
ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ

УДК 378 + 37.01

DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34

РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНОСТИ СОДЕРЖАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В. А. Тестов

*Вологодский государственный университет, Вологда, Россия.
E-mail: vladafan@inbox.ru*

Е. А. Перминов

*Российский государственный профессионально-педагогический университет,
Екатеринбург, Россия.
E-mail: perminov_ea@mail.ru*

Аннотация. *Введение.* В модернизации современного образования преобладающей тенденцией становится более глубокий (по сравнению с междисциплинарным) трансдисциплинарный уровень познания, порождающий универсальную методологию, способную решать сложные многофакторные междисциплинарные проблемы природы и общества. Появляются трансдисциплинарные научные области, такие как кибернетика, теория катастроф, синергетика, искусственный интеллект, большие данные и др. Все эти концепции были разработаны на основе достижений математики за последние 70–80 лет, эпоху математизации наук. В результате эта наука стала основой языка информационных технологий и процессов и тем самым породила глобальную цифровую трансформацию общества на основе использования уникальных возможностей компьютера.

Цель статьи – исследовать роль математики в трансдисциплинарной тенденции в обновлении содержания образования с целью вывода образования на более высокий (по сравнению с междисциплинарностью) уровень на основе включения в содержание обучения современных математических теорий и методов и их применений в зависимости от направления и профиля подготовки студентов в вузах.

Методология и методики. В исследовании использовались системный, культурологический и метапредметный подходы в ходе анализа роли математики в образовании при решении междисциплинарных проблем модернизации содержания образования (на основе наиболее ярких проявлений современной математической культуры). В результате синтеза этих подходов возникает целостное научное мировоззрение, не только выходящее за рамки традиционных дисциплин и методов, но и находящееся над ними.

Результаты и научная новизна. Проведен анализ трансдисциплинарной тенденции в постиндустриальном образовании. Исследованы математико-педагогические аспекты реализации системного, культурологического и метапредметного подходов в выводе образования на более высокий уровень. При этом обосновано использование в обучении

математического моделирования, дискретной математики, вычислительных процессов и искусственного интеллекта для формирования у студентов нового, наддисциплинарного способа мышления, овладения общекультурной когнитивной стратегией в решении профессиональных и транспрофессиональных задач.

Практическая значимость. Материалы статьи вносят вклад в реализацию трансдисциплинарной тенденции в содержании подготовки студентов и будут интересны как теоретикам образования, так и преподавателям, ведущим профессиональную подготовку студентов многих направлений, и всем, кто заинтересован в благополучном будущем системы образования.

Ключевые слова: междисциплинарность образования, обновление содержания, методология моделирования, искусственный интеллект, большие данные.

Благодарности. Авторы благодарят анонимных рецензентов, ознакомившихся со статьей и сделавших ценные замечания, позволившие улучшить ее качество.

Для цитирования: Тестов В. А., Перминов Е. А. Роль математики в трансдисциплинарности содержания современного образования // Образование и наука. 2021. Т. 23, № 3. С. 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34

THE ROLE OF MATHEMATICS IN TRANSDISCIPLINARITY CONTENT OF MODERN EDUCATION

V. A. Testov

Vologda State University, Vologda, Russia.
E-mail: vladafan@inbox.ru

E. A. Perminov

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia.
E-mail: perminov_ea@mail.ru

Abstract. Introduction. In the context of modernisation in modern education, a deeper (by contrast to interdisciplinary) transdisciplinary level of cognition is becoming prevalent. Transdisciplinary level generates a universal methodology capable of addressing the complex multi-factorial interdisciplinary problems of nature and society. The result is transdisciplinary branches of science such as cybernetics, disaster theory, synergetics, artificial intelligence, big data, etc. All these concepts have been developed on the basis of the achievements of mathematics over the past 70-80 years, the era of mathematical sciences. As a consequence, mathematics has become the basis of the language of information technologies and processes, and, thereby, this science has given rise to a global digital transformation of society based on the use of the unique computer capabilities.

The *aim* of the present research was to explore the role of mathematics in the transdisciplinary trend in updating the content of education with a view to bringing education to a higher (by contrast to interdisciplinary) level, based on the inclusion of modern mathematical theories

and methods in the content of education and their applications depending on the direction and profile of the student training.

Methodology and research methods. In the course of research, the systemic, cultural, and meta-subject approaches were employed to analyse the role of mathematics in education and to solve the transdisciplinary problems of education content modernisation (based on the most striking manifestations of modern mathematical culture). As a result of the synthesis of these approaches, a holistic scientific worldview emerges, which not only goes beyond the traditional disciplines and methods, but also appears above them.

Results and scientific novelty. The analysis of transdisciplinary trend in postindustrial education was carried out. Mathematical and pedagogical aspects of the implementation of systemic, cultural and meta-subject approaches were investigated in order to achieve a higher level of educational process. At the same time, the authors justified the use of mathematical modelling, discrete mathematics, computational processes and artificial intelligence in the training, i.e. formation of a new superdisciplinary way of thinking in students, acquisition of a general cultural cognitive strategy to perform professional and transprofessional tasks.

Practical importance. The findings of the current publication contribute to the realisation of the transdisciplinary trend in the content of student training, and will be of interest to both educational theorists and teachers, who train students in many fields. Moreover, this work will be useful for all those interested in the future advancement of the system of education.

Keywords: interdisciplinary education, content updating, modelling methodology, artificial intelligence, big data.

Acknowledgements. The authors thank the anonymous reviewers for their careful reading of the article and their insightful comments, which significantly helped improve its quality.

For citation: Testov V. A., Perminov E. A. The role of mathematics in transdisciplinarity content of modern education. *The Education and Science Journal*. 2021; 23 (3): 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34

Введение

Как известно, кризис современной системы образования в значительной степени обусловлен ориентацией на узкодисциплинарный подход, жесткое разграничение содержания образования на различные дисциплины. В силу указанных причин у обучающихся формируется фрагментарность видения реальности, более того, происходит ее искажение, несоответствие условиям современного информационного общества. Фрагментарность восприятия мира у подрастающего поколения особенно возрастает в современных условиях экспоненциального роста объема информации и массового применения цифровых технологий.

Окружающий нас мир фактически имеет междисциплинарный характер. Поэтому чтобы ориентироваться в реальности, научиться применять полученные знания, человеку еще в процессе обучения в школе и вузе

нужно приобрести умение интегрировать знания из различных дисциплин, достигать их синтеза.

Для решения этой задачи необходима система образования, дающая подрастающему поколению целостное представление об окружающем мире. Оно возможно только в случае применения в образовании междисциплинарного подхода, имеющего определяющее значение как в подготовке профессионалов в традиционном смысле этого термина, так и в подготовке транспрофессионалов – специалистов, сочетающих в себе одновременно несколько видов профессиональных квалификаций.

В науке в настоящее время преобладающей тенденцией становится более глубокий, чем междисциплинарный, синтез знания, выводящий его на новый, более высокий (трансдисциплинарный) уровень познания и порождающий универсальную методологию, способную решать сложные многофакторные проблемы природы и общества. В результате применения новой методологии появляются такие научные области, как общая теория систем, теория информации, кибернетика, теория катастроф, синергетика, искусственный интеллект и др., которые отличает принципиальное игнорирование междисциплинарных границ. Все эти концепции в эпоху математизации наук (т. е. процесса проникновения идей и методов математики в самые различные области науки) были разработаны на основе достижений математики. Появились и новые трансдисциплинарные категории, к которым можно отнести понятия модели, операции, отношения, изоморфизма, алгоритма и ряд других, которые стали основой системного осмысления методологии математического моделирования как новой исследовательской культуры. За последний век математика превратилась в мощный инструментальный исследования в самых различных науках, что привело к формированию целого ряда «математизированных» наук. Она стала основой языка информационных технологий и процессов и тем самым породила глобальную цифровую трансформацию общества на основе использования уникальных возможностей компьютера.

Начавшееся в эпоху математизации наук бурное развитие кибернетики, компьютерной техники, а затем и интернета привело к возникновению и развитию нового стиля научного мышления. Перечисленные процессы сформировали в современной науке ядро трансдисциплинарной революции, ключевую роль в которой играет феномен компьютера, поэтому ее также называют компьютерной, или цифровой. По мнению L. Floridi, трансдисциплинарная революция обозначает переход человечества от собственно истории к гиперистории [1]. Поэтому в условиях лавинообразного увеличения объема различной информации возникла необходимость подготовки достаточно большого количества специалистов в сфере цифровых технологий,

обладающих трансдисциплинарными навыками в анализе той или иной информации, ее сущности и значимости, умеющих учитывать особенности ее применения в конкретной предметной области.

Цель исследования состоит в определении роли математики в обновлении содержания образования с целью вывода образования на более высокий (по сравнению с междисциплинарностью) уровень трансдисциплинарности на основе включения в содержание обучения современных математических теорий и методов и их применения в зависимости от направления и профиля подготовки студентов.

Гипотеза исследования состоит в том, что современная математика может не только оказать трансдисциплинарное воздействие на исследования постиндустриальной науки, но и вывести междисциплинарность образования на новый, более высокий уровень трансдисциплинарности. Решение этой проблемы в ракурсе охарактеризованных В. И. Загвязинским стратегических ориентиров развития современного образования и путей их реализации будет существенно способствовать преодолению кризисной ситуации в современном образовании, послужит инструментом реализации возможности «обновления и движения от догоняющего актуальные запросы общества к „опережающему“ образованию» [2, с. 3].

Обзор литературы

Междисциплинарности образования в современную эпоху дифференциации и интеграции наук посвящено немало педагогических исследований. Однако прослеживается недостаточность исследований этого феномена на методологическом уровне. Среди ученых нет единого мнения об основных понятиях этого многогранного явления.

Как отмечает В. С. Сенашенко, междисциплинарность окружающего мира как сложной многокомпонентной системы «должна найти отражение как в общем, так и в профессиональном образовании, ... а глубина восприятия окружающего нас мира во многом будет зависеть от степени междисциплинарности высшего образования» [3].

Значительная часть работ в этой области посвящена инженерному образованию (В. Г. Иванов, А. А. Кайбияйнен, М. Ф. Галиханов [4], G. Tejedor, J. Segalas, M. Rosas-Casals [5], O. B. Golubev, V. A. Testov, E. M. Ganicheva [6] и др.). Некоторые авторы трансдисциплинарность провозгласили локомотивом опережающего экономического развития (R. W. Scholz, G. Steiner [7]). В целом ряде работ (А. В. Колесников, С. Н. Сиренко [8], V. L. Gapontsev, V. A. Fedorov, M. G. Gapontseva, A. N. Khuziakhmetov [9] и др.) междисциплинарность образования совершенно справедливо связывается с синергетиче-

ским подходом. В этих статьях анализируются роль и место синергетики в развитии междисциплинарного направления в современной науке и образовании.

В работе [10] проведен анализ междисциплинарного подхода как ведущей тенденции в постиндустриальном образовании, имеющего фундаментальное значение в подготовке будущих педагогов. Исследованы различные аспекты модернизации подготовки студентов педагогических направлений как будущих профессионалов, так и транспрофессионалов на основе методологии моделирования.

Проблема междисциплинарности содержания образования особенно остро встала в эпоху постиндустриального общества и цифровизации экономики, когда возникла необходимость модернизации системы профессиональной подготовки кадров. Современные условия требуют вывода междисциплинарности образования на более высокий, трансдисциплинарный уровень, предполагающий синтез теоретико-методологического потенциала естественных и многих других наук, опирающегося на новую ступень «все-человеческой» математической культуры исследований, обогащенной математизацией наук. Ведущей тенденцией в образовании в цифровом обществе становится трансдисциплинарный подход,

Поэтому в нашем исследовании важную роль играют работы, в которых трансдисциплинарность рассматривается как новая методология, используемая в целостном исследовании объектов, явлений и процессов окружающего мира. Эта методология при анализе тех или иных проблем дает возможность исследователям выйти за узкие рамки отдельных научных дисциплин. Основная идея трансдисциплинарности, как отмечает J. T. Klein, состоит в совместном применении самых разных научных дисциплин для решения реальных проблем, притом совместно с практиками [11].

Как совершенно верно отмечает О. Д. Гаранина, «сегодня в науке настоятельно необходимы новые стратегии научного поиска, ориентированные на трансдисциплинарность, предполагающую синтез теоретико-методологического потенциала естественно-научного, социогуманитарного и технического знания, опирающегося на математическую базу» [12]. Сам термин «трансдисциплинарность», по всей видимости, впервые был предложен Жаном Пиаже в 1970 году для обозначения будущей методологии научного познания, на основе которой, по мысли Ж. Пиаже, познание со временем выйдет за очерченные границы конкретных классических дисциплин [13].

В последние годы опубликовано достаточно много работ по проблеме трансдисциплинарности в науке и образовании. Однако до сих пор отсутствует общее понимание этого термина, причем некоторые авторы отождествляют трансдисциплинарность с междисциплинарностью. Как отмеча-

ет А. А. Крушанов, «ныне ситуация такова, что трансдисциплинарность в универсальном значении как особое весьма масштабное явление, нуждающееся в целостном осмыслении и в целостной организации, пока пребывает буквально в статусе пасынка Большой науки» [14]. М. С. Мокий и В. С. Мокий дают характеристику объективных трудностей, сопровождающих процесс внедрения трансдисциплинарности в высшее образование [15].

D. Alvargonzales раскрывает свои трактовки терминов «междисциплинарность», «мультидисциплинарность» и «трансдисциплинарность» [16]. Несколько иное понимание у В. А. Девисилова, который считает, что «трансдисциплинарность – это способ реализации синергетических принципов в науке и образовании» [17]. Разнообразие различных толкований термина «трансдисциплинарность» столь велико, что, по мнению А. А. Крушанова, порождает хаос в используемых смыслах этого слова [18, с. 84]. Р. Фродеман, Дж. Клейн и К. Митчэм в наиболее полном виде систематизировали различные трактовки феномена трансдисциплинарности [19].

Ряд авторов (Ye. Ganicheva, O. Golubev, V. Testov, A. Khabibulin [20]) рассматривают проблемы интеграции и трансдисциплинарности в новом информационном (цифровом) обществе, в том числе для реализации возможности улучшения управления информационными системами и технологиями (M. Kizito [21]).

Трансдисциплинарность становится ключевой концепцией во многих науках. Как отметила Е. Н. Князева, «трансдисциплинарность свойственна исследованиям, которые идут „через“, „сквозь“ границы многих научных дисциплин и выходят за их пределы на более высокий уровень» [22].

Проблемы подготовки студентов в вузах с применением трансдисциплинарного подхода изучались разными авторами. В частности, С. Pohl, P. Krutli, M. Stauffacher и L. Modolo поднимают проблему преподавания трансдисциплинарности с учетом уровня образования студентов [23]. G. Tejedor, J. Segalàs, M. Rosas-Casals рассматривают стратегии и цели внедрения трансдисциплинарного подхода в инженерном образовании [24]. J. Kabrońska анализирует особенности внедрения трансдисциплинарного подхода в подготовке будущих архитекторов [25]. Трансдисциплинарные исследования, по мнению E. Brink, представляют собой важные составляющие при решении таких сложных проблем современной жизни, как глобальное потепление, загрязнение окружающей среды и другие опасности [26].

Как отмечают В. В. Андреев, Р. Я. Гибадулин, Р. И. Жданов, «трансдисциплинарный подход в учебном процессе в вузах способствует раскрытию творческого потенциала студентов. ... Трансдисциплинарность в процессе обучения является фактором, способствующим формированию у обучающихся единого целостного восприятия всего реализуемого вузом для кон-

кретного направления подготовки учебного плана, а не в виде некоторой совокупности изолированных друг от друга учебных дисциплин» [27].

В некоторых работах авторы отмечают особую роль математического знания как инструмента, который в значительной степени обеспечивает возможности реализации синтеза данных различных наук. Такая особенность математики была уже давно замечена философами¹. В частности, Е. А. Перминов, S. V. Anakhov, A. S. Grishin, E. S. Savitskiy раскрыли роль математизации наук в интеграции математической и методической подготовки будущих учителей [28], [29]. Также была исследована роль математики в реализации метапредметного (В. А. Тестов [30]) и культурологического (Е. А. Перминов [31]) подхода в образовании. В этих работах авторы наряду с выделением особой роли математики подчеркивают необходимость сохранения предметности обучения. Аналогичной позиции придерживается и А. В. Хуторской, который считает, что метапредметное содержание «хотя и принадлежит определенной науке или учебному предмету, но также выводит человека за его рамки к неким первоединым основам» [32].

В обучении нельзя не учитывать специфику отдельных дисциплин (в частности, дисциплин гуманитарного цикла), которая устанавливает определенные границы для применения математического знания и цифровизации. Такая позиция отражена, например, в работе И. С. Черняковой [33].

Методология, материалы и методы

В статье использовано несколько основных подходов к анализу роли математики в трансдисциплинарности содержания образования. Ведущим был системный подход, в котором основными являются принципы целостности и структурности. Они предполагают, что элементы системы находятся между собой в некоторых отношениях и образуют устойчивые связи, благодаря которым внутри системы формируются системообразующие структуры (стержни). В исследовании рассматривались такие структуры в содержании образования, в которых роль математики является трансдисциплинарной (определяющей их междисциплинарное значение) с точки зрения как культурологического, так и метапредметного подходов.

В соответствии с культурологическим подходом были выделены наиболее значимые (базовые) составляющие «всечеловеческой» математической культуры. В соответствии с метапредметным подходом в качестве ориентира в отборе содержания подготовки были выделены метапредметные понятия, идеи и методы – своего рода «столпы», зародившиеся в математике, а затем ставшие общенаучными понятиями, идеями и методами, играющими

¹Рузавин Г. И. Математизация научного знания. Москва: Мысль, 1984. 207 с.

трансдисциплинарную роль в содержании образования и важными для подготовки современного транспрофессионала.

Системный подход способствовал переосмыслению программы исследования и вывода исследования на новый уровень интеграции различных образовательных областей и достижения их концептуального единства. Методы системного и культурологического анализа этих идей и методов математики легли в основу характеристики трансдисциплинарных областей и категорий математики, которые с позиций культуросообразности особенно важны в современном цифровом мире и обществе.

На исследование и полученные в нем результаты повлияли потенциальные ограничения возможностей методов формализации исследований о гуманитарном образовании, образовании в области искусства, физической культуры и некоторых других трудно формализуемых видах образования. В то же время в исследовании было сделано важное методологическое допущение о том, что математика цифровой эры в содружестве с компьютером интенсивно расширяет границы своей экспансии в гуманитарные и другие, казалось бы, совсем далекие от математики области знания. Допущение об экспансии математического знания наиболее ярко отразилось в формировании трансдисциплинарных *математических методов* использования больших данных (сгенерированных компьютером гигантских массивов цифровой информации). В цифровую эру большие данные стали играть фундаментальную роль в решении самых различных задач (от опережающего прогнозирования возможных техногенных катастроф до предупреждения различных видов эпидемий).

В исследовании также были учтены методологии и методы анализа социально-экономических кризисных явлений и кризиса культуры и образования.

Результаты исследования

Как показано выше, современные условия требуют вывода междисциплинарности образования на новый, более высокий уровень, который можно назвать трансдисциплинарностью. Хотя этот термин был введен достаточно давно, но в силу обширности проблематики трансдисциплинарного подхода возникло много разных трактовок, часто совершенно произвольных.

Основываясь на ряде упомянутых выше философских исследований трансдисциплинарности, определим смысл двух основных для нашего исследования понятий следующим образом.

Под *междисциплинарностью* в образовании мы будем понимать педагогический подход, основанный на синтезе идей и методов некоторых наук

(например, физики и химии, биологии и физики, математики и лингвистики и т. д.), что способствует взаимному плодотворному обогащению дисциплинарных областей при сохранении дисциплинарных делений. Благодаря этому подходу сформировались такие важные в комплексных научных исследованиях области междисциплинарного характера, как биофизика, биохимия, геофизика, математическая лингвистика и другие, в рамках которых была организована подготовка студентов по новым востребованным жизнью специальностям.

Трансдисциплинарность в образовании можно трактовать как выход за пределы отдельных учебных дисциплин, как некоторое отношение единства, взаимосвязи, взаимопроникновения и взаимодействия между самыми разными дисциплинами. Тем самым это понятие является оппозицией понятий научной дисциплины и дисциплинарности и в то же время с ними связано. Данный подход предполагает нарушение границ различных научных дисциплин, границы становятся «проходимыми». Это, в свою очередь, способствует возникновению различных систем, находящихся сверху дисциплинарного деления научного знания и даже сверху междисциплинарных комплексных научных образований, возникающих в решении сложных проблем.

Трансдисциплинарность мировоззрения и мышления не означает детального знания многих дисциплин, а представляет собой целостную картину мира, наличие готовности к системному решению сложных проблем, не только выходящих за рамки традиционных научных областей и методов, но и стоящих над ними. При этом возникают понятия *общенаучного* характера, буквально пронизывающие исследования практически всех наук и поэтому являющиеся их общим достоянием. Например, такие понятия общенаучного характера возникли в решении назревших сложных проблем геостратегического планирования.

В науке уже заложены основы создания таких упоминавшихся ранее трансдисциплинарных концепций и методологий, как общая теория систем, искусственный интеллект и др. В настоящее время на роль интегральной методологии претендует также Complexity Science (наука о сложности).

В образовании трансдисциплинарность необходима, прежде всего, для подготовки транспрофессионалов – квалифицированных специалистов в нескольких научных (в том числе технических и экологических) областях, способных осуществить решение важнейших комплексных проблем науки, природы и общества. Основы для формирования универсальных сквозных компетенций, важных в подготовке таких специалистов, надо начинать закладывать уже со школьной скамьи еще на стадии формирования профессиональных намерений.

Важнейшая роль в подготовке современных специалистов принадлежит изучению обучающимися трансдисциплинарных концепций, а также трансдисциплинарных понятий (модель, алгоритм и т. д.), которые отличает отсутствие междисциплинарных границ и которые стали основой целостного, системного осмысления методологии моделирования, являющейся новой ступенью исследовательской культуры на основе информационного, технологического, имитационного и других разнообразных видов моделирования. Это осмысление происходит, начиная от постановки возникающих задач и перевода их на соответствующий научный язык и заканчивая созданием моделей исследуемых объектов или явлений и разработкой на основе этих моделей эффективных алгоритмов и компьютерных программ для решения поставленных задач.

Данная методология особенно ярко проявилась при использовании уникальных возможностей современного компьютера. Это стало главной причиной влияния математики как лидера в становлении новых научных исследований на основе принципа трансдисциплинарности, означающего выявление определенных всеобщих знаний, базирующихся на мировоззренческих, методологических категориях, имеющих фундаментальное значение в решении различных комплексных проблем.

Методология моделирования породила такие математические методы исследований с помощью компьютера, которые дали возможность справляться с задачами, раньше считавшимися практически неразрешимыми. В первую очередь, это методы математики, лежащие в основе мягкого моделирования, предполагающего построение *мягких* моделей объектов, явлений и процессов, которые можно корректировать в процессе исследования и на основе которых получают результаты с достаточной долей достоверности. Полезность мягкого моделирования (в частности, некоторых видов стохастического, технологического, имитационного моделирования) особенно проявляется в гуманитарных, социально-экономических, экологических и других областях исследований, в которых часто в силу их «природы» отсутствуют точные причинно-следственные связи и закономерности (например, в образовании, литературе и искусстве). В то же время моделирование на основе *жестких* (не допускающих коррекции) математических моделей (часто строго определяемых на формальном языке математических структур) ограничено зачастую рамками аксиоматического метода как наиболее распространенного в прошлом веке в исследованиях по математике и некоторым другим естественным наукам.

Мягкое моделирование на основе трансдисциплинарных понятий нечеткой математики находит применение в использовании больших данных. Как уже отмечалось ранее, в цифровую эру большие данные стали играть

фундаментальную роль в решении самых различных задач. Это повлекло, например, смену парадигмы в языкознании благодаря работам известного лингвиста А. Н. Хомского о математически точной грамматической системе.

Таким образом, категория «модель» и ее важные виды наиболее выпукло отражают трансдисциплинарную методологию моделирования при реализации этапов решения задач с использованием эффективных алгоритмов и компьютерных программ. Для раскрытия этого понятия даже в школьном курсе информатики потребовалась обширная классификация моделей, подобная философской классификации: материальные и идеальные (вербальные, информационные, графические, знаковые и пр.). При этом анализ методологии моделирования показывает системообразующую роль понятия математической модели в разнообразных видах моделирования в естественно-научных, технических, экономических, гуманитарных и многих других науках. Это понятие стало тем примером, «столпом» метапредметного содержания, который имеет такое же значение в современной науке, как и возникшие еще в древние времена понятия числа, знака, буквы, звука, слова и др.

Понятие математической модели является своеобразным ключом к выявлению других метапредметных понятий методологии моделирования, важных в трансдисциплинарности образования. Такими являются понятия отношения и операции, с помощью которых математическая модель определяется на некотором множестве; понятие интерпретации математической модели, лежащее в основе выявления характеристик исследуемого объекта; изоморфизм («равенство») моделей; гомоморфизм модели (выявление главных особенностей ее структуры); отношение эквивалентности (классификация моделей); частичный порядок на множестве моделей (иерархия моделей); вероятность; нечеткое множество и др.

Таким образом, все эти понятия фактически являются трансдисциплинарными, т. е. такими, которые по своей сути носят общенаучный характер. Все они как теоретико-модельные категории дают возможность более глубокого уточнения (интерпретации) категорий «объективная истина», «точность», «доказательность», «методологичность», «системность» и т. п., лежащих в основе взаимодействия методологии математики и других наук. Теоретико-модельные понятия математического моделирования имеют большое значение в исследованиях в синергетике, теории катастроф, теории динамических систем, теории фракталов и в других новых трансдисциплинарных областях современной науки. В результате широкого распространения математического моделирования в этих новых областях формируется трансдисциплинарная научная методология, позволяющая решать глобальные цивилизационные проблемы. В частности, построение

мягких математических моделей, адекватно отражающих динамику кризисных общественных процессов, является в современном мире крайне актуальной задачей.

Какого-то универсального математического описания сложных систем не существует, поэтому необходимо постепенно в процессе построения модели такой системы уточнять те или иные ее параметры. Такие возможности дают компьютерные методы формирующейся экспериментальной математики. Эти методы все больше проникают не только в вузовскую, но и в школьную математику.

В трансдисциплинарной методологии моделирования с использованием возможностей современного компьютера, бесспорно, лидирующую роль стала играть дискретная математика, т. е. математика структур конечного (финитного) характера. Этот раздел стал основой языка лавинообразно распространяющихся информационных технологий и процессов в науке и других областях человеческой деятельности, породивших цифровой мир и цифровое общество. В результате сформировалась трансдисциплинарная дискретная концепция исследований, основанная на идее дискретизации объектов для отображения реального мира в компьютере.

В цифровом мире дискретная концепция исследований, базирующаяся на возможностях современных компьютеров, стала главным интегрирующим фактором для естественно-научных, технических, социально-экономических и многих других областей познания на основе широкого распространения идей и методов дискретной математики. Поэтому ее элементы, имеющие общеобразовательное значение, уже нашли свое отражение во ФГОС общего среднего образования.

Важными трансдисциплинарными понятиями дискретной математики наряду с «отношением» и «операцией» являются «высказывание», «предикат», «квантор», «граф», «формальный язык» и другие, лежащие в основе корректного представления в базе данных компьютера необходимой информации об изучаемом объекте или явлении практически в любой науке. Перечисленные трансдисциплинарные понятия дискретной математики лежат в основе автоматизации, роботизации производства и внедрения в него искусственного интеллекта, что важно учесть в подготовке профессионально мобильных работников.

Дискретные математические модели особенно важны для проведения компьютерных экспериментов, которые необходимы для просчета различных вариантов поведения сложных систем (в частности, для обеспечения функционирования сложных систем управления технологией производства, для прогноза протекания вирусных эпидемий и т. п.). Компьютерный эксперимент позволяет смоделировать объект программными средствами, что

дает возможность имитировать его поведение на основе постепенно корректируемых моделей в самых разных, подчас экстремальных условиях, выбрать наиболее важные для разработки новой технологии производства параметры объекта. Поэтому компьютерный эксперимент гораздо удобнее натурального (материального), порой опасного, более дорогого, а иногда и просто невозможного.

В процессе компьютерного эксперимента с моделированием объектов (сложных систем) в кибернетике, теории катастроф, синергетике и других трансдисциплинарных областях часто возникает тупиковая ситуация, когда становится ясно, что невозможно осуществить требуемые в эксперименте очень большие вычисления даже на самых быстродействующих компьютерах (эффект «комбинаторного взрыва»). Поэтому возникает задача нахождения достаточно хорошего (по времени) алгоритма компьютерного эксперимента. В решении этой задачи особенно велико значение таких трансдисциплинарных понятий, как «алгоритмически разрешимая проблема», «экспоненциальный и полиномиальный алгоритм», «асимптотическая оценка и приближение» и других.

В анализе роли математического моделирования и дискретной математики в трансдисциплинарности содержания образования важно также учесть, что идеи и методы этих областей современной математики породили широкое распространение вычислительных процессов в различных отраслях производства, обеспечивающих функционирование сложных систем управления технологическими процессами. Умелая организация и реализация этих процессов в профессиональной деятельности предполагает наличие у выпускников вузов специальных познаний: теории вычислительных процессов и структур (в частности, теории сетей, языков программирования); познаний в области вычислительных комплексов, систем и сетей; теории алгоритмов, графов и других областей современной дискретной математики.

Таким образом, выпускник современного вуза, несомненно, должен иметь общекультурные представления и познания о математическом моделировании, математике дискретных величин и вычислительных процессах, лежащих в основе трансдисциплинарности содержания современного образования, способствующей гармонизации его взаимоотношений с природой и обществом.

Как отмечалось выше, в соответствии с метапредметным подходом в содержании подготовки студентов должны быть метапредметы с содержанием, в котором были бы отражены ставшие общенаучными метапредметные понятия, идеи и методы, способствующие трансдисциплинарной направленности их подготовки и тем самым – целостности восприятия объектов, явлений и процессов окружающего мира.

Идеи и методы математического моделирования, дискретной математики и вычислительных процессов создали заманчивые и уже во многом воплотившиеся в жизнь перспективы создания искусственного интеллекта, важного в трансдисциплинарных научных исследованиях и в самых разных формах деятельности. Особенно впечатляют перспективы анализа на его основе больших данных, с помощью которых можно получать совершенно неожиданные результаты, недоступные в рамках традиционных методов математики. Причем результаты в далеких, казалось бы, от математики науках, например, при выявлении закономерностей в распространении вируса гриппа. При этом разрабатываются универсальные формальные системы, способные находить зависимости между частотой определенных поисковых запросов и появлением тех или иных моделей исследуемого объекта, явления или процесса.

К настоящему времени в решении разных проблем многие рутинные процедуры исследования, выполняемые компьютером, облегчили процесс творческого мышления. Интеллектуальные возможности компьютера еще полвека назад во многих областях деятельности превысили творческие способности среднего человека. А при современном уровне развития компьютеров и программного обеспечения уже невозможно без привлечения искусственного (компьютерного) интеллекта проводить трансдисциплинарные научные исследования при разработке и реализации проектов большой сложности, когда даже целому коллективу исследователей невозможно в сколько-нибудь полном виде охватить все главные особенности разработки проекта.

Важно отметить, что при анализе искусственным интеллектом исследуемой сложной системы (модели) способна восстановиться вся та целостная информация о ней, которая может быть утрачена отдельными исследователями в силу исторически сложившейся узкой (и даже междисциплинарной) специализации знания.

Все это привело к тому, что в настоящее время начался бум искусственного интеллекта, порожденный бурным развитием дискретной математики, математической кибернетики, распознавания образов, нейронных сетей, Computer Science. Поэтому сбылось предсказание В. М. Глушкова, А. П. Ершова, А. А. Самарского и других выдающихся ученых о том, что в перспективе (теперь уже не столь отдаленной) нам придется в корне изменить образование на всех его уровнях.

Искусственный интеллект постепенно становится основой разработки информационных технологий нового класса с компьютерной аналитикой, имеющих фундаментальное значение как в образовании, так и в поддержке трансдисциплинарных научных исследований, в том числе в разработке знаниево-ориентированных интеллектуальных компьютерных систем (ИКС)

для трансдисциплинарного взаимодействия наук на уровне общего категориального языка математики. Этот общий для разных наук язык лежит в основе методов работы с формальными схемами, которые «на основе языка математики отделяются от эмпирического и конкретного теоретического знания и синтезируются математикой в единое целое на основе ее операциональных средств и методов»¹.

Это, в свою очередь, несомненно, способствует трансдисциплинарному тренду в содержании образования, поскольку в результате применения в обучении математического моделирования, дискретной математики, вычислительных процессов и искусственного интеллекта у студентов формируются трансдисциплинарные представления о динамике реальных процессов (в производстве, природе, обществе) на нескольких уровнях реальности одновременно. В то же время у студентов формируются умения преодолевать границы конкретных дисциплин, что способствует видению ими целостной картины происходящего процесса, ее научное понимание. Математическое представление соединяет различные фрагменты действительности в единую картину, тем самым способствует преодолению антагонизма между дисциплинарностью и трансдисциплинарностью.

Обсуждение результатов

При обсуждении трансдисциплинарного тренда в образовании следует учитывать, что в центре внимания математических исследований с течением времени могут оказаться другие проблемы и средства их решения. Но трансдисциплинарная направленность математических идей и методов останется неизменной.

В процессе становления новой, трансдисциплинарной парадигмы образования может оказаться так, что новая ступень «всечеловеческой» математической культуры с ее наиболее яркими проявлениями, возможно, будет выглядеть некой «новой религией», поскольку приверженцы старых научных традиций останутся. Далеко не у всех ученых и педагогов появилось стремление по-настоящему использовать уникальные возможности современного компьютера на основе адекватных получаемой профессии трансдисциплинарных познаний. Однако в научном сообществе ширится понимание сущности и ценности математики как «всечеловеческой» науки, породившей современный цифровой мир и цифровое общество.

Анализ социально-экономических кризисных явлений в образовании свидетельствует о том, что, к сожалению, по-прежнему актуально предупре-

¹ Лепский В. С. Трансдисциплинарные основания становления «средовой парадигмы» // *Философия науки*. 2011. № 16. С. 87–123.

ждение крупнейшего математика Н. Н. Красовского, с горечью высказанное им в 2003 году: «В наше время математическому образованию – и на высшем уровне, и особенно в школе – грозят большие беды. Время на обучение математике безжалостно сокращается. Программа и методика трансформируются, мягко говоря, своеобразно» [34, с. 5]. Более того, в условиях коммерциализации образования наблюдается «тривиализация» математического образования – явление, характерное для массовой культуры в цифровом обществе и свидетельствующее о прямой зависимости образования от уровня его коммерциализации. В связи с этим следует напомнить и о предупреждении, сделанном В. И. Арнольдом, о том, что «математическая безграмотность губительнее костров инквизиции»¹. Это предупреждение нужно учитывать при реформировании не только математического, но и многих других видов образования цифровой эры.

Как следует из изложенного, справедлив следующий основной вывод: роль математики в трансдисциплинарном тренде образования проявляется главным образом в том, что математическая подготовка обеспечивает формирование у студентов не только общих трансдисциплинарных представлений, но и овладение общекультурной когнитивной стратегией в решении профессиональных задач. При этом математика указывает некое направление в решении этих задач, обеспечивает студентов определенной научной установкой.

Важно подчеркнуть, что транспрофессионализм в авторской трактовке не отрицает значимости предметной подготовки при получении начальной, базовой профессии, а способствует обогащению ее трансдисциплинарными знаниями и компетенциями, дающими возможность человеку учиться всю жизнь и быть готовым к овладению при необходимости другими видами профессиональной деятельности. При этом должно быть чувство меры в трансформации образования на основе методологии математического моделирования, которую нельзя считать всеохватной и универсальной для всех наук и видов образования. Тогда в образовании не будет происходить жесткая математизация наук, у каждой из которых есть своя, органически присущая ей методология.

За рамками темы исследования осталась важная и сложная организационно-управленческая проблема, требующего отдельного изучения, – проблема разработки концепции трансформации направлений подготовки высшего образования (естественно-научного, технического, экономического и др.) в транспрофессиональную группу направлений в зависимости от веса математики в исследованиях в той или иной науке, определяющей вид соответствующей ей сферы образования.

¹Арнольд В. И. Математическая безграмотность губительнее костров инквизиции // Известия. 1998. 16 января. С. 4.

В процессе исследования учитывалось, что использование современных математических теорий и методов и их применений ограничено специфическими особенностями направления и профиля подготовки студентов. Кроме того, учитывались ограниченные возможности искусственного интеллекта в анализе больших данных, особенно в некоторых гуманитарных и других научных областях.

Заключение

При рассмотрении проблемы содержания образования следует учитывать, что образование – это сверхсложная открытая система, ее исследование возможно только с использованием трансдисциплинарных знаний, на основе которых можно выйти за границы различных научных дисциплин на более высокий уровень познания. Трансдисциплинарные идеи и методы способствуют выявлению эмерджентных свойств этой сверхсложной образовательной системы (т. е. сохранению главного ее качества – целостности).

Результаты исследования показывают, что в решении важнейшей проблемы содержания образования необходимо использование всего потенциала трансдисциплинарных математических знаний, отраженных в современной методологии моделирования, дискретной математике, математической кибернетике, вычислительных процессах и в формирующихся на их основе возможностях искусственного интеллекта. Перечисленные области знаний – это те узловые точки, посредством которых происходит объединение самых разных дисциплин. Идеи и методы этих трансдисциплинарных областей математики свидетельствуют о том, что математика фактически является *универсумом* точности, определенности, более того – гармонизации научных исследований, выполняющим синтетические функции в науке. Поэтому математика стала лидером трансдисциплинарного тренда в образовании в эпоху математизации наук, синтезатором идей и методов их огромного научного потенциала, как фундаментального, так и прикладного.

Роль математики в трансдисциплинарном тренде образования проявляется также в овладении студентами общекультурной когнитивной стратегией в решении профессиональных задач. Новая ступень «всечеловеческой» математической культуры имеет большое значение и для трансдисциплинарной коррекции обучающимися собственной системы координат, которая определяет их отношение к окружающей жизни, устанавливает ценностные ориентиры.

Рассмотренные области математики позволяют вывести образование на новый, трансдисциплинарный уровень как новую ступень проявления его междисциплинарности. В результате будет использован весь охарактере-

ризованный трансдисциплинарный потенциал современной математики в разработке содержания образования, осуществляющий единую связку современной науки, техники (времен компьютерной революции) и постиндустриального образования.

Результаты исследования о роли математики в трансдисциплинарном тренде образования имеют важное методологическое значение, поскольку рассмотренные области и категории пронизывают всю научную деятельность и, как следствие, подготовку по всем направлениям ФГОС ВО.

Проведенное исследование имеет большое значение в разработке вариантов трансформации некоторых направлений высшего образования в единую транспрофессиональную модель подготовки специалистов в таких областях, как искусственный интеллект, большие данные и т. д. Основная идея указанной модели для подготовки уникальных специалистов-транспрофессионалов с помощью математики состоит в совместном применении потенциала разных научных дисциплин в единой трансдисциплинарной связке совместно с их приложениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Floridi L. The Fourth Revolution. How the Infosphere is Reshaping Human Reality. Oxford: Oxford University Press. 2014. 272 p.
2. Загвязинский В. И. Стратегические ориентиры развития современного образования и пути их реализации // Образование и наука. 2012. № 4 (93). С. 3–15.
3. Сенашенко В. С. Междисциплинарность образования как отражение междисциплинарности окружающего мира на любых уровнях его организации // Управление устойчивым развитием. 2016. № 3 (04). С. 79–85.
4. Иванов В. Г., Кайбияйнен А. А., Галиханов М. Ф. Междисциплинарность как вектор развития инженерного образования (обзор сетевой конференции) // Высшее образование в России. 2016. № 8–9. С. 149–160.
5. Tejedor G., Segalas J., Rosas-Casals M. Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 175. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.085
6. Golubev O. B., Testov V. A., Ganicheva E. M. On the Continuity of Engineering Training in the “School-University” System Based on the Creation of a Center of Modern Competencies // Proceedings of the International Scientific Conference “Far East Con” (ISCFEC 2020). Series: Advances in Economics, Business and Management Research. Vol. 128. DOI: 10.2991/aeb-mr.k.200312.335
7. Scholz R. W., Steiner G., Transdisciplinarity at the crossroads // Sustainability Science. 2015. Vol. 10, No. 4. P. 521–526.
8. Колесников А. В., Сиренко С. Н. Междисциплинарность, синергетика и грядущий новый этап научно-технической революции как предпосылки обновления содержания высшего образования // Научные труды Республиканского института высшей школы. Минск. 2016. № 16-2. С. 344–351.

9. Gapontsev V. L., Fedorov V. A., Gapontseva M. G., Khuziakmetov A. N. Description Language of Educational Content Structure: Possibilities of Modern Mathematics // EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education. 2019. Vol. 15, № 3. Article number em1678. DOI: 10.29333/ejmste/103031

10. Перминов Е. А., Тестов В. А. Методология моделирования как основа реализации междисциплинарного подхода в подготовке студентов педагогических направлений // Образование и наука. 2020. Т. 22, № 6. С. 9–30. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-6-9-30

11. Klein J. T., Häberli R., Scholz R. W., Grossenbacher-Mansuy W., Bill A., Welti M. The Discourse of Transdisciplinarity: An Expanding Global Field // Transdisciplinarity: Joint Problem Solving among Science, Technology, and Society. Birkhäuser, Basel, 2001. P. 35–44.

12. Гаранина О. Д. Развитие трансдисциплинарной методологии: ответ на вызовы интеграции современного научного познания // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 40. Ч. 1. С. 5–7. DOI: 10.18411/lj-07-2018-01

13. Piaget J. L'épistémologie des relations interdisciplinaires // In: L. Apostel, G. Berger, A. Briggs, G. Michaud (Eds.). L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherche. Centre pour la Recherche et l'Innovation dans l'Enseignement. Paris: Organisation de Coopération et de développement économique, 1972. P. 131–144.

14. Крушанов А. А. «Трансдисциплинарная» тенденция в современном научном познании // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 42. Ч. 5. С. 77–80. DOI: 10.18411/lj-09-2018-106

15. Мокий М. С., Мокий В. С. Трансдисциплинарность в высшем образовании: экспертные оценки и практические решения [Электрон. ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14526> (дата обращения: 02.07.2020).

16. Alvargonzales D. Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Transdisciplinarity and Sciences // International Studies in the Philosophy of Science. Vol. 25, № 4. P. 387–403.

17. Девисилов В. А. Синергизм и трансдисциплинарность в образовании // Alma mater (Вестник высшей школы). 2013. № 2. С. 95–101.

18. Крушанов А. А. Пора упорядочить «трансдисциплинарный хаос» // История и философия науки в эпоху перемен: сборник научных статей. Москва: Изд-во «Русское общество истории и философии науки», 2018. С. 83–86.

19. Frodeman R., Klein J. T., Mitcham C. The Oxford handbook of interdisciplinarity. New York: Oxford, 2010. 580 p.

20. Ganicheva Ye., Golubev O., Testov V., Khabibulin A. Digital literacy is a necessary factor of modern education // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference “Business Cooperation as a Resource of Sustainable Economic Development and Investment Attraction” (ISPCBC 2019). Pskov, 2019. P. 298–302. DOI: 10.2991/ispcbc-19.2019.73

21. Kizito M. Transdisciplinarity and Information Systems: IT Governance in the Digitalisation of Healthcare // Proceedings of the IS4SI 2017 Summit Digitalisation for a Sustainable Society. Gothenburg, Sweden, 2017. Vol. 1, № 3. P. 175. DOI: 10.3390/IS4SI-2017-04015

22. Князева Е. Н. Трансдисциплинарные стратегии исследований // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2011. № 10. С. 193–201.

23. Pohl C., Krutli P., Stauffacher M., Modolo L. Teaching transdisciplinarity appropriately for students' education level // GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society. 2018. Vol. 27, № 2. P. 250–252. DOI: 10.14512/gaia.27.2.14

24. Tejedor G., Segalàs J., Rosas-Casals M. Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 175. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.085

25. Kabrońska J. Contemporary Spaces of Memory – Towards Transdisciplinarity in Architecture // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 245. Article number 042034.

26. Brink E., Wamsler C., Adolfsson M., et al. On the road to “research municipalities”: analysing transdisciplinarity in municipal ecosystem services and adaptation planning // *Sustainability Science*. 2018. Vol. 13, № 3. P. 765–784.

27. Андреев В. В., Гибадулин Р. Я., Жданов Р. И. Формирование трансдисциплинарного подхода к научной и педагогической деятельности как основная миссия Института перспективных исследований // *Преподаватель XXI век*. 2019. № 2–1. С. 9–22.

28. Перминов Е. А. О роли математизации наук в интеграции математической и методической подготовки будущих учителей // *Интеграция образования*. 2013. № 1. С. 29–35.

29. Perminov E. A., Anakhov S. V., Grishin A. S., Savitskiy E. S. On the Research of the Methodology of Mathematization of Pedagogical Science // *International Journal of environmental & science education*. 2016. Vol. 11, № 16. P. 9339–9347.

30. Тестов В. А. О некоторых видах метапредметных результатов обучения математике // *Образование и наука*. 2016. № 1. С. 4–20. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-1-4-20

31. Перминов Е. А. Культурологический подход как методологическая основа математического просвещения // *Образование и наука*. 2017. Т. 19, № 10. С. 9–29. DOI: 10.17853/1994-5683-2017-10-9-29

32. Хуторской А. В. Метапредметное содержание образования с позиций человекообразности [Электрон. ресурс] // *Вестник Института образования человека*. 2012. № 1. Режим доступа: <https://eidos-institute.ru/journal/2012/100/Eidos-Vestnik2012-115-Khutorskoj.pdf> (дата обращения: 02.07.2020).

33. Чернякова И. С. О возможностях и границах цифровизации гуманитарного образования // *Архитектура университетского образования: современные университеты в условиях единого информационного пространства: сборник трудов III Национальной научно-методической конференции с международным участием. Часть I*. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2019. С. 60–63.

34. Красовский Н. Н. Размышления о математическом образовании // *Известия УрГУ*. 2003. № 27. С. 5–12.

References

1. Floridi L. *The fourth revolution. How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford: Oxford University Press; 2014. 272 p.

2. Zagvyazinskiy V. I. Strategic guidelines for the development of modern education and ways of their implementation. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2012; 4 (93): 3–15. (In Russ.)

3. Senashenko V. S. Interdisciplinarity of education as a reflection of the interdisciplinarity of the surrounding world at all levels of its organization. *Upravlenie ustojchivym razvitiem = Sustainable Development Management*. 2016; 3: 79–85. (In Russ.)

4. Ivanov V. G., Kaybiyaynen A. A., Galikhanov M. F. Interdisciplinarity as a vector of engineering education development (review of the network conference). *Vyssee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2016; 8–9: 149–160. (In Russ.)
5. Tejedor G., Segalas J., Rosas-Casals M. Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 175: 29–37. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.085
6. Golubev O. B., Testov V. A., Ganicheva E. M. On the continuity of engineering training in the “school-university” system based on the creation of a center of modern competencies. In: *Proceedings of the International Scientific Conference “Far East Con”. Series: Advances in Economics, Business and Management Research. ISCFEC*. 2020. p. 128. DOI: 10.2991/aebmr.k.200312.335
7. Scholz R. W., Steiner G., Transdisciplinarity at the crossroads. *Sustainability Science*. 2015; 10 (4): 521–526.
8. Kolesnikov A. V., Sirenko S. N. Interdisciplinary, synergistic and forthcoming new stage of scientific and technical revolution as prerequisites for updating the content of higher education. *Nauchnye trudy Respublikanskogo instituta vysshej shkoly = Scientific Works of National Institute for Higher Education*. Minsk. 2016; 16 (2): 344–351. (In Russ.)
9. Gapontsev V. L., Fedorov V. A., Gapontseva M. G., Khuziakmetov A. N. Description language of educational content structure: Possibilities of modern mathematics. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2019; 15 (3): em1678. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/103031>
10. Perminov Ye. A., Testov V. A. Modelling methodology as the basis for implementation of an interdisciplinary approach in the training of students of pedagogical directions. *Obrazovaniye i nauka = The Education and Science Journal*. 2020; 22 (6): 9–30. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-6-9-30 (In Russ.)
11. Klein J. T., Häberli R., Scholz R. W., Grossenbacher-Mansuy W., Bill A., Welti M. The discourse of transdisciplinarity: An expanding global field. In: *Transdisciplinarity: Joint problem solving among science, technology, and society*. Birkhäuser, Basel; 2001. p. 35–44.
12. Garanina O. D. Development of transdisciplinary methodology: Response to challenges of integration of modern scientific knowledge. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the Development of Science and Education*. 2018; 40 (1): 5–7. DOI: 10.18411/lj-07-2018-01 (In Russ.)
13. Piaget J. L'épistémologie des relations interdisciplinaires. In: L. Apostel, G. Berger, A. Briggs, G. Michaud (eds.). *L'interdisciplinarité – Problèmes d'enseignement et de recherche*. Centre pour la Recherche et l'Innovation dans l'Enseignement. Paris: Organisation de Coopération et de développement économique; 1972. p. 131–144. (In French)
14. Krushanov A. A. “Transdisciplinary” trend in modern scientific knowledge. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the Development of Science and Education*. 2018; 42 (5): 77–80. DOI: 10.18411/lj-09-2018-106 (In Russ.)
15. Mokiy M. S., Mokiy V. S. Transdisciplinarity in higher education: Expert assessments and practical solutions. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education* [Internet]. 2014 [cited 2020 Jul 02]; 5. Available from: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14526> (In Russ.)
16. Alvargonzales D. Multidisciplinarity, interdisciplinarity, transdisciplinarity and sciences. *International Studies in the Philosophy of Science*. 2011; 25 (4): 387–403.

17. Devisilov V. A. Synergy and transdisciplinarity in education. *Alma mater (Vestnik vysshey shkoly) = Alma mater (Higher School Herald)*. 2013; 2: 95–101. (In Russ.)
18. Krushanov A. A. Pora uporjadochit' "transdisciplinarnyj haos" = It's time to order the "transdisciplinary chaos". In: *Istoriya i filosofiya nauki v yepokhu peremen = History and philosophy of science in an era of change*. Moscow: Russian Society of History and Philosophy of Science; 2018. p. 83–86. (In Russ.)
19. Frodeman R., Klein J. T., Mitcham C. *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. New York: Oxford; 2010. 580 p.
20. Ganicheva Ye., Golubev O., Testov V., Khabibulin A. Digital literacy is a necessary factor of modern education. In: *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Business Cooperation as a Resource of Sustainable Economic Development and Investment Attraction" (ISPCBC 2019)*. Pskov; 2019. p. 298–302. DOI: 10.2991/ispcbc-19.2019.73
21. Kizito M. Transdisciplinarity and information systems: IT governance in the digitalisation of healthcare. In: *Proceedings of the IS4SI 2017 Summit Digitalisation for a Sustainable Society, Gothenburg, Sweden*. 2017; 1 (3): 175. DOI: 10.3390/IS4SI-2017-04015
22. Knyazeva Ye. N. Transdisciplinary research strategies. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2011; 10: 193–201. (In Russ.)
23. Pohl C., Krutli P., Stauffacher M., Modolo L. Teaching transdisciplinarity appropriately for students' education level. *Gaia – Ecological Perspectives for Science and Society*. 2018; 27 (2): 250–252. DOI: 10.14512/gaia.27.2.14
24. Tejedor G., Segalàs J., Rosas-Casals M. Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 175: 29–37. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.085
25. Kabrońska J. Contemporary spaces of memory – towards transdisciplinarity in architecture. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 245: 042034.
26. Brink E., Wamsler C., Adolfsson M., et al. On the road to "research municipalities": analysing transdisciplinarity in municipal ecosystem services and adaptation planning. *Sustainability Science*. 2018; 13 (3): 765–784.
27. Andreyev V. V., Gibadulin R. Ya., Zhdanov R. I. Formation of a transdisciplinary approach to scientific and pedagogical activity as the main mission of the Institute for Advanced Studies. *Prepodavatel' XXI vek = Teacher of the XXI Century*. 2019; 2 (1): 9–22. (In Russ.)
28. Perminov Ye. A. On the role of mathematical sciences in the integration of mathematical and methodological training of future teachers. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education*. 2013; 1: 29–35. (In Russ.)
29. Perminov Ye. A., Anakhov S. V., Grishin A. S., Savitskiy E. S. On the research of the methodology of mathematization of pedagogical science. *International Journal of Environmental & Science Education*. 2016; 11 (16): 9339–9347. (In Russ.)
30. Testov V. A. Some types of metasubject results when teaching mathematics. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2016; (1): 4–20. DOI: 10.17853/1994-5639-2016-1-4-20 (In Russ.)
31. Perminov Ye. A. Culturological approach as methodological basis of mathematical education. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2017; 19 (10): 9–29. DOI: 10.17853/1994-5683-2017-10-9-29 (In Russ.)
32. Khutorskoy A. V. Meta-subject content of education from the point of view of human character. *Vestnik Instituta obrazovaniya cheloveka = Bulletin of Institute of Human*

Education [Internet]. 2012 [cited 2020 Jul 02]; 1. Available from: <https://eidos-institute.ru/journal/2012/100> (In Russ.)

33. Chernyakova I. S. Opportunities and limits of digitalization of humanitarian education. In: *Arkhitektura universitetskogo obrazovaniya: sovremennyye universitety v usloviyakh yedinogo informacionnogo prostranstva: sbornik trudov III Natsional'noy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Chast I = The Architecture of University Education: Modern Universities in a Single Information Space. Proceedings of the III National Scientific and Methodological Conference with International Participation. Part 1*. St. Petersburg: Publishing House Saint Petersburg University of Economics; 2019. p. 60–63. (In Russ.)

34. Krasovskiy N. N. Reflections on mathematical education. *Izvestiya UrGU = Proceedings of Ural State University*. 2003; 27: 5–12. (In Russ.)

Информация об авторах:

Тестов Владимир Афанасьевич – доктор педагогических наук, профессор кафедры математики Вологодского государственного университета; ORCID 0000-0002-3573-574X, Researcher ID A-5900-2016, Scopus ID 57203921177; Вологда, Россия. E-mail: vladafan@inbox.ru

Перминов Евгений Александрович – доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры математических и естественно-научных дисциплин Российского государственного профессионально-педагогического университета; ORCID 0000-0002-8807-2476; Екатеринбург, Россия. E-mail: perminov_ea@mail.ru

Вклад соавторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку статьи.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.06.2020; принята в печать 13.01.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Vladimir A. Testov – Dr. Sci. (Education), Professor, Department of Mathematics, Vologda State University; ORCID 0000-0002-3573-574X, Researcher ID A-5900-2016, Scopus ID 57203921177; Vologda, Russia. E-mail: vladafan@inbox.ru

Evgeniy A. Perminov – Dr. Sci. (Education), Associate Professor, Professor of Department of Mathematical and Natural-Science Disciplines, Russian State Vocational Pedagogical University; ORCID 0000-0002-8807-2476; Ekaterinburg, Russia. E-mail: perminov_ea@mail.ru

Contribution of the authors. The authors made an equal contribution to the preparation of the article.

Conflict of interest statement. The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 24.06.2020; accepted for publication 13.01.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.