о том, является ли творческое мышление частью критического [7, гл. 10; 8, с. 290] или нет [9, с. 14; 10, с. 471].

Если верен прогноз, согласно которому в будущем инноватором должен стать каждый [11, с. 110], то системе образования следует формировать и развивать мыслительные способности инноватора, в отличие от «пользователя» обращающего внимание на проблемы окружающей среды, исследующего их, генерирующего рациональную идею решения, определяющего ее реализуемость, эффективность, оптимальность, совершающего логически связанные действия по признанию и внедрению этой идеи, при этом систематически оценивающего собственные знания, постоянно обучаясь и совершенствуясь. Таким образом, мышление инноватора есть мышление творческое, логическое, рациональное, рефлексивное и метакогнитивное. Вопрос – как определить степень сформированности этих компонентов критического мышления?

В ходе приемных испытаний школы MBA (Master of Business Administration – MBA), колледжи, университеты, ведущие корпорации США, Канады и Великобритании оценивают критическое мышление с помощью заданий, требующих применения аналитического аргументирования, разрешения дилемм, критических рассуждений (например, тесты LNAT, UK-CAT, Thinking Skills Assessment).

Уровень критического мышления 15-летних школьников, которое составляют читательская, математическая и естественно-научная грамотность, измеряется в рамках международного исследования PISA. Национальные результаты PISA влияют на принятие государственных решений в сфере образования и являются одним из параметров, характеризующих среднее образование в глобальном инновационном индексе¹.

Инновационный индекс страны выводится исходя из состояния научно-технического образования ее «человеческого капитала», наукоемкости бизнеса, исследований и разработок, индекса цитирования публикаций, ко-

¹ Cornell University, INSEAD, and WIPO (2018): The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva. 385 p. P. 313. Available from: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf

личества патентов, т. е. определяется уровнем STEM-образования населения и его способностью проводить научно-инженерные изыскания, создавая новые знания и технологии. Слово «stem» означает «ствол», «стержень»: дисциплины STEM – стержень инновационной деятельности. Существует также концепция STEAM-образования (литера «А» означает «Art»), под которым чаще всего понимают обучение основам моделирования и художественно-технического проектирования. В этой концепции акцентируется развитие востребованного в инноватике латерального или дизайн-мышления. STEM / STEAM-образование активно внедряется в странах – лидерах инновационного рейтинга. Например, в 2018 г. федеральные гранты на STEM-образование достигли в США 279 млн долларов, и президент страны предложил утвердить такое же финансирование на 2019 год¹.

Российские ФГОС вполне соответствуют мировым тенденциям: в них отражен переход от формирования системы знаний к формированию компетенций и декларируется внедрение в образовательную практику проектной деятельности. Но достижения российских школьников согласно результатам тестирования PISA, нацеленного на оценку мышления, ниже среднемирового уровня, а по результатам мониторинга TIMSS, ориентированного преимущественно на проверку знаний, – выше среднемирового уровня. Сравнительный анализ показал, что причиной существенного расхождения этих авторитетных экспертных заключений о положении в области естественно-научной грамотности является направленность отечественного образования на воспроизведение знаний, а не на их применение в реальных условиях [12, с. 102–103]. Наибольшие трудности российские учащиеся испытывают в ситуациях, требующих демонстрации навыков рассуждения и научной аргументации, понимания методологии научного исследования, что закономерно, поскольку если во главу угла ставится запоминание формул и терминов, у учащихся не развиваются способности к рассуждению и критическому осмыслению изучаемого материала [13, с. 84; 7, с. 17]. Российская система среднего образования осталась знаниецентричной, и изменений не предвидится, так как продемонстрированный подростками высокий уровень воспроизведения фактических знаний и их применения в стандартных формализованных ситуациях – это именно то, к чему в реальности стремятся ученики, учителя, родители и администрация учебных заведений, настроенные в первую очередь на успешное выполнение заданий ОГЭ и ЕГЭ. В Фонде критического мышления учебу ради экзаменов называют психологией «матери-малиновки»: учащийся «заглатывает» готовый интеллектуальный корм,

¹ Federal STEM grants reach \$279 million for 2018. Available from: <https://edscoop.com/u-s-ed-dept-awards-279-million-in-stem-grants/>

не получая навыков его самостоятельного поиска и «добычи»¹. Российское образование только декларативно формирует поколение, обладающее когнитивными компетенциями. Это несоответствие выливается в проблемы выпускников на рынке труда, поскольку работодатели хотят получать работников, обладающих прежде всего критическим мышлением².

«Катализатором» процесса обучения выступает учитель. Вырабатывать навыки критического мышления он может только в том случае, если сам является экспертом в преподаваемой предметной области [14, с. 259], обладает широкой общей эрудицией, межпредметными знаниями, способностью к научно-исследовательской и проектной работе [15, с. 11], а также независимым аналитическим мышлением высшего порядка.

Вместе с тем в существующих условиях российские учителя не имеют внешней мотивации к формированию у учащихся критического мышления, да и самих педагогов такому мышлению не обучают. С 1990-х гг. в России на уровне среднего образования распространяется упрощенная концепция «Развитие критического мышления через чтение и письмо» [16, с. 200], поступательно продвигаемая, судя по находящимся в Российской государственной библиотеке диссертациям, в основном преподавателями гуманитарных дисциплин. Для некоторых конкурсов (например, «Лидер России») и работодателей разработаны наборы тестов, измеряющих уровень критического мышления. Существуют курсы вроде программы повышения квалификации ВШЭ «Критическое мышление: инструменты прикладной рациональности». Но целенаправленного обучения учителей не ведется. Внедрение разработок Paul – Elder или Delphi затруднено, поскольку эти материалы нуждаются в качественном переводе и серьезной адаптации к менталитету и особенностям системы знаний российских учащихся, а курс критического мышления как специальная учебная дисциплина не входит в программы отечественных учебных заведений. В российском высшей школе считается, что мышление высшего порядка само собой формируется в процессе освоения естественных наук [16, с. 200]. Между тем исследования показывают, что получение вузовского образования имеет ограниченное влияние на развитие критического мышления выпускников³. Аналогичные выводы сделаны по результа-

¹ The Foundation for Critical Thinking. Available from: <http://www.criticalthinking.org/>

² Интервью с ректором Университета Ричмонда Рональдом Кручером // Вопросы образования. 2015. № 4. С. 30.

³ Reed J. H. Effect of a model for critical thinking on student achievement in primary source document analysis and interpretation, argumentative reasoning, critical thinking dispositions, and history content in a community college history course: Ph.D. Dissertation, Graduate School University of South Florida Tampa, Florida, 1998. 268 p. Available from: <http://www.criticalthinking.org/resources/JReed-Dissertation.pdf>

там исследования уровня его сформированности у студентов магистратуры «Современное естествознание» Московского государственного педагогического университета (МПГУ).

Материалы и методы исследования

На кафедре естественных наук и инновационных технологий МПГУ в течение 6 лет ведется изучение степени сформированности различных составляющих критического мышления у выпускников бакалавриата и специалитета, а также возможности развития этих составляющих у студентов магистратуры. Исследованием пока была охвачена малая и не очень репрезентативная выборка последней категории испытуемых, которую составили 53 студента из пяти наборов, обучающихся по программе «Современное естествознание» МПГУ. Тем не менее определенные выводы по поводу решения обсуждаемой проблемы можно сделать уже сейчас.

Обобщение результатов входного контроля за 5 лет показало, что только 16% выпускников бакалавриата математических, естественно-научных, педагогических и инженерных направлений подготовки нескольких вузов, поступивших в магистратуру, могут продемонстрировать наличие всех компонентов критического мышления.

Наблюдение за каждым из магистрантов осуществлялось в течение двух лет обучения. Для оценки уровня сформированности компонентов критического мышления был создан диагностический инструментарий (табл. 1), корректировавшийся по мере наблюдения за работой студентов над учебным проектом по теме магистерской диссертации (далее – проект) и во время занятий, в том числе со школьниками.

Таблица 1

Диагностика уровня сформированности компонентов критического мышления студентов магистратуры «Современное естествознание»

Компоненты	Тип задания диагностического инструментария	Основания для оценки критического мышления на основе проектной и учебной деятельности магистрантов
1	2	3
Творческое мышление	Задания на генерацию максимального количества идей решения проблемных научных и инженерно-технических ситуаций, часть которых близка мини-задачам ТРИЗ (теории решения изобретательских задач) [17, с. 208]	1) предложение обладающей новизной идеи проекта, 2) создание оригинальных опросников для школьников, 3) выполнение творческих заданий

1	2	3
Рациональное мышление	Ситуации, предполагающие выбор варианта ответа, обусловленного рациональным подходом, эмоциями или общественным одобрением	1) выбор оптимального решения проблемы проекта и его экономическое обоснование, 2) продуманность целей и структуры каждого задания опросника, 3) использование при защите своей позиции наиболее рациональных в данной ситуации аргументов, умение не поддаваться эмоциям
Логическое мышление	Задачи на построение цепочки логических рассуждений	1) доказательность аргументации в обосновании актуальности и задач проекта, 2) логика общей структуры опросника, 3) логика, полнота и аргументированность ответов на занятиях
Рефлексивное мышление	Задания, направленные на оценку ситуативной, ретроспективной и проспективной рефлексии, близкие модели рефлексивно-инновационного процесса [18, с. 35]	1) умение объективно оценить результаты проекта и дальнейшие направления работы, 2) способность понять несоответствие результатов опросника ожиданиям и усовершенствовать его, 3) умение объективно оценивать свою учебную деятельность в целом
Метакогнитивное мышление	Задания, предусматривающие самооценку имеющихся знаний, разработку стратегии получения новых знаний, постановку вопросов, позволяющих понять суть явления или технологии	Совпадение результатов проектной деятельности с написанным предварительно эссе, содержащим график Ганта, анализ имеющихся и недостающих ресурсов (в том числе знаний) с планированием пути их получения, предвидение результатов и возможных ошибок

Table 1

Description of the types of tasks used to assess the formation of selected components of critical thinking

Thinking	Type of job diagnostic tools	Evaluated observations of project and educational activities
Creative	Tasks for generating the maximum number of ideas for solving problem scientific and engineering situations, some of the tasks are close to the TRIZ mini-problems [17, p. 208]	1) the proposal of a novelty educational project on a master's thesis, 2) creating a questionnaire in the form of a game, 3) solving creative problems
Rational	Situations with the choice of the answer, due to a rational approach, emotions or public approval	1) the choice of the optimal solution to the problem of the project and its economic justification, 2) the reasonableness of the goals and structure of each questionnaire, 3) the use of the most rational arguments in the given situation, the ability to resist emotions
Logical	Tasks for building a chain of logical reasoning	1) proof of argumentation in justifying the relevance and objectives of the project, 2) the logic of the general structure of the questionnaire, 3) building answers in the classroom
Reflexive	Tasks for the assessment of situational, retrospective and prospective reflection, similar models of the reflexive-innovation process [18, p. 35]	1) the ability to objectively evaluate the results of the project and further areas of work, 2) the ability to understand the inconsistency of the results of the questionnaire with the expectations and improve it, 3) the ability to objectively evaluate their learning activities in general
Metacognitive	Tasks for self-assessment of knowledge, development of a strategy for obtaining new knowledge, posing questions that allow understanding the essence of a phenomenon or technology	the coincidence of the results of the project activity with the essay written before the beginning of the draft, containing the schedule of the Gantt chart, the analysis of the available and missing resources (including knowledge) with the planning of the way to obtain them, anticipation of the results and possible errors

Организация магистерской проектной работы предполагает в нашем случае проведение не менее двух предварительных исследований. Одно из них обычно осуществляется на основе использования опросника в игровой форме для школьников, которые будут под руководством магистранта выполнять проект с целью выявления уровня их готовности и мотивации к проектной деятельности (см., например, docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmFf5yQmfCQ6MeuF9Act49jy7n4xs_hAUAZSIWr9_Ulsg2A/formResponse). Второе включает составление опросника учащимися под руководством магистранта с целью определения необходимых характеристик продукта проектной деятельности (см., например, docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdRKx000XSSupDgZTb4YHXswLPBzAp6rrB1PT8-v5qPjYkfPQ/viewform). Навык проведения подобных исследований очень важен для потенциального инноватора, поскольку он должен уметь формировать собственную команду и выявлять востребованные на рынке характеристики создаваемого интеллектуального или материального продукта.

Изучение исследований, в том числе диссертационных, посвященных анализу способов формирования критического мышления в системе среднего и высшего образования США (собраны в Фонде критического мышления¹), а также оценивающих его тестов, позволило сформулировать гипотезу о возможности развития навыков мышления высшего порядка без введения специального курса в рамках изучаемых академических дисциплин путем использования специально созданных заданий. С целью проверки этой гипотезы для таких учебных курсов, как методика преподавания естествознания, современная физика, строение и эволюция Солнечной системы, были разработаны кейс-задачи, которые в течение двух лет в режиме эксперимента использовались в учебном процессе школы и вуза преподавателями, аспирантами и магистрантами кафедры естественных наук и инновационных технологий МГПУ, а также на внеурочных занятиях учащихся инженерных классов московских школ.

Результаты исследования

Поскольку концепции и принципы критического мышления универсальны и являются важным элементом всех профессиональных областей, задачи на развитие такого мышления могут иметь любой контекст, и типовые учебные задания можно заменить специальными, формирующими и совершенствующими различные компоненты критического мышления, если их содержание соответствует программе и удовлетворяет требовани-

¹ The Foundation for Critical Thinking. Available from: <http://www.criticalthinking.org/>

ям научности и достоверности. Кроме того, данные задания должны устранять выявленные исследованием PISA проблемы отечественного естественно-научного образования, такие как слабое понимание методологии научного исследования, недостаточная практика применения знаний в реальных проблемных ситуациях, отсутствие междисциплинарных связей и смутное представление обучающихся о проблемах современной науки и техники. Содержание заданий должно также опираться на ранее приобретенные предметные знания, так как усвоение новой информации происходит за счет ее присоединения к уже имеющейся [19, с. 93]. Но задания существующих российских тестов, измеряющих критическое мышление в рамках естественных дисциплин, этим требованиям не отвечают.

Анализ различных типов заданий обнаружил, что вышеописанным условиям вполне соответствуют проблемно-ситуационные задачи (кейсы), показавшие свою эффективность в бизнес-образовании [20]. В кейс-технологии освоение теории происходит в процессе обсуждения в группах вариантов решения проблемы, что «формирует и развивает научное мышление и исследовательские компетенции (анализ, декомпозиция, синтез, мыслительный эксперимент, целеполагание, гипотетирование)» [21, с. 3], т. е. мышление инноватора. Командная работа важна, поскольку процесс научного творчества перестал быть сугубо индивидуальным: большинство изобретений и открытий за последние два века совершали не отдельные ученые [11, с.139], а команды специалистов из разных областей науки, инженерии и, иногда, искусства, которые привносят в обсуждение другое видение обработки информации [22, с. 256]. Главная задача команды – достижение синергетического эффекта, при котором результат оказывается больше, чем просто сумма усилий отдельных студентов [23, с. 38].

Кейсы, интегрирующие знания STEM-дисциплин, можно назвать STEM-кейсами. Эти инструменты схожи с заданиям PISA, проверяющими естественно-научную грамотность, но их решениями являются инженерно-творческие предложения.

На рисунке продемонстрировано возможное место каждой из STEM-дисциплин в STEM-образовании. Кратко опишем этапы решения STEM-кейса, обозначив преобладающие на каждом из них компоненты критического мышления:

1) S – Science: проанализировать имеющиеся научные знания и дополнить их до уровня, необходимого для понимания и осознания всех аспектов рассматриваемой проблемы, в том числе с помощью проведения экспериментов (метакогнитивное мышление);

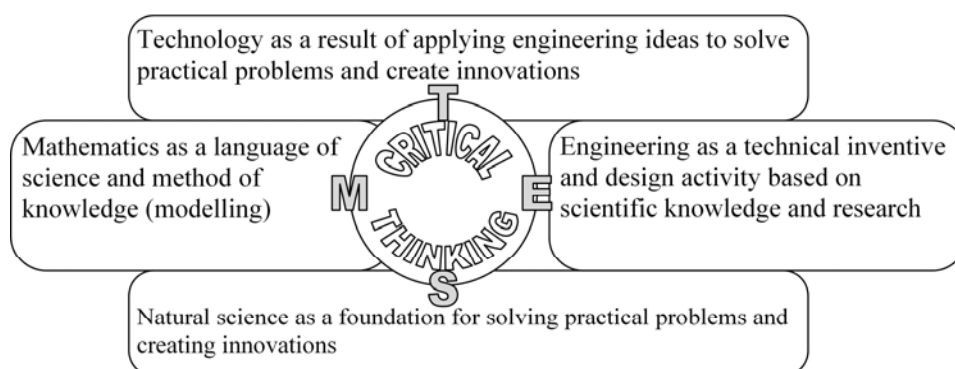
2) M – Mathematics: построить математическую модель проблемы, позволяющую изучить ее существенные аспекты и отбросить несущественные (логическое мышление); сложность моделирования должна соответствовать уровню наиболее подготовленных студентов, чтобы осуществить при командной работе стратегию обучения одними студентами других;

3) E – Engineering: на базе математической модели выдвинуть инженерную идею и оценить ее реализуемость (творческое и рациональное мышление);

4) T – Technology: на основе инженерной идеи найти технологичное решение данной задачи и оценить его оптимальность (рефлексивное мышление).



Критическое мышление в STEM-образовании



Critical thinking in STEM education

Основателем метода развития критического мышления по праву можно считать Сократа, которому принадлежит идея обучения через диалог. Современный преподаватель, утративший функцию главного носителя и транслятора знаний, возвращается к истокам: направляет студента в его работе с информацией, организовывает диспуты и командные состязания, подталкивает к генерации гипотез с помощью вопросов. Обсуждение является одним из наиболее глубоких способов переработки информации. Постановка вопросов мобилизует процессы мышления. Поэтому STEM-кейс состоит из трех частей:

- 1) текстовых блоков с материалом проблемно-ситуационного характера,
- 2) взаимосвязанных заданий как основы диалога,
- 3) информационно-справочных материалов в форме таблиц, схем, графиков, инфограмм, созданных по типу заданий конкурса «Лидер России» и развивающих (в терминах PISA):

- читательскую грамотность как способность к анализу сложной или малоструктурированной вербальной информации, что требуется для понимания смысла текста и получения логических выводов;

- математическую грамотность как способность к анализу числовой информации, представленной в виде графиков, диаграмм и таблиц с избыточными данными, к выявлению закономерностей и тенденций в последовательности данных, что необходимо для установления логических взаимосвязей, отделения существенной информации от малозначительной, обоснованного прогнозирования выводов.

Критическое мышление имеет аффективные, макро- и микрокогнитивные показатели [24, с. 56]. Для их развития различные задания STEM-кейса строятся на разных операциональных процедурах и могут быть названы по соответствующим типам мышления (табл. 2).

Таблица 2

Типы заданий STEM-кейса

Типы заданий	Описание	Тип ответа
Алгоритмические	Расчетные задания, решаются по известному алгоритму	Число / интервал как единственный правильный ответ
Дискурсивные	Задания на проведение логической цепочки теоретических рассуждений	Умозаключение
Эвристические	Задания, предполагающие следование методу научного познания для поиска оптимального решения	Идея новой / усовершенствованной технологии, продукт, прогноз развития ситуации

Table 2

Types of STEM-case tasks

Title	Description	Answer
Algorithmic	Calculation tasks are solved by a known algorithm	Number / interval as the only correct answer
Discursive	Tasks to conduct a logical chain of theoretical reasoning	Inference
Heuristic	Tasks to follow the method of scientific knowledge in order to find the optimal solution	Idea of new / improved technology, product, forecast of the development of the situation

Эвристические задания не имеют заранее известного однозначного ответа: оценивается путь его поиска, логика аргументации, умение формулировать гипотезы, выстраивание коммуникаций в группе. Важно показать, что учебная задача может иметь несколько решений.

Рассмотрим конкретный STEM-кейс. Его полный текст со справочными материалами и заданиями занимает 5 страниц, поэтому мы приведем только краткое содержание задания с разбиением его на ситуацию, проблему и возможные методы ее решения. Фрагменты формулировок, взятые из текста, выделены курсивом. Сюжет вводит обучающихся в мир инженеров, занимающихся подъемом на поверхность судов по технологиям, основанным на изменении агрегатного состояния воды.

Ситуация. В июле 2018 года южнокорейские поисковики компании Shinil Group обнаружили броненосный крейсер «Дмитрий Донской» на дне Японского моря около острова Улындю. Началось обсуждение возможности его подъема на поверхность.

Проблема. Борта и палуба сохранились, но из-за попадания снарядов во время Цусимского сражения корпус имеет повреждения и потерял жесткость, то есть может переломиться при подъеме на поверхность.

Предложение – повысить прочность (жесткость) корпуса путем его замораживания.

Справочные материалы содержат данные о крейсере; характеристиках воды около дна рядом с несколькими островами (в том числе Улындю); описание технологий судоподъема методом заморозки, основанных на патентах № 2219094 и № 2210519. В первом случае через воду в трюме пропускают сжатый воздух, температура которого ниже температуры кристаллизации воды (барботаж). Вода отдает тепло холодному воздуху и намерзает на поверхностях трюма. Во втором случае в трюм

подают криогенную жидкость (жидкий азот), которая при контакте с водой газифицируется, резко увеличивается в объеме и одновременно поглощает большое количество теплоты, превращая воду в лед.

Решение кейса осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. В его основе лежат предметные знания из курса физики, которые необходимо актуализировать и углубить. Процесс кристаллизации соленой воды имеет особенности. Для их выявления студентам предлагается для пресной, солоноватой и соленой воды *описать процесс ее замораживания для подъема со дна 1) Волги «Саратовского ледокола», затонувшего в 1968 году; 2) Черного моря парохода «Веста», потерпевшего крушение в 1887 году; 3) Баренцева моря транспортного судна «Томас Дональдсон», торпедированного немецкими подлодками в 1945 году.* Справочный материал: таблица солености морей, графики зависимости плотности воды-льда от температуры в интервале от -80°C до 30°C для воды различной солености, описания процессов замерзания воды с разной соленостью.

Поскольку рассматриваются две технологии заморозки, преподаватель разделяет студентов на две команды, каждая из которых разрабатывает свою гибридную технологию из двух этапов: заморозки и подъема корабля.

Магистранты одной учебной группы обычно имеют различное базовое образование: чаще всего это учителя математики, информатики и естественных наук (физики, химии, биологии, географии), инженеры и экономисты. Команды лучше формировать по принципу максимального несовпадения имеющегося образования и опыта работы, но с учетом ротации команд при выполнении различных кейсов. Выбор командного состава на основе схожести предшествующего образования или опыта ведет к принятию неудачных стратегических решений и резкому снижению вероятности успеха [25, с. 4]. Работа специалистов в разных областях знания учит смотреть на проблему под различным углом зрения.

Изучение барботажа организуется с помощью пневматического распылителя высокого давления. Это баллончик с длинной гибкой трубкой, которая опускается в стальной стакан, наполненный холодной водой и плавающий в емкости с такой же водой. При пропускании струи сжатого воздуха через воду на стенках стакана внутри и снаружи образуется лед. В эксперименте студенты могут регулировать интенсивность струи воздуха, соленость и температуру воды, менять стакан на маленький полый стальной цилиндр и т. д., организуя те эксперименты, которые они определяют для себя как необходимые для осознания особенностей данной технологии. Таблица зависи-

мости плотности льда от пористости и данные о зависимости прочности и монолитности льда от его плотности прилагаются.

При барботаже можно регулировать температуру и интенсивность струи воздуха. При высокой интенсивности барботажа получается пористый лед, при низкой интенсивности – монолитный. Сравните два режима барботажа: 1) высокоинтенсивный при температуре воздуха порядка -23°C , 2) слабоинтенсивный при температурах -60°C и ниже. Какой из режимов следует использовать для наморозки льда на корпус, а какой при заполнении пространства трюма и почему?

Данное задание относится к дискурсивным. Следствием анализа режимов должен стать вывод о наличии нескольких кристаллических состояний воды с разными физическими свойствами, что позволяет не только увеличить прочность корпуса, но и повысить плавучесть корабля за счет особенности твердого агрегатного состояния воды (плотность пористого льда существенно меньше плотности воды).

Аналогичным образом другая подгруппа студентов рассматривает особенности технологии криозаморозки.

Цепочка логических рассуждений на основе анализа справочной и опытной информации приводит к углублению предметных знаний до уровня, позволяющего понять предложенные технологии. Студенты оценивают знания, которыми обладает команда, и распределяют задания по поиску недостающей информации (формирование метакогнитивных умений [26, с. 6]). На этапе математического моделирования по успешности выполнения заданий выявится, имеется ли у кого-либо из студентов феномен «иллюзии знания» – метакогнитивное искажение, ведущее к преувеличению своего уровня понимания материала.

Математическое моделирование позволяет оценить реалистичность технологий: определить объем работ и выявить ожидаемые трудности. Задания на расчет объема льда, массы подвергнутой заморозке воды, выделившейся энергии относятся к алгоритмическим. Моделирование покажет, что для подъема крейсера, имеющего сталежелезную броню толщиной 127–152 мм, одной подъемной силы льда недостаточно, даже при почти полном заполнении трюма пористым льдом.

На инженерном этапе идет генерация идей, связывающих технологии заморозки с механическими способами судоподъема. Крейсер находится на глубине 434 метра, поэтому, кроме патентных данных о надводных и подводных грузоподъемных машинах и механизмах, справочный материал содержит информацию о допустимых глубинах погружения и длительности нахождения на этих глубинах акванавтов, сведения о па-

раметрах и возможностях необитаемых телеуправляемых подводных аппаратов. Разработка технологии на основе сопоставления, анализа и интерпретации информации с выдвиганием аргументированных предложений – пример эвристического задания.

Задача преподавателя – вызвать и координировать дискуссию, способствующую развитию макрокогнитивных показателей критического мышления, связанных с умением рассуждать диалогически, оценивать надежность информации, анализировать гипотезы и аргументы оппонентов, ясно излагать свою точку зрения.

Анализ и самоанализ (рефлексия) разработанных технологий осуществляются в деловой игре, по правилам которой необходимо *доказать преимущества своей технологии относительно технологии команды соперников и добиться контракта на судоподъем у «комиссии».*

Таким образом, при решении данного STEM-кейса развиваются все составляющие критического мышления.

Рассмотрение ситуаций с тремя другими описанными в кейсе судами – «Саратовским ледоколом», «Вестой» и «Томасом Дональдсоном», – находящимися на существенно меньших глубинах (4, 45 и 56 метров соответственно) переносится на зачет, чтобы задействовать «эффект Зейгарник»: над незавершенным заданием продолжается внутренняя мыслительная работа и оно запоминается в 1,9 раза лучше, чем завершенное.

После введения STEM-кейсов в учебную практику и выполнения заданий диагностика показала, что у магистрантов статистически значимо улучшились результаты в области генерации новых идей, построения логической аргументации, разработки плана исследования с предвидением результатов и возможных ошибок.

В качестве подтверждающего примера в табл. 3 представлены данные об изменении у участников исследования (12 чел.) в течение осеннего семестра 2018 г. одного из компонентов критического мышления – творческого. Динамика его изменения наиболее наглядна, поскольку в некоторых случаях достаточно переориентировать самовосприятие человека с позиции «пользователя» на «созидателя», преодолеть определенный психологический барьер, и творческие способности «просыпаются», порождая радостные ощущения у их обладателя.

Следует сделать некоторые пояснения по поводу выбора экспериментальной группы и длительности исследования. Они были обусловлены двумя причинами. Во-первых, студенты данной группы при предварительной диагностике (типы ее заданий указаны во втором столбце табл. 1) показали хороший уровень сформированности всех компонентов критического мышле-

ния, кроме творческого, – они справились менее чем с 13% заданий на генерацию идей разрешения проблемных научных и инженерно-технических ситуаций. Во-вторых, в учебный план осеннего семестра 2018 г. входила дисциплина «Методика обучения естествознанию в средней школе», на каждом из практических занятиях которой изучались STEM-кейсы, а также дисциплины, в которых творческое мышление проявлялось наиболее рельефно («Методика организации проектной деятельности», «Инновационные технологии в образовании», «Естественно-научный проект»), что дало хорошую возможность для сравнения результатов диагностики и данных наблюдения за работой студентов на занятиях.

Таблица 3

Изменение уровня творческого мышления участников исследования
(n = 12)

Время от начала эксперимента	Оценка уровня творческого мышления			
	Данные согласно методу диагностики, %	Данные согласно методу наблюдения		
		Предложение идей проектов, чел. / %	Создание игровых опросов, чел. / %	Выполнение творческих заданий, %
0	13	1 / 8,3	2 / 17	14,3
1 месяц	28	4 / 33	3 / 25	33
3 месяца	76	8 / 67	10 / 83%	84

Table 3

Comparison of the assessment of the level of creative thinking using diagnostic and monitoring methods (n = 12)

The time from the start of the experiment	Assessment of the level of creative thinking (12 students)			
	Diagnostically, %	By observation		
		Suggestion of project ideas, people / %	Creating game polls, people / %	Solution of creative tasks, %
0	13	1 (8,3)	2 (17)	14,3
1 month	28	4 (33)	3 (25)	33
3 months	76	8 (67)	10 (83)	84

Результаты ведущегося в течение 2018 г. наблюдения за работой студентов над проектом, созданием опросника и решением на занятиях творческих заданий вполне соответствовали данным диагностики (табл. 3). Изначально только один студент (8,3% от общего числа студентов) предложил идею проекта, имеющую некоторую степень новизны и соответствующую теме магистерской диссертации: создание портативного прибора для фиксации сигналов ЭКГ на основе набора «Юный ней-

ромоделист» (новизна заключалась в эргономичности и дизайне). Средний процент первично выполненных творческих заданий по работе с инновационными технологиями (например, предложение создать сценарий учебной игры с использованием компьютерного симулятора NukeMap3D или модели solarsystemscope.com) составил 14,3%.

После месяца работы с кейсами количество идей увеличилось на три: разработка термостелек на основе принципа расположения кровеносных сосудов в лапах пингвинов и собак (новый продукт); конструирование автономного робота для очистки от снега козырьков подъездов (усовершенствованный продукт для нового применения); создание переносной холодильной камеры на основе элементов Пельтье (более дешевый продукт с дополнительными функциями). Интересно, что все три идеи связаны с холодом, а самый значительный из изученных кейсов посвящен технологиям замораживания. Аналогично при выполнении творческих заданий существенно возросло число интересных идей, явно навеянных изученными кейсами. Например, интерактивный музей золотого сечения на платформе Instagram (*museum_golden_section*) возник после изучения кейса, посвященного моделированию динамики биологических систем, который начинается с описания «кроликов Фибоначчи» и чисел «золотого сечения».

Спустя два месяца работы с кейсами еще 4 студента нашли новые идеи и изменили свои проекты. Из оставшихся студентов двое воспользовались идеями одноклассников, а двое продолжили работу над проектами с субъективной новизной. Игровые опросники с интересными заданиями, соответствующими заявленным целям, создали 10 человек (83%). Два оставшихся опросника были доработаны до приемлемого уровня с помощью советов одноклассников. Влияние работы с кейсами на результаты проектной деятельности объяснимо тем, что STEM-кейсы являются мини-проектами, поскольку связаны с актуальными проблемами реального мира и требуют контекстуального использования знаний [27, с. 289], а проектное мышление взрослых людей в определенной степени содержит все компоненты мышления критического. Проектное мышление меняется по мере созревания отделов мозга. Например, префронтальная кора, играющая ведущую роль в создании сложных когнитивных схем, планировании, контроле принятия решений, контроле и регуляции внутренней деятельности [28], развивается последней и формируется до 25 лет [29], поэтому, например, нельзя говорить о сложившемся критическом мышлении подростков.

Важно отметить, что проекты всех 12 студентов за семестр были доведены до стадии продукта, с февраля 2019 г. они участвуют в конкурсах, и их результаты публикуются в научно-методической периодике. Например, статья

о проектировании холодильника размещена в журнале «Стандарты и мониторинг в образовании» (2019. Т. 7. № 1. С. 27–31), описания трех проектов подготовлены к печати в журнале «Школа и производство», еще два проекта на данный момент дорабатываются в соответствии с замечаниями редакции журнала «Физика для школьников».

Осознание студентами того факта, что изучаемые на занятиях кейсы можно использовать в собственной преподавательской деятельности, существенно влияет на их мотивацию к исследованию сути предлагаемых проблемных ситуаций, глубину проработки и запоминания материала. Наблюдаются такие проявления творчества магистрантов, как генерирование «по мотивам» STEM-кейсов тем ученических проектов и разработка собственных кейс-задач. Введение STEM-кейсов в образовательный процесс не вызывает характерного для учительского корпуса отторжения нововведений [30, с. 6], поскольку обучающиеся в магистратуре учителя проходят все этапы интериоризации инноваций во время обучения. Конечно, нельзя утверждать, что в своей профессиональной деятельности выпускники, изучавшие естествознание с помощью STEM-кейсов, смогут готовить своих учеников к выполнению «работ, которых еще не существует, используя инструменты, которые еще не изобретены»¹. Но определенные шаги в этом направлении они уже делают.

Заключение

Необходимость инновационного научно-технологического развития требует от системы образования формирования человека, способного генерировать и критически оценивать новые идеи, разрабатывать и реализовывать их на основе понимания перспектив и возможностей внедрения, для чего он должен научиться мыслить критически и, желательно, иметь научно-инженерную подготовку, поскольку большинство инноваций создается в технической сфере, в том числе в области компьютерных технологий. Перенести на российскую почву опыт стран – лидеров инновационного рейтинга сложно как из-за неизбежности серьезной адаптации учебных материалов вплоть до полной их переделки, так и из-за специфики оценивания качества образования с помощью Основного и Единого государственных экзаменов (ОГЭ и ЕГЭ), Федерального интернет-экзамена в сфере профессионального образования (ФЭПО) и т. п., нацеленных на запоминание и воспроизведение информации.

¹ Интервью с ректором Университета Ричмонда Рональдом Кручером // Вопросы образования. 2015. № 4. С. 28.

В связи с этим нужна разработка определенного типа учебных заданий (STEM-кейсов), которые позволяли бы развивать у обучающихся обязательные для инновационной деятельности творческий, рациональный, логический, рефлексивный и метакогнитивный компоненты мышления при одновременном формировании естественно-научной и технологической грамотности [31, с. 51].

При невозможности провести быстрые изменения всей системы образования следует совершенствовать мышление учителей средней школы, а через них – и мышление учащихся. Так, замена на некоторых уроках физики типовых заданий короткими STEM-кейсами способствует решению таких выявленных исследованием PISA проблем, как недостаточная практика применения знаний в реальных ситуациях и слабое представление о проблемах современной науки и техники; стимулирует генерирование идей ученических проектов, улучшает аргументацию и оценку реализуемости предложенных идей [32, с. 25].

Опыт применения STEM-кейсов при обучении школьников также доказывает существенное влияние выполнения таких заданий на качество проектной деятельности учащихся: приумножение количества идей, более глубокая их проработанность, рост количества и качества рационализаторских предложений, обретение навыков выстраивания логики аргументации свидетельствуют о развитии у обучающихся выделенных компонентов критического мышления и зарождении интереса к инновационной деятельности.

Список использованных источников

1. Пенроуз Р. Тени разума: В поисках науки о сознании / пер. с англ. А. Р. Логунова, Н. А. Зубченко. Ижевск: ИКИ, 2005. С. 688.
2. Черниговская Т. В. Языки человека: мозг и культура // Психологические и нейролингвистические аспекты процесса распознавания вербальных и невербальных паттернов коммуникации: коллективная монография / под науч. ред. Т. В. Черниговской, Ю. Е. Шелепина, О. В. Защиринской. Санкт-Петербург: БВМ, 2016. С. 11–16.
3. Fayer S., Lacey A., Watson A. STEM Occupations: Past, Present, And Future U. S. BUREAU OF LABOR STATISTICS Spotlight on Statistics 2017. Available from: <https://www.bls.gov/spotlight/2017/science-technology-engineering-and-mathematics-stem-occupations-past-present-and-future/pdf/science-technology-engineering-and-mathematics-stem-occupations-past-present-and-future.pdf> (дата обращения: 26.03.2019)
4. Dunn J. Critical Thinking in Japanese Secondary Education: Student and Teacher Perspectives // Critical Thinking and Language Learning. 2015. № 2. P. 29–39.

5. Saravanan V. Thinking Schools, Learning Nations' Implementation of Curriculum Review in Singapore Article // Educational Research for Policy and Practice. August 2005. Vol. 4 (2). P. 97–113. DOI: 10.1007/s10671-005-1543-x
6. Hassan S. R., Rosli R, Zakaria E. The use of i-think map and questioning to promote higher-order thinking skills in mathematics // Creative Education. 2016. Vol. 7 (07). P. 1069–1078.
7. Халперн Д. Психология критического мышления / пер. с англ. Москва: Питер, 2000. 512 с.
8. Солодихина М. В., Солодихина А. А., Немолочнов Е. В. Проектная деятельность и критическое мышление // Физика в школе. 2018. № 2с. С. 289–291.
9. Facione P. Critical thinking: What is it and why it counts. Measured Reasons and the California Academic Press, Millbrae, CA, 2010. 28 p. Available from: https://www.nyack.edu/files/CT_What_Why_2013.pdf
10. Mulnix J. W. «Thinking critically about critical thinking» // Educational Philosophy and Theory. 2010. № 44. P. 471. DOI:10.1111/j.1469-5812.2010.00673.x
11. Ризви С., Доннелли К., Барбер М. Океаны инноваций. Атлантический океан, Тихий океан, мировое лидерство и будущее образования / пер. с англ. Н. Микшиной // Вопросы образования. 2012. № 4. С. 109–185.
12. Пентин А., Ковалева Г., Давыдова Е., Смирнова Е. Состояние естественнонаучного образования в российской школе по результатам международных исследований TIMSS и PISA // Вопросы образования. 2018. № 1. С. 79–109.
13. Griffiths D. H. Physics teaching: Does it hinder intellectual development? // American Journal of Physics. 1976. Vol. 44, № 1. P. 81–85. Available from: <https://doi.org/10.1119/1.10144> (дата обращения: 26.03.2019)
14. Любимов А. А. Стандарты надо неукоснительно выполнять, а не корректировать. Размышления по прочтении статьи О. Е. Лебедева «Конец системы обязательного образования?» // Вопросы образования. 2017. № 2. С. 258–282.
15. Загвязинский В. И., Шафранов-Куцев Г. Ф., Андреева О. С., Белякова Е. Г., Володина Е. Н., Волосникова Л. М., Дегтярев С. Н., Емельянова И. Н., Ефимова Г. З., Закирова А. Ф., Захарова И. Г., Мелихова А. А., Муравьева Н. Г., Селиванова О. А., Строкова Т. А. Подготовка педагога-исследователя в университетском образовании: коллективная монография. Тюмень, 2017 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://tmnlib.ru:82/upload/books/PPS/Zagvyazinskij_514_Kol-monografiya_2017.pdf (дата обращения: 26.03.2019)
16. Волков Е. Н. Научение научному (критическому) мышлению и визуальная объективизация знаний: содержание, практика, инструменты // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2016. № 2 (42). С. 199–203.
17. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. 2-е изд., дополн. Петрозаводск: Скандинавия, 2004.
18. Семенов И. Н., Степанов С. Ю. Рефлексия в организации творческого мышления и саморазвитии личности // Вопросы психологии. 1983. № 2. С. 35–42.

19. Шпитцер М. Антимозг: цифровые технологии и мозг / пер. с немецкого А. Г. Гришина. Москва: АСТ, 2014. 288 с.
20. Gerring J. What Is a Case Study and What Is It Good for? // *American Political Science Review*. 2004. Vol. 98. Issue 2. P. 341–354.
21. Смолянинова О. Г., Храмова Л. Н., Колокольникова З. У., Митросенко С. В., Лобанова О. Б. Реализация кейс-технологий в профессиональной подготовке будущего педагога // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 4.
22. Kaufman S. B., Quilty L. C., Grazioplene R. G., Hirsh J. B., Gray J. R., Peterson J. B., DeYoung C. G. Openness to Experience and Intellect differentially predict creative achievement in the arts and sciences // *Journal of Personality*. 2015. Vol. 84. P. 248–258.
23. Казун А. П., Пастухова Л. С. Практики применения проектного метода обучения: опыт разных стран // *Образование и наука*. 2018. Т. 20. № 2. С. 32–59 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2018-2-32-59> (дата обращения: 26.03.2019)
24. Paul R., Binker A., Martin D., Adamson K. *Critical Thinking Handbook*. Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking, 1995. 56 p.
25. Gompers P. A., Mukharlyamov V., Xuan Y. The cost of friendship // *Journal of Financial Economics*. 2016. Vol. 119, № 3. P. 626–644. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2016.01.013> (дата обращения: 26.03.2019)
26. Tobias S., Everson H. T. Knowing what you know and what you don't: further research on metacognitive knowledge monitoring // *College Board Research Report*. 2002. № 3. New York. Available from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED562778.pdf> (дата обращения: 26.03.2019)
27. Helle L., Tynjälä P., Olkinuora E. Project-Based Learning in Post-Secondary Education Theory, Practice and Rubber Sling Shots // *Higher Education*. 2006. Vol. 51. Issue 2. P. 287–314.
28. Bos M. G., Wierenga L. M., Blankenstein N. E., Schreuders E., Tamnes C. K., Crone E. A. Longitudinal structural brain development and externalizing behavior in adolescence // *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*. 2018. Sep 25. Vol. 59 (10). P. 1061–1072. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6175471/> (дата обращения: 26.03.2019)
29. Toga A. W., Thompson P. M. Mapping Brain Asymmetry // *Nature Reviews Neuroscience*. 2003. Vol. 4 (1). P. 37–48. Available from: <https://www.nature.com/articles/nrn1009> (дата обращения: 26.03.2019)
30. Загвязинский В. И., Строкова Т. А. Сопротивление инновациям: сущность, способы профилактики и преодоления // *Образование и наука*. 2014. № 3 (112). С. 3–21
31. Солодихина М. В. Взаимосвязь двух содержательных линий учебного предмета «Естествознание» // *Физика в школе*. 2016. № 2. С. 50–55.
32. Солодихина М. В., Одинцова Н. И. Кейс-задачи на уроках физики // *Физика в школе*. 2019. № 1. С. 18–26.

References

1. Penrose R. *Teni razuma: V poiskah nauki o soznanii = Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*. Translated from English by A. R. Logunov, N. A. Zubchenko. Izhevsk: IKI; 2005. p. 688. (In Russ.)
2. Chernigovskaya T. V. *Jazyki cheloveka: mozg i kul'tura = Languages of the person: brain and culture. Psihofiziologicheskie i nejrolingvisticheskie aspekty processa raspoznavanija verbal'nyh i neverbal'nyh patternov kommunikacii = Psychophysiological and neuro-linguistic aspects of the process of recognition of verbal and non-verbal patterns of communication*. Under the editorship of T. V. Chernigov, Yu. E. Shelepin, O. V. Zashchirinskaya. St.-Petersburg: VVM; 2016. p. 11–16. (In Russ.)
3. Fayer S., Lacey A., Watson A. *STEM Occupations: Past, present, and future. Spotlight on Statistics [Internet]*. Washington, DC: U. S. Bureau of Labor Statistics; 2017 [cited 2019 Mar 26]. Available from: <https://www.bls.gov/spotlight/2017/science-technology-engineering-and-mathematics-stem-occupations-past-present-and-future/pdf/science-technology-engineering-and-mathematics-stem-occupations-past-present-and-future.pdf>
4. Dunn J. Critical Thinking in Japanese secondary education: Student and teacher perspectives. *Critical Thinking and Language Learning*. 2015; 2: 29–39.
5. Saravanan V. Thinking schools for learning and practice. *Educational Research for Policy and Practice*. 2005 Aug; 4 (2): 97–113. DOI: 10.1007 / s10671-005-1543-x}
6. Hassan S. R., Rosli R., Zakaria E. The use of i-think map and questioning to promote higher-order thinking skills in mathematics. *Creative Education*. 2016; 7 (07): 1069–1078.
7. Halpern D. *Psihologija kriticheskogo myshlenija = Psychology of critical thinking*. Translated from English Moscow: Publishing House Piter; 2000. 512 p. (In Russ.)
8. Solodikhina M. V., Solodikhina A. A., Nemolochnov E. V. Project-based activity and critical thinking. *Fizika v shkole = Physics at School*. 2018; 2c: 289–291. (In Russ.)
9. Facione P. *Critical thinking: What it is and why it counts. Measured Reasons and the California Academic Press*; 2010. 28 p.
10. Mulnix J. W. “Thinking critically about critical thinking”. *Educational Philosophy and Theory*. 2010; 44: 471. DOI: 10.1111 / j.1469-5812.2010.00673.x
11. Rizvi S., Donnelly K., Barber M. *Oceans of innovation. The Atlantic, the Pacific, Global Leadership and the Future of Education*. Translated from English by N. Mikshina. *Voprosy obrazovaniya = Education Issues*. 2012; 4: 109–185. (In Russ.)
12. Pentin A., Kovaleva G., Davydova E., Smirnova E. Science Education in Russian Schools as Assessed by TIMSS and PISA. *Voprosy obrazovaniya = Education Issues*. 2018; 1: 79–109. (In Russ.)
13. Griffiths D. H. Physics teaching: Does it hinder intellectual development? *American Journal of Physics [Internet]*. 1976 [cited 2019 Mar 26]; Vol. 44; 1: 81–85. Available from: <https://doi.org/10.1119/1.10144>

14. Lyubimov L. L. Learning standards must be scrupulously implemented, not improved. Reflections on the end of compulsory education? By Oleg Lebedev. *Voprosy obrazovaniya = Education Issues*. 2017; 2: 258–282. (In Russ.)
15. Zagvyazinsky V. I., Shafranov-Kutsev G. F., Andreeva O. S., Belyakova E. G., Volodina E. N., Volosnikova L. M., et al. Podgotovka pedagoga-issledovatelja v universitetskom obrazovanii = Training of a teacher-researcher in university education [Internet]. Tyumen; 2017 [cited 2019 Mar 26]. Available from: http://tmnlib.ru:82/upload/books/PPS/Zagvyazinskij_514_Kol-monografiya_2017.pdf (In Russ.)
16. Volkov E. N. Learning to scientific (critical) thinking and visual objectification of knowledge: Maintenance, practice, tools. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Serija: Social'nye nauki = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. Series: Social Sciences*. 2016; 2 (42): 199–203. (In Russ.)
17. Altshuller G. S. *Tvorchestvo kak tochnaya nauka = Creativity as exact science*. 2nd ed. Petrozavodsk: Publishing House Scandinavia; 2004. (In Russ.)
18. Semenov I. N., Stepanov S. Yu. Refleksiya v organizacii tvorcheskogo myshleniya i sa-morazvitii lichnosti. *Voprosy psihologii = Psychology Issues*. 1983; 2: 35–42. (In Russ.)
19. Spitzer M. *Antimozg: cifrovyte tekhnologii i mozg = Antibrain: digital technology and the brain*. Translation from German by A. G. Grishin. Moscow: Publishing House AST; 2014. 288 p. (In Russ.)
20. Gerring J. What is a case for it? *American Political Science Review*. 2004; 98, Issue 2: 341–354.
21. Smolyaninova O. G., Khramova L. N., Kolokolnikova Z. U., Mitrosenko S. V., Lobanova O. B. Realisation of a case technologies in vocational education of future teacher. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education* [Internet]. 2015 [cited 2019 Mar 26]; 4. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20683> (дата обращения: 26.03.2019) (In Russ.)
22. Kaufman S. B., Quilty L. C., Grazioplene R. G., Hirsh J. B., Gray J. R., Peterson J. B., et al. Differentially predict creative sciences and sciences. *Journal of Personality*. 2015; 84: 248–258.
23. Kazun A. P., Pastukhova L. S. The practices of project-based learning technique application: Experience of different countries. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal* [Internet]. 2018 [cited 2019 Mar 26]; 20 (2): 32–59. Available from: <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2018-2-32-59> (In Russ.)
24. Paul R., Binker A., Martin D., Adamson K. *Critical thinking handbook*. Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking; 1995. 56 p.
25. Gompers P. A., Mukharlyamov V., Xuan Y. The cost of friendship. *Journal of Financial Economics* [Internet]. 2016 [cited 2019 Mar 26]; 119, № 3: 626–644. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2016.01.013>

26. Tobias S., Everson H. T. Knowing what you know and what you don't: Further research on metacognitive knowledge monitoring. *College Board Research Report* [Internet]. 2002 [cited 2019 Mar 26]; 3. New York. Available from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED562778.pdf>

27. Helle L., Tynjälä P., Olkinuora E. Project-based learning in the secondary theory, practice and rubber sling shots. *Higher Education*. 2006; 51, Issue 2: 287–314.

28. Bos M. G., Wierenga L. M., Blankenstein N. E., Schreuders E., Tamnes C. K., Crone E. A. Longitudinal structural brain development and externalising behaviour in adolescence. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines* [Internet]. 2018 Sep 25 [cited 2019 Mar 26]; 59 (10): 1061–1072. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6175471/>

29. Toga A. W., Thompson P. M. Mapping brain asymmetry. *Nature Reviews Neuroscience* [Internet]. 2003 Jan [cited 2019 Mar 26]; 4 (1): 37–48. Available from: <https://www.nature.com/articles/nrn1009>

30. Zagvyazinsky V. I., Strokova T. A. Resistance to innovation: Essence, preventive measures and ways out. *Образование и наука = The Education and Science Journal*. 2014; 3 (112): 3–21. (In Russ.)

31. Solodikhina M. V. Interrelation of two substantial lines of the subject “Natural sciences”. *Fizika v shkole = Physics at School*. 2016; 2: 50–55. (In Russ.)

32. Solodikhina M. V., Odintsova N. I. Cases in physics lessons. *Fizika v shkole = Physics at School*. 2019; 1: 18–26. (In Russ.)

Информация об авторах:

Солодихина Мария Владиславовна – доцент кафедры естественных наук и инновационных технологий Института физики, технологии и информационных систем Московского педагогического государственного университета, Москва, Россия. E-mail: mv.solodikhina@mpgu.su

Солодихина Анна Александровна – специалист отдела по взаимодействию с социальными партнерами и общественными организациями ФГБОУ ВДЦ «Смена»; преподаватель кафедры менеджмента инноваций, трекер инновационных проектов на майноре «Стартап с нуля», куратор студенческих команд на направлении «Внутрикорпоративное предпринимательство», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия. E-mail: aasolodikhina@edu.hse.ru

Статья поступила в редакцию 9.11.2018; принята в печать 13.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Maria V. Solodikhina – Associate Professor, Department of Natural Sciences and Innovative Technologies, Institute of Physics, Technology and Information Systems, Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russia. E-mail: mv.solodikhina@mpgu.su

Anna A. Solodikhina – Specialist, Department for Interaction with Social Partners and Public Organisations of the Russian Children’s Center “Smena”; Lecturer of the Department of Innovation Management, Tracker of innovative projects in the “Startup from Scratch” direction, Curator of student teams in the “Intra-Corporate Entrepreneurship” direction, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia. E-mail: aasolodikhina@edu.hse.ru

Received 9.11.2018; accepted for publication 13.02.2019.
The authors have read and approved the final manuscript.