ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ

УДК 37.001.76 DOI: 10.17853/1994-5639-2020-10-11-40

ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ ОБЩЕГО КРИЗИСА ОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ОПЫТА ИСТОРИИ НАУКИ. Часть I. Структура научного знания

В. Л. Гапонцев

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия. E-mail: vlgap@mail.ru

В. А. Федоров[1], Е. М. Дорожкин[2]

Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия.
E-mail: [1]Fedorov1950@gmail.com; [2]dorles@mail.ru

Аннотация. *Введение.* Проблема общего кризиса образования обозначена Ч. П. Сноу и названа Ф. Б. Кумбсом более 60 лет назад. Высказанные с того времени точки зрения по данной проблеме многообразны, но это не привело к уменьшению ее остроты. Зато свидетельствует о необходимости продолжить выявление и изучение порождающих общий кризис образования причин, из которых основными являются быстрый рост научного знания и его ускоренная дифференциация. Это определяет актуальность исследования структуры научного знания, являющегося детерминантом содержания общего образования, через призму истории науки.

Цель исследования состоит в обосновании представления об основной причине общего кризиса мирового образования как результате усиления дифференциации научного знания в связи с ускорением роста его объема и в разработке подхода к преодолению кризиса.

Методология, методы и методики. Методология исследования опирается на идеологию Ф. Клейна (Эрлангенская программа) и представления Ю. Вигнера об уровнях деления области научного знания (совокупность этих идей позволяет использовать их в качестве инструмента описания структуры научного знания и, как следствие, структуры содержания образования, детерминантом которого оно выступает), на личностно-деятельностный подход, развитый В. С. Ледневым для анализа структуры содержания образования, а также на подходы к описанию поведения сложных систем на основе закономерностей, установленных синергетикой.

Результаты. Рассмотрение истории развития структуры научного знания в рамках идеологии Эрлангенской программы Ф. Клейна позволило сделать вывод о том, что в целом ее следует описывать как результат незавершенного

процесса формирования схемы деления всей области научного знания на три области, которые составляют три уровня: явления природы, законы природы и область принципов симметрии. По мере возрастания каждый последующий уровень наделяет структурой предыдущий. Принятая в настоящее время классификация наук является горизонтальным сечением трехуровневой схемы деления научного знания в области законов природы.

Научная новизна. В работе показано, что трехуровневая схема деления научного знания формируется в ходе истории науки как основа интеграции научного знания, уравновешивающая процесс его дифференциации, что должно позволить оптимизировать содержание общего образования, усилив интеграцию его дисциплин.

Практическая значимость. Представления о структуре научного знания, заложенные в трехуровневой схеме деления области научных знаний, будут использованы в качестве основы для формирования нового варианта структуры содержания общего образования, который позволит оптимизировать ее и уменьшить остроту общего кризиса образования, связанную с прогрессирующей дифференциацией научного знания.

Ключевые слова: кризис образования, симметрия, структура содержания образования, структура научного знания.

Для цитирования: Гапонцев В. Л., Федоров В. А., Дорожкин Е. М. Взгляд на проблему общего кризиса образования через призму опыта истории науки. Часть I. Структура научного знания // Образование и наука. 2021. Т. 22, № 10. С. 11–40. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-10-11-40

A LOOK AT THE GLOBAL EDUCATIONAL CRISIS THROUGH THE LENS OF EXPERIENCE OF THE HISTORY OF SCIENCE
Part I. The scientific knowledge structure

V. L. Gapontsev

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia.
E-mail: vlgap@mail.ru

V. A. Fedorov[1], Ye. M. Dorozhkin[2]

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia.
E-mail: [1]Fedorov1950@gmail.com; [2]dorles@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The issue of the global educational crisis was outlined by Ch. P. Snow and denoted by Ph. H. Coombs more than sixty years ago. The viewpoints on this problem outspoken ever since are diversified, but it did not lead to blunting of acuteness thereof. It gives the evidence of the necessity to go on revealing and studying the reasons creating the global educational crisis, of which the rapid growth of scientific knowledge and its accelerated differentiation are outlined by researchers as primary ones. It determines the topicality of researching the struc-

ture of scientific knowledge, which is a determinant of the basic education content through the lens of the history of science.

The *aim* of the present study is substantiating of the idea that the basic reason of the world educational crisis is a result of strengthening of scientific knowledge differentiation due to acceleration of its volume growth and developing the approach to overcome the crisis.

Methodology and research methods. The methodology of the study is based on the ideology of F. Klein (the Erlangen programme) and the ideas of E. Wigner about the levels of division of the scientific knowledge field (the totality of these ideas allows using them as a tool for description of the scientific knowledge structure and, consequently, of the structure of the education content, the determinant whereof it is); on the personal-activity approach developed by V. S. Lednev for the analysis of the structure of the education content, and on the approaches to description of the behaviour of complex systems on the base of regular laws established by synergetics.

Results. Examining the history of development of the scientific knowledge structure within the ideology of F. Klein's Erlangen programme allowed coming to the conclusion that in general it should be described as a result of the non-completed process of formation of the pattern of dividing the entire scientific knowledge field into three areas constituting three levels: phenomena of nature, laws of nature and the field of symmetry principles. In proportion to growing, each next level provides the previous one with its structure. The currently accepted classification of sciences is a horizontal section of the three-level pattern of dividing the scientific knowledge in the field of laws of nature.

Scientific novelty. The paper evidences that the three-level pattern of dividing the scientific knowledge is formed in the course of the history of science as a basis of integration of the scientific knowledge, equalising the process of its differentiation, which shall allow optimising the content of general education with strengthening the integration of its disciplines.

Practical significance. The ideas of the scientific knowledge structure, inherent to the three-level pattern of dividing the scientific knowledge, will be utilised as the basis for the formation of a new variant of the general education content structure, which will allow optimising it and mitigating the acuteness of the global educational crisis related to the progressing differentiation of scientific knowledge.

Keywords: educational crisis, symmetry, education content structure, scientific knowledge structure.

For citation: Gapontsev V. L., Fedorov V. A., Dorozhkin Ye. M. A look at the global educational crisis through the lens of experience of the history of science. Part I. The scientific knowledge structure. *The Education and Science Journal.* 2020; 22 (10): 11–40. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-10-11-40

Введение

Проблема общего кризиса образования обозначена более 60 лет назад. Впервые она была сформулирована Ч. П. Сноу и Ф. Г. Кумбсом [1, 2], и актуальность ее решения только возрастает. Настоящая работа посвящена поиску возможности разрешения общего кризиса мирового образования,

основными причинами которого мы считаем быстрый рост научного знания и его ускоренную дифференциацию. При этом мы соглашаемся с мыслью Кумбса о том, что система образования не успевает подстроиться под данные изменения, но сужаем и конкретизируем ее, полагая, что прежде всего отстает от требований современности структура содержания общего образования.

Целью работы является обоснование представления об основной причине общего кризиса мирового образования как результате усиления дифференциации научного знания в связи с ускорением роста его объема и разработка подхода к преодолению кризиса. Для реализации цели рассматриваются подходы к описанию эволюции структуры сложных объектов при увеличении интенсивности внешнего воздействия на них. Эти подходы сложились в сфере точных наук.

На основании анализа литературы сформулирована гипотеза о том, что к эволюции системы научного знания можно подходить так же, как и к эволюции открытой термодинамической системы, испытывающей перестройку структуры при прохождении точки бифуркации, когда достигают критических значений параметры, характеризующие внешнее воздействие.

Задача обоснования гипотезы решается посредством анализа истории научного знания с позиций, характеризующих его структуру и эволюцию.

Результатом проведенного анализа является характеристика формирующейся в настоящее время структуры научного знания, которое, являясь детерминантом содержания общего образования, приводит к необходимости пересмотра его структуры. Эта задача будет решена в рамках настоящей работы.

Постановка проблемы

В 1959 г. Чарльз П. Сноу прочитал в Кембридже Лекцию Рида под названием «Две культуры и научная революция», позднее изданную в виде книги [1]. При этом Сноу говорил, что выделение только двух культур является полезной условностью, облегчающей восприятие основной проблемы. Проблема, по его мнению, заключается в глубокой дифференциации научного знания и дивергенции мировоззрений представителей его различных отраслей как следствия их специализации. Именно поэтому он связал создавшееся неудовлетворительное положение с проблемами образования.

Позднее, в конце 60-х гг. XX в., Ф. Г. Кумбс, директор Международного института планирования образования, на Уильямсбургской конференции впервые озвучил идею «мирового кризиса образования». После конференции была издана его монография «Кризис образования в современном мире: системный анализ». Основная идея Кумбса сводится к тому, что система образования не успевает подстраиваться к быстрым темпам научно-технического развития [2], которые приводят к взрывообразному росту объема информации. На уровне индивида проблема заключается в том, что предлагаемой к освоению информации становится так много, что учащиеся не в состоянии ее воспринять. Таким образом, проблема общего кризиса

образования была обозначена Ч. П. Сноу и названа Ф. Б. Кумбсом более 60 лет назад. За эти годы ей было уделено много внимания; в частности, глубоко изучались региональные аспекты кризиса образования [3–6]. Эти работы, безусловно, важны, но они имеют узконаправленный и чрезмерно конкретный характер, а их выводы и рекомендации не представляют интереса с точки зрения решения общих проблем мирового кризиса образования. Прямо противоположной направленностью отличаются работы, в которых проблема кризиса рассматривается в рамках, связанных с философией образования, социологическими и экономическими аспектами, детерминирующими образование [7–10]. В этих исследованиях часто речь идет об экзистенциональной природе кризиса образования и его связи со сменой парадигмы образования. В них, в отличие от работ, затрагивающих региональные аспекты кризиса образования, сформированы слишком широкие подходы, которые не позволяют прийти к общим, но конкретным выводам о центральной причине кризиса и способах ее купирования.

В доступной нам литературе мы не обнаружили попыток связать проблему кризиса образования с неуклонным ростом научного знания и кризисами самого научного знания. Наличие кризисов в науке широко известно: например, при переходе в начале XX в. от классической физики к квантовой. В силу сравнительной простоты объекта изучения точные науки развиваются относительно быстрее и, соответственно, раньше сталкиваются с критическими ситуациями. Поэтому вызывает удивление отсутствие обсуждения опыта их преодоления в рамках точных наук в связи с проблемой общего кризиса образования.

Мы не ставим задачи анализа всего многообразия причин, порождающих кризис, и потому в настоящей работе не анализируется весь массив литературы, посвященный данной проблеме. Мы исходим из допущения, что существует центральное звено этой проблемы, не рассмотрев которое бесперспективно пытаться решить ее в целом. В качестве такого звена мы выделяем постоянно и ускоренно растущий поток знаний, приводящий к их дифференциации, которая затрудняет формирование целостной картины научного знания.

В подтверждение высказанной позиции приведем мнение Я. С. Турбовского, изложенное в работе «Кризис образования: поиск системного решения»: «…возникает множество вопросов:

– почему вот уже больше сорока лет говорится о кризисе в образовании, но по сей день не определено и обоснованно не сформулировано, в чем он выражается?

– почему нет и малейшей попытки объяснить, почему мы непрерывно как бы занимаемся реформированием образования, а сколько-нибудь необходимых результатов не только не достигаем, а даже не знаем, благодаря чему они достижимы?» [11].

В попытке ответа на эти вопросы Я. С. Турбовской говорит: «Как известно, научное обращение к проблеме кризиса в образовании началось в 1967 г. с утверждения директора Международного института планирования образования Ф. Г. Кумбса: система образования не смогла адекватно отре-

агировать на резкое ускорение научно-технического прогресса с середины XX в., которое стало результатом научно-технической революции.

Этот откровенно парадоксальный вывод был активно поддержан и советскими педагогами. И никого не удивило, как такое возможно, чтобы образование – плоть от плоти науки – не смогло вобрать в себя научных достижений. Но именно этот вопрос не был поставлен». Ответ самого Я. С. Турбовского сводится к признанию им неправомерности отождествления понятий «информация» и «знание»: «Ибо, не вдаваясь в глубокую дискуссионность, „информация“ – это разного рода сведения о чем угодно, а „знания“ – результат познавательной, преимущественно научно-технической и профессионально-методической, деятельности».

В последней приведенной цитате находится, по нашему мнению, ключ к решению центральной проблемы кризиса образования. «Информация» структурируется по своим правилам, часто случайным, а «знание» структурируется по правилам, установленным как результат исторического опыта человечества и личного опыта каждого индивида в познании окружающего мира.

На наш взгляд, одной из проблем, возникших при обсуждении кризиса образования, является то, что вклад в это обсуждение внесли в основном представители гуманитарной области знаний (философы, социологи, педагоги), то есть представители одной из культур (по терминологии Сноу). В доступной нам литературе мы не обнаружили систематического изложения взгляда на проблему общего кризиса образования, основанного на идеях точных наук. Это, возможно, связано с преобладанием подходов, опирающихся на позиции постмодернизма, который предполагает радикальный отход от позиций модернизма, в том числе и по вопросам теории образования. Этот факт ясно подчеркнут в обзоре работ западных авторов, посвященных постмодернистским теориям образования: «Таким образом, постмодернистские теории концентрируют свое внимание на качественных исследованиях отдельных элементов образования, на этнических и гендерных особенностях преподавателей и учащихся, а также огромное внимание уделяют языку и текстам. Сам характер постмодернизма… [заключается] в отсутствии и невозможности теоретического единства <…> В силу этого обстоятельства мы отказались от понятия постмодернистской парадигмы» [12]. Это пессимистическое заключение свидетельствует об отсутствии единой позиции в постмодернизме и чрезмерном радикализме при отказе от идей модернизма. Но с идеями модернизма тесно связана как классическая, так и неклассическая наука и даже так называемая постнеклассическая наука, которая является всего лишь переходом к описанию нелинейных и нелокальных систем, то есть отличается объектом, а не методами.

Поспешность отказа от идеологии модернизма, по-видимому, и создает проблему отсутствия анализа общего кризиса образования с позиций точных наук. В настоящей работе предпринята попытка восполнения данного пробела на основе использования идей подхода, развитого в синергетике при описании изменения структуры макроскопических систем в результате прохождения точки бифуркации (перехода на новый, более дифференциро-

ванный и высокий, уровень упорядоченности), когда внешняя нагрузка на систему достигает критических значений.

Методология, материалы и методы

В статье использован материал, включающий результаты исследования проблем формирования структуры научного знания и структуры содержания образования.

Исследование опиралось:

1) на идеологию Ф. Клейна (Эрлангенская программа) и представления Ю. Вигнера об уровнях деления области научного знания. Совокупность этих идей позволяет использовать их в качестве инструмента для описания структуры научного знания и, как следствие, структуры содержания образования, детерминантом которого оно выступает [13–15];

2) личностно-деятельностный подход, развитый В. С. Ледневым для анализа структуры содержания образования [15, 16];

3) подходы к описанию поведения сложных систем на основе закономерностей, установленных синергетикой [17–22].

Анализ возможности применения идеологии синергетики к описанию эволюции структуры научного знания

Синергетика сформирована в основном в результате деятельности школы Ильи Пригожина [17–19] и получила применение в различных областях – от физики и химии до социологии [20]. Таким образом, ее закономерности рассматриваются как универсальные при описании открытых макроскопических систем. В последнее время появился дополнительный аргумент в пользу универсального характера закономерностей синергетики, опирающийся на принцип максимума производства энтропии Циглера. Данный принцип заключается в том, что если в результате кинетического фазового перехода неравновесная система может оказаться в нескольких стационарных состояниях, то реализуется такое состояние, для которого производство энтропии является максимальным[1]. В обзоре Л. М. Мартюшева и В. Д. Селезнева продемонстрирован универсальный характер принципа максимума производства энтропии, находящего свое применение при описании процессов в физике, химической кинетике и биологии [21].

Примером явлений, описываемых синергетикой, является формирование неравновесных диссипативных структур[2], таких как ячейки Бенара и химические осцилляции, наблюдаемые в ходе реакции Белоусова – Жаботинского, рассмотренные, например, в работе В. Эбелинга [22]. При образовании диссипативной структуры степень симметрии системы понижается. Так, первоначально однородная жидкость после достижения критического

[1] Принцип максимума энтропии Циглера не следует смешивать с принципом минимума производства энтропии Пригожина.

[2] Диссипативные структуры в отличие от структур, характерных для равновесных условий, возникают в далеких от равновесия системах.

значения перепада температур разбивается на ячейки шестигранной формы (ячейки Бенара). То есть после прохождения точки бифуркации меняется структура системы. Из анализа условий возникновения диссипативных структур В. Эбелинг делает вывод: «…структуры могут возникать в природе… когда выполняются следующие условия:

1. Система является термодинамически открытой, т. е. может обмениваться веществом и/или энергией со средой.

2. Динамические уравнения, описывающие систему, нелинейны.

3. Отклонение от равновесия превышает критическое значение.

4. Микроскопические процессы происходят кооперативно (согласованно)» [22].

Универсальный характер закономерностей синергетики позволяет рассчитывать, что ее подход можно использовать и при решении проблем, связанных с эволюцией *структуры научного знания*, когда достигаются некоторые критические условия, возникающие при ускорении роста его объема. Но для возможности ее применения нам необходимо оценить выполнение условий формирования диссипативных структур, приведенных выше (пп. 1–4).

Мы рассматриваем научное знание и образование как результат функционирования определенных социальных структур общества. Очевидно, что как общество в целом, так и его структуры, реализующие накопление и передачу научного знания посредством подходящей организации общего образования, являются открытыми системами, особенно с учетом того, что обмен информацией может быть включен в определение открытой системы (см. п. 1), поскольку понятия энтропии и информации тесно связаны.

Высокая интенсивность научно-технического прогресса и неспособность системы образования адаптироваться к ней, лежащая в основе объяснения мирового кризиса образования по Кумбсу [2], имеют прямую аналогию с п. 3.

Остановимся подробнее на условии образования диссипативной структуры, содержащемся в п. 4. Возможность применения этого пункта к социуму связана с тем, что общество имеет социальную организацию, то есть состоит из относящихся к различным группам и взаимодействующих различным образом индивидов, например экспериментатора с теоретиком, специалиста в области квантовой механики с химиком, учителя с учеником и т. п. Можно привести и менее формальное обоснование. Одному из авторов данной работы лет 15 назад довелось ознакомиться со статьей английских исследователей[1], в которой рассматривался вопрос из области ареальной лингвистики. Авторы анализировали границы между диалектами в некоторых графствах Англии. Был сделан вывод о том, что эти границы стремятся приобрести наименьшую длину, что было проинтерпретировано как свидетельство наличия поверхностного натяжения между областями, занятыми группами с различными диалектами. Этот эффект аналогичен

[1] К сожалению, выходные данные этой статьи не были зафиксированы в силу иных профессиональных интересов автора, и восстановить их не удалось.

эффекту поверхностного натяжения на границе двух несмешивающихся жидкостей, который находит объяснение в терминах кооперативных явлений [23]. Он также аналогичен эффекту, приводящему к наличию диффузной границы между парами металлов, например, в системе «медь – железо». «Поверхностное натяжение» в такой системе недавно было объяснено на основе гипотезы слабой нелокальности [24], учитывающей кооперативные эффекты между частицами вещества в рамках термодинамического описания макроскопических тел. Эта гипотеза была впервые высказана при интерпретации процесса распада межфазной границы в сплавах «медь – железо» и «медь – кобальт» в ходе механосплавления порошков чистых металлов [25]. Не углубляясь в ее суть, достаточно сложную для понимания, отметим лишь то, что она объясняет возможность формального описания кооперативных эффектов и их универсальный характер.

Но можно привести и наглядное описание таких эффектов на близком к бытовому языке: атомам железа энергетически невыгодно находиться в окружении атомов меди, и наоборот. Атомы меди стремятся вытеснить атомы железа из своей области, и наоборот. Но благодаря тепловому движению атомов и их взаимной диффузии образуется переходная область – диффузная межфазная граница, площадь поверхности которой в условиях равновесия должна быть минимальной в силу второго закона термодинамики. Аналогично представителям одного диалекта некомфортно существовать в окружении представителей другого диалекта, что и приводит к образованию границы между ними, которая стремится принять минимальную длину, как это было установлено английскими исследователями, что свидетельствует о наличии кооперативных эффектов в социуме.

Таким образом, мы можем считать, что в результате производства новых знаний в ходе научно-технического прогресса в социуме выполняются приведенные выше первое, третье и четвертое условия как необходимые для возникновения диссипативных структур.

Наибольшие затруднения в применении к социуму условий образования диссипативных структур вызывает п. 2 «Динамические уравнения, описывающие систему, нелинейны». В отличие от термодинамических систем, для которых имеется математическое описание, для такого объекта, как общество, оно отсутствует. Но это не означает, что мы не можем применять общие закономерности, установленные синергетикой для описания формирования диссипативных структур, к социуму. В отсутствие динамических уравнений мы не можем дать теоретическое описание формирования диссипативных структур, подобное анализу эффекта Бенара [22, с. 101–106], но мы можем проводить эмпирическое изучение интересующих нас явлений, подобное исследованию эффекта Бенара [22, с. 95–98].

Следовательно, правомерен вывод о том, что мы можем эмпирически выявить критические точки и описать формирование структур, возникающих в области научного знания в ходе научно-технического прогресса (выполнение условия п. 2), и использовать идеологию синергетики для решения проблем, связанных с эволюцией *структуры научного знания.* Для реализации этой возможности обратимся к ключевым моментам истории науки.

Изменение структуры научного знания при переходе от индуктивного этапа развития к дедуктивному

Индуктивный этап развития научного знания – это этап, когда все знания приобретались в основном опытным путем, то есть наводились (индуцировались) в ум человека на основе простого наблюдения без систематического использования логики[1]. Максимальную длительность индуктивного этапа можно оценить началом использования устойчивых технологий изготовления орудий труда. Минимальную оценку длительности этого периода может дать история орнаментов, зафиксированная на изделиях, найденных в ходе археологических раскопок и этнографических экспедиций Б. А. Рыбаковым [26]. Так, меандровый орнамент находят на вышивках XIX в. и различных видах керамических изделий, время изготовления которых выходит далеко за рамки письменного периода истории. Но первые образцы этого орнамента возникают как дендритный узор, проступающий после шлифовки на фигурках богини плодородия, вырезанных из бивня мамонта, то есть изготовленных около 20 000 лет назад. Другой орнамент использует земледельческий узор в виде ромба с точкой в его центре. Он символизирует распаханное, засеянное и заборонованное поле, и ему около 7000 лет. Третий характерный символ – это громовой знак, символ высшего знания. Он образован тремя линзами, вписанными в окружность, вершины которых делят ее на шесть равных частей. От него происходит деление годичного цикла на 12 частей и времени суток на 24 часа. Все эти узоры устойчиво повторяются и фиксируют характерные виды геометрических симметрий: зеркальную, трансляционную и поворотную.

Именно геометрические симметрии были положены в основу доказательства первых теорем геометрии, приписываемых Фалесу Милетскому (ок. 625 – ок. 547 г. до н. э.). По мнению известного советского математика И. М. Яглома, основная заслуга Фалеса заключается не в доказательстве первых теорем геометрии, а в том, что для этого доказательства впервые был использован логический метод [27]. Аксиоматическая система Фалеса не была сформулирована в явном виде и опиралась на свойства симметрии геометрических объектов, принимавшиеся в качестве постулатов.

С этого времени и начался дедуктивный период развития научного знания. Он характеризуется систематическим использованием логики в качестве инструмента получения новых знаний. Этот способ их приобретения оказался гораздо более эффективным, чем эмпирический, основанный на наблюдениях и измерениях. Возникло большое количество новых разнообразных знаний, нуждающихся в упорядочении. Подтверждением тому является период истории, известный как Золотой век Древней Греции, в течение которого обособились как отдельные области следующие науки: философия, математика, физика, биология, история и логика.

В дальнейшем математика делится на геометрию, арифметику и алгебру. Происходит членение и других наук на подразделы – характерной чер-

[1] Логический метод предполагает использование дедукции, поэтому этап, следующий за индуктивным, принято называть дедуктивным.

той дедуктивного периода является перманентная дифференциация знания, так что в итоге его структура приобретает вид древовидного графа (рис. 1).

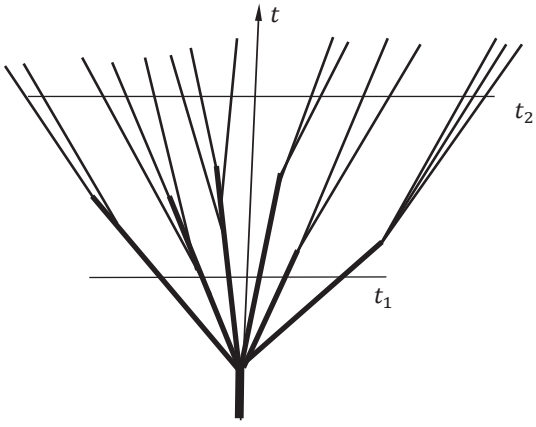

Рис. 1. Схема дифференциации наук при их перманентном ветвлении на дедуктивном этапе развития науки

Fig. 1. The pattern of differentiation of sciences at their permanent ramification on the deductive phase of science development

Схема, приведенная на рис. 1, имеет формальный характер, положения точек ветвления и их число не связаны прямо с конкретной историей науки. Но в данной схеме верно отражен важный вывод: на более ранних этапах истории науки число различаемых ветвей меньше, чем на более поздних. Например, уже во времена Древней Греции (условно – момент времени t_1) существовали как отдельные научные отрасли математика, логика, философия, физика, биология и история. В более поздний период (условно – момент времени t_2) математика разделилась на геометрию, арифметику и алгебру, физика – на механику, оптику и электромагнетизм, а логика – на формальную логику и математическую логику и т. п.

По мере роста и усложнения «дерева» наук появляются проблемы, связанные с трудностью восприятия целостной картины научного знания. Следовательно, возникает необходимость в выработке механизмов систематизации научного знания, его интеграции. Вначале такие механизмы были выявлены в математике и получили название Эрлангенской программы Клейна.

Эрлангенская программа Ф. Клейна – структура математики

Точные науки, и в частности математика, раньше остальных столкнулись с кризисом, связанным с ростом объема знаний и их дифференциацией. Вот принадлежащее Д. Стройку описание ситуации, сложившейся в математике к концу XIX в.: «К 1870 г. математика разрослась в огромное

и хаотичное здание, состоящее из большого числа частей, дорогу в которых могли найти только специалисты. Даже большие математики, такие как Эрмит, Вейерштрасс, Кели, Бельтрами, могли продуктивно работать самое большее лишь в немногих ее областях. Эта специализация росла, и сейчас она достигла устрашающих размеров. Но никогда не прекращалось противодействие ей» [13, с. 242]. Решение проблемы было предложено в 1872 г.: «В 1872 г. Клейн стал профессором в Эрлангене. В своей вступительной лекции он разъяснял важность понятия группы для классификации различных областей математики. В этой лекции, которая стала известна под именем „Эрлангенской программы“, любая геометрия объявлялась теорией инвариантов особой группы преобразований. Расширяя или сужая группу, можно перейти от одного типа геометрии к другому. Евклидова геометрия изучает инварианты метрической группы, проективная геометрия – инварианты проективной группы. Классификация групп преобразований[1] дает нам классификацию геометрий. Проективное определение метрики, по Кели, позволяет рассматривать метрическую геометрию в рамках проективной геометрии. ”Присоединение” инвариантного конического сечения к проективной геометрии на плоскости дает нам неевклидовы геометрии. Даже сравнительно неизученная (тогда) топология нашла свое должное место как теория инвариантов непрерывных точечных преобразований» [13, с. 242].

Для нас наиболее существенным в процитированном тексте является то, что разрешение кризиса в математике связано с появлением некоторой структуры, упорядочивающей разделы математики. Эта структура описывается как иерархия групп симметрии и иерархия инвариантов, которым соответствует иерархия разделов математики, и в частности геометрии.

Таким образом, главным утверждением Эрлангенской программы Ф. Клейна является то, что в основе каждого раздела математики лежит своя специфическая группа симметрий [29].

Например, евклидову геометрию на плоскости порождает группа пространственных движений плоскости и связанная с ней симметрия, инвариантами которой являются длины преобразуемых отрезков и углы между отрезками [30]. Она распадается на ряд подгрупп, к которым относятся группа преобразований инверсии относительно центра, группа преобразований зеркального отражения относительно прямой, группа поворотов относительно

[1] Под группой преобразований, или группой симметрий, в математике подразумевается набор преобразований, удовлетворяющих аксиомам группы [28]. Среди требований, предъявляемых к группе преобразований, два основных: любое преобразование группы оставляет неизменными некоторые объекты (инварианты группы), и повторение любых двух преобразований группы (на языке математики – композиция преобразований) снова является преобразованием этой же группы. Второе требование означает замкнутость набора преобразований группы, что делает ее удобным объектом математики. Подгруппой группы преобразований называют часть преобразований данной группы, которая сама является группой. Набор инвариантов подгруппы шире набора инвариантов исходной группы: так, инвариантами группы поворотов с осью шестого порядка являются правильные шестиугольники, а набор инвариантов ее подгруппы – группы поворотов с осью третьего порядка – помимо правильных шестиугольников включает еще и правильные треугольники. Подробнее с определением понятия группы можно познакомиться, например, в работе [28].

центра и группа трансляций, то есть параллельных переносов относительно выделенной прямой [30]. В свою очередь, подгруппа поворотов относительно центра распадается на группы вращений с осями второго, третьего, четвертого и т. д. порядков, а подгруппа трансляций распадается на группы трансляций с различными длинами переноса вдоль выделенной оси и т. д.

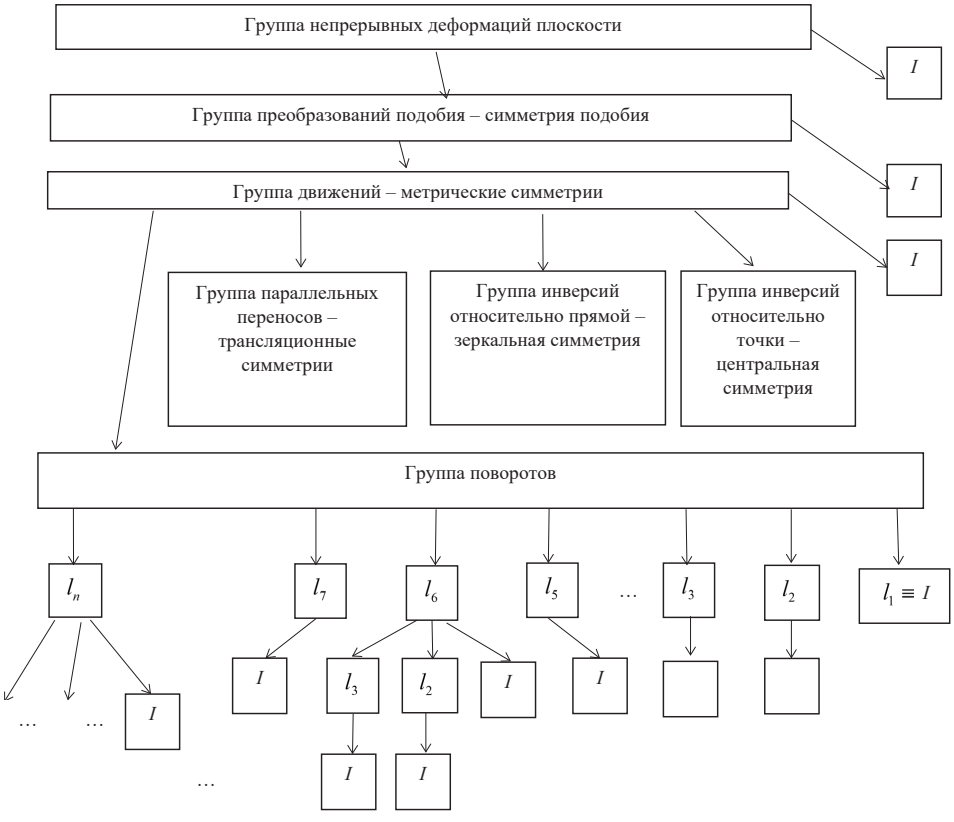

Рис. 2. Иерархия групп преобразований плоскости и соответствующих им симметрий:

l_n – ось поворотов n-го порядка (n = 1, 2, 3…), I – группа тождественных преобразований [31]

Fig. 2. Hierarchy of plane transformation groups and symmetries corresponding thereto: l_n – the nth order pivot point (n = 1, 2, 3…), I – group of identity transformations [31]

В итоге перед нами предстает иерархия групп симметрии в виде иерархии групп преобразований, плюс соответствующие им инварианты, а в конечном счете – иерархия геометрий: проективная геометрия включает в

себя аффинную геометрию, которая, в свою очередь, включает евклидову геометрию. Иерархия групп симметрии представляет собой содержательный каталог геометрии в целом. Каждая группа симметрии в этой иерархии играет двойную роль:

1) позволяет сформулировать аксиоматическую систему этого раздела геометрии[1], то есть определяет его содержание;

2) является естественным маркером этого конкретного раздела, то есть однозначно указывает именно на этот раздел.

На рис. 2 показана иерархия групп геометрических симметрий на плоскости. Из нее следует важный для нас вывод, что по мере перемещения от нижних уровней к верхним происходит огрубление описания и одновременно его обобщение. Это связано с тем, что число инвариантов подгруппы больше числа инвариантов объемлющей ее группы. Очевидный пример выполнения этого свойства дает группа тождественных преобразований, она является тривиальной подгруппой любой группы. При тождественном преобразовании (то есть при фактическом отсутствии преобразования) неизменными остаются структурные элементы плоскости, и, следовательно, число ее инвариантов больше числа инвариантов группы, в которую она включена.

Как будет показано ниже, эта особенность – огрубление описания в процессе его обобщения – является универсальной характеристикой структуры научного знания, рассматриваемого как результат незавершенного процесса его формирования в виде фрагментов иерархии аксиоматических систем.

Модернизация представлений о структуре научного знания в свете идеологии Эрлангенской программы

Значимый шаг в переносе представлений Ф. Клейна о структуре математики на другие области точных наук был осуществлен Ю. Вигнером. Областью его интересов была квантовая теория поля, в частности то, что он называл «динамическими принципами инвариантности»[2]. Для него было важно сформулировать различие между этими новыми принципами инвариантности и старыми, хорошо известными к тому времени, которые носят название «классических, или геометрических, принципов инвариантности»[3]. Это отличие Вигнер определил так: классические принципы инвариантности сформулированы на языке явлений природы, а динамические принци-

[1] Аксиоматическая система позволяет получить все результаты данного раздела науки строго логическими методами, она состоит из набора первичных понятий – понятий, не сводимых к другим понятиям, аксиом – самоочевидных утверждений, не требующих доказательства, и правил выведения, в качестве которых обычно выступают законы формальной логики [32].

[2] К ним относятся, например, принципы калибровочной инвариантности классических и квантовых полей [33].

[3] К этим принципам инвариантности относятся, в частности, принцип относительности Галилея и принцип относительности Эйнштейна [14].

пы инвариантности формулируются на языке законов природы. Для того чтобы сделать возможной такую формулировку, Вигнер ввел представление, согласно которому область научных знаний состоит из трех частей: области явлений природы, области законов природы и области принципов симметрии: «Именно переход с одной ступени на другую, более высокую, – от явлений к законам природы, от законов природы к симметрии, или принципам инвариантности, – представляет собой то, что я называю иерархией нашего знания об окружающем мире» [14].

Приведем описание уровней схемы Вигнера, данное им самим: «Одни из этих явлений, такие как восход и заход солнца, мы воспринимаем непосредственно, хотя объяснение того, что мы понимаем под непосредственным восприятием, завело бы нас слишком далеко и было бы нелегкой задачей. Другие явления, такие как движение α-частицы, мы воспринимаем лишь с помощью чрезвычайно сложных приборов типа пузырьковой или искровой камеры. В этих случаях мы верим, что уже известные нам законы природы позволят узнать, как функционирует используемая техника, и что информацию, извлекаемую при *интерпретации* чувственных данных, получаемых с помощью приборов, можно рассматривать наряду с теми чувственными данными, интерпретировать которые мы научились еще в детстве.

Вводимое мной допущение состоит в том, что восприятие явлений в физике обычно зависит от уровня нашего знания законов природы» [14, с. 36, 37].

В процитированном отрывке прежде всего обращает на себя внимание то обстоятельство, что это именно описание явления природы, дающее представление о том, что автор имеет в виду, а не его определение. Причина, по которой Вигнер избегает строгого определения, по-видимому, связана с пониманием им сложной природы этого понятия. Тем не менее имеет смысл попробовать дать определение понятию «явление», удовлетворяющее описанию Вигнера. Первая попытка будет выглядеть следующим образом: явление – это то, что можно наблюдать непосредственно, с помощью органов чувств, и опосредованно, с помощью приборов. Но поскольку других способов наблюдения, кроме названных, мы не знаем, то эти упоминания излишни. Вторая попытка будет выглядеть так: явление – это то, что можно наблюдать. Такое определение является неоправданным с точки зрения формальной логики. Действительно, любое правильное определение позволяет разделить некоторую группу объектов на две части: удовлетворяющую ему и не удовлетворяющую. Например, давая определение понятию «дерево», мы получаем возможность отличить деревья от других растений. В этом случае наше определение понятия «явление» должно указать на объекты, которые мы можем наблюдать, и отличить их от объектов, которые мы наблюдать не можем. Но если мы не можем наблюдать некоторый объект, откуда мы узнаем о его существовании? Для разрешения этого противоречия необходимо ограничить значение термина «наблюдать» так, чтобы оно отличалось от смысла терминов «видеть», «ощущать», «слышать»… Условимся считать, что некоторый объект можно наблюдать при выполнении следующих двух условий: первое – он может быть локализован в некоторой области

пространства в определенный период времени, второе – могут быть обеспечены дополнительные условия, связанные с природой объекта. Первое условие – требование локализации в пространстве и времени – является общим для всех объектов природы. Второе требование фактически соответствует допущению Вигнера о том, что «восприятие явлений в физике обычно зависит от уровня нашего знания законов природы». Действительно, следуя его первому примеру, для того чтобы наблюдать закат или восход солнца, мы должны по крайней мере не находиться в помещении без окон, что и обеспечивает физическую возможность наблюдения. В случае с примером наблюдения α-частицы нам придется обеспечить другой, более сложный, комплекс физических условий: подключить искровую камеру к соответствующему источнику напряжения, поместить перед ней источник α-частиц и др. Но и в том, и в другом случае мы будем наблюдать явление в некоторой точке пространства в определенный момент времени. То есть всякое явление имеет свой «адрес». При этом мы отвлекаемся от иных индивидуальных характеристик данного явления природы, отличающих его от других явлений природы.

По способу описания локализации мы можем выделить три типа объектов: макроскопические тела, силовые поля и микрочастицы. Локализация первых описывается указанием места их расположения в пространстве в определенный момент времени. Силовые поля описываются распределением их параметров в определенный момент времени в некоторой области пространства. Локализация микрочастиц описывается вероятностью их нахождения в точках некоторой области пространства в определенный момент времени. Отметим, что при переходе от макроскопических тел к силовым полям и затем к микрочастицам способ описания локализации становится все более сложным.

По манере изменения положения и состояния можно выделить следующие виды макроскопических объектов: неорганические тела, органические неодушевленные (растения), органические одушевленные (животные), органические, обладающие свободой воли (человек). Тела первого рода двигаются по траектории, описываемой законами механики или заданной программой. Растения имеют определенный период существования и развития, в течение которого они закономерным образом изменяются. Животные имеют определенный ареал обитания и поведение, соответствующее заложенным в них инстинктам. Человек может сознательно менять ареал своего обитания произвольным образом. Возможность локализации в определенной области пространства в определенный момент времени и в определенном состоянии (может быть, мы хотим наблюдать распустившийся бутон розы) существенно уменьшается по мере перехода от неорганических тел к существам, обладающим свободой воли. Эти две тенденции установлены по разным основаниям, и теоретически мы не можем утверждать, исходя из наших знаний, что при своем продолжении они не пересекутся[1]. Что за

[1] Согласно преданию, Дионисий Ареопагит, ученик апостола Павла, ввел понятие «Умные Силы», которое точно соответствует двум описанным тенденциям. Удивляет то, что нам для их описания требуется использовать знания, полученные в течение ~ 2500 лет.

объекты мы получим при совмещении этих тенденций? Это будут гипотетические объекты, сконструированные на основе наших знаний о природе, но которыми мы не сможем оперировать привычными нам способами: мы не сможем гарантированно указать место, время и условия их наблюдения, но мы и не можем утверждать, что такое «явление» не станет доступным нашему восприятию в то время, в том месте и при тех условиях, которые мы не контролируем.

В итоге мы приходим к следующему определению понятия «явление природы»: *явление природы – это то, что мы можем наблюдать в определенный момент времени в указанной области пространства и в контролируемых нами условиях.* Другие явления, отрицать возможность которых мы не можем, мы просто относим к области, находящейся вне науки, и обозначаем их как «явления духа» в отличие от «явлений природы». Заметим, что приведенное определение понятия «явление природы» согласуется с описанием Вигнером этого понятия и имеет характер правильно установленного логического термина.

Для анализа введенных Вигнером понятий «законы природы» и «принципы инвариантности (симметрии)» и их роли в предложенной выше трехуровневой схеме научного знания снова обратимся к тексту работы «Этюды о симметрии»: «Я хочу объяснить, почему мне все время приходится говорить о *законах* природы, а не об одном универсальном *законе*. Действительно, если бы был открыт универсальный закон природы, то принципы инвариантности свелись бы просто к математическим преобразованиям, оставляющим инвариантными этот закон… Но если бы универсальный закон природы был открыт, то принципы инвариантности утратили бы то место, которое они занимают в описанной выше иерархии наших знаний о природе <…> в отношении законов природы дело обстоит точно так же: если бы мы располагали полным описанием всех явлений, с которыми нам когда-либо придется столкнуться, то… законы природы во многом утратили бы свое значение подобно тому, как это произошло бы с принципами инвариантности в результате открытия универсального закона природы» [14, с. 37].

Из приведенной цитаты вытекает следующее определение: закон природы – это корреляция между явлениями природы. Кроме того, очевидно, что на данный момент времени науке известно множество законов природы: закон Кулона, закон Ома, закон Фарадея, закон всемирного тяготения Ньютона, закон постоянства состава Дальтона, законы Менделя и множество других законов из различных областей науки. Каждый из них осуществляет выделение своей части области явлений природы. Например, закон Кулона описывает электростатические явления, а закон всемирного тяготения – явления притяжения между телами, имеющими массу. Таким образом, каждый закон природы выделяет определенную группу явлений природы, относящуюся именно к этому закону. Иными словами, *множество законов природы наделяет структурой множество явлений природы.* Каждому закону природы соответствует не одно явление природы, а некоторое их множество. Причем, зная закон природы, мы можем предсказать множество соответствующих ему явлений природы. Так, зная закон Кулона, мы можем

предсказать величину силы взаимодействия любых электрических зарядов, расположенных на любых расстояниях. То есть одно явление природы (начальное положение и скорость) и два закона природы позволяют установить бесчисленное множество других явлений природы – положение планеты и ее скорость в любой момент времени прошлого и будущего. Это пример того, что можно определить как «экономию» описания: вместо знания множества явлений природы мы обходимся меньшим множеством законов природы, наделяющим структурой множество явлений природы.

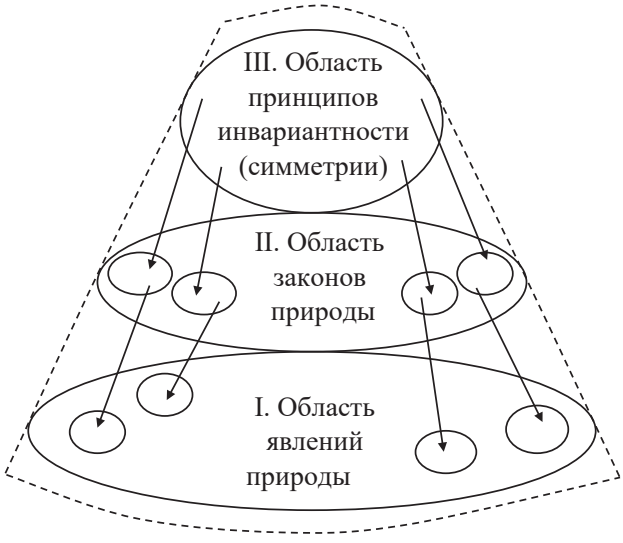

Рис. 3. Трехуровневая схема деления области научных знаний, сформированная согласно представлениям, развитым Ю. Вигнером в приложении к квантовой теории поля [14]

Fig. 3. The three-level pattern of dividing the field of scientific knowledge formed according to the ideas developed by E. Wigner in the appendix to the quantised field theory [14]

В той же цитате определена и аналогия, на которую указывает Вигнер, между рассмотренным выше соотношением, с одной стороны, принципов инвариантности (симметрии) и законами природы, а с другой стороны, законов природы и явлений природы. Как множество законов природы наделяет структурой множество явлений природы, так и *множество принципов симметрии наделяет структурой множество законов природы.* Поскольку множество принципов симметрии у́же множества законов природы, то этим научная мысль делает следующий шаг на пути «экономии» описания. Приведем в качестве примера принцип калибровочной симметрии электромагнитного поля, который утверждает, что уравнения электродинамики Максвелла инвариантны относительно выбора начала отсчета потенциала.

Он выделяет область электрических и магнитных явлений, для которой выполняются закон Кулона, закон Био – Савара – Лапласа, закон Ампера и др.

Приведенные выше описания представлений Ю. Вигнера о строении научного знания складываются в схему деления области научных знаний, состоящую из трех уровней, которая отсутствует в работах Вигнера, но вытекает из их содержания (рис. 3). Уровни, лежащие выше других, состоят из множеств меньшего «объема», чем уровни, лежащие ниже, и при этом верхние уровни наделяют структурой нижние, как символически показано на рис. 3. Представленную схему мы не только принимаем пригодной для применения в области квантовой теории поля, как Ю. Вигнер, но и допускаем возможность ее применения ко всей области научного знания.

Конечной целью нашей работы является применение представлений о структуре научного знания к модификации структуры содержания общего образования. Для ее реализации необходимо указать, какие именно особенности, существенные с этой точки зрения, вносит отмеченная выше модернизация представлений о структуре научного знания.

Обсуждение эволюции представлений о структуре научного знания

Схема структурирования разделов геометрии (рис. 2) и схема деления области научных знаний, составленная в соответствии с описанием Ю. Вигнера (рис. 3), характеризуются одной общей особенностью, имеющей принципиальное значение. В обеих схемах верхние уровни строятся на основе более общего описания, чем подчиненные им нижние. При переходе от нижних уровней описания к верхним устраняются многочисленные детали, описание огрубляется и становится более общим. Это означает также то, что, имея только описание, соответствующее верхнему уровню, невозможно, опираясь на логику, полностью восстановить описание, соответствующее лежащему под ним уровню. Для восстановления всех деталей нужно будет обратиться к внешним источникам: опыту или другим разделам науки.

Обобщение и огрубление описания при переходе от нижних уровней к верхним в отношении иерархии групп преобразований плоскости (рис. 2) были рассмотрены выше.

Разберем выполнение той же особенности в случае схемы на рис. 3, иллюстрирующей трехуровневую схему структуры научного знания. Каждое явление природы, отнесенное к нижнему уровню области научных знаний, имеет массу конкретных характеристик, позволяющих отличить его от других явлений природы. От большинства этих индивидуальных особенностей мы отвлекаемся, переходя к уровню законов природы. Так, например, рассматривая закон всемирного тяготения, мы не учитываем цвет, электрический заряд и другие конкретные детали тела, на которое действует сила тяжести, во внимание принимается только масса тела. То есть множество инвариантов, характеризующих область явлений природы, сокращается при переходе к области законов природы. Аналогично при переходе от области законов природы к области принципов симметрии за счет утраты детально-

сти описания возрастает его общность. Так, суть принципа относительности Галилея состоит в том, что законы классической физики (в частности, механики) инвариантны относительно преобразований Галилея. В итоге конкретные законы механики «вбирают в себя» множество явлений природы, группируемых ими. Например, второй закон Ньютона и закон всемирного тяготения позволяют вычислить положения тела, двигающегося вокруг звезды, во все моменты времени в прошлом и будущем. По определению, каждое из положений этого тела – это явление природы, так как его можно наблюдать. С другой стороны, оба эти закона и много других, например законы переноса вещества и энергии, подчинены принципу относительности Галилея – одному из классических принципов симметрии физики.

Как отмечено выше, и схема деления области научных знаний (рис. 3), и схема систематизации разделов геометрии (рис. 2 – это частный пример систематизации разделов математики) реализуют принцип обобщения (огрубления) описания, который выражается в уменьшении числа учитываемых инвариантов при переходе от нижних уровней описания к верхним.

Такая же особенность характерна для принципа абстрагирования, принятого в формальной логике Аристотеля. Индуктивные логические понятия характеризуются двумя параметрами: объемом и содержанием[1]. Индуктивные понятия с бóльшим объемом называются более общими. При этом их содержание у́же, чем содержание менее общих понятий. Например, понятие «растение» более общее, чем понятие «дерево»: к растениям, кроме деревьев, относятся и кусты, и водоросли, и трава. Но содержание понятия «растение» у́же содержания понятия «дерево». Содержание понятия «растения» – это живые организмы, осуществляющие превращение неорганических веществ в органические в ходе реакции фотосинтеза. Кроме этого общего для всех растений существенного признака, к содержанию понятия «дерево» относятся еще и такие: растет на суше, имеет лиственную крону, ствол и корневую систему и др. Отождествляя неизменные признаки, характеризующие некоторый набор объектов (например, деревья с их инвариантами), мы приходим к тому же выводу, что и в случаях, отраженных в схемах на рис. 2 и 3: чем выше уровень обобщения (абстрагирования) индуктивного понятия, тем меньшим числом инвариантов оно характеризуется. В результате о самом общем индуктивном понятии «материя» можно сказать только то, что она существует (во времени и пространстве). То есть, по существу, общие индуктивные понятия имеют скудное содержание.

Схема абстрагирования Аристотеля, как и обе схемы на рис. 2 и 3, имеют сходное устройство: движение к более общему описанию осуществляется по мере отбрасывания инвариантов. Но схема абстрагирования приводит к тривиальному результату: общее понятие – это понятие, лишенное содержания. Тогда возникает вопрос: в чем отличие от нее схемы обобщения разделов геометрии (рис. 2) и схемы деления области научных знаний (рис. 3), приводящее к возможности формирования общей картины научно-

[1] В объем индуктивного понятия входят все те объекты, которые оно описывает. Его содержание – это все существенные признаки, которые его характеризуют [34].

го знания, в отличие от схемы абстрагирования, известной более 2000 лет, со времени Аристотеля?

Для ответа на этот вопрос вновь обратимся к истории науки. Рассмотрим эволюцию представлений о роли симметрии в истории математики и физики. Выше уже было показано, что представления о геометрических симметриях формировались в ходе всего индуктивного периода развития научного знания. В начале дедуктивного периода Фалес Милетский использовал эти общие индуктивные понятия в качестве первичных дедуктивных понятий при доказательстве первых теорем геометрии. Затем свойства симметрии были признаны слишком неопределенными, и Евклид заменил их более, как ему представлялось, четкими и наглядными понятиями «точка», «прямая», «плоскость», а также набором пяти постулатов. Это был базис аксиоматической системы геометрии Евклида, в которой в качестве правил выведения новых суждений использовались правила логики Аристотеля. Наконец, более чем через 2000 лет появилась Эрлангенская программа Ф. Клейна, в ходе реализации которой было выявлено, что именно группы симметрии лежат в основе аксиоматических систем различных разделов математики. Позднее была обнаружена фундаментальная роль групп симметрии в физике. Оказалось, что все уравнения классической механики и нерелятивистской квантовой механики являются инвариантами группы преобразований Галилея, а уравнения специальной теории относительности и классической электродинамики – это инварианты группы преобразований Лоренца, частным случаем которой является группа преобразований Галилея.

В начале XIX в. выдающийся математик Эмми Нётер доказала знаменитую теорему, которая позволила связать законы сохранения в физике с группами симметрии, инвариантами которых являются соответствующие уравнения. Так, закон сохранения энергии связан с инвариантностью уравнений механики и уравнений теории поля относительно преобразования инверсии (изменения знака) времени. А закон сохранения электрического заряда связан с динамической симметрией – инвариантностью уравнений классической и квантовой электродинамики относительно группы калибровочных преобразований[1]. В настоящее время в рамках теории суперсимметрии осуществлено аксиоматическое построение квантовой теории поля, которое позволяет описать свойства и строение элементарных частиц и эволюцию Вселенной от момента Большого взрыва до настоящего времени.

Таким образом, за 2500 лет, прошедшие со времен Фалеса Милетского (это весь дедуктивный период истории научного знания), представление о понятии «симметрия» претерпело эволюцию от общего индуктивного понятия до первичного дедуктивного понятия, лежащего в основе ряда аксиоматических систем математики и физики, то есть стало общим понятием, имеющим *двойной логический статус* [35].

Еще одним примером является эволюция понятия «атом», которая в определенном смысле противоположна эволюции понятия «симметрия»,

[1] Группа калибровочных преобразований – это группа параллельных переносов вдоль оси потенциала, в частности потенциала электростатического поля [14].

но имеет тот же общий итог: термин «атом» приобретает двойной логический статус – первичного дедуктивного понятия для ряда разделов науки (физики, химии и биологии) и общего индуктивного понятия (частица вещества, одна из форм материи). Подтверждением этому являются нижеследующие рассуждения. В отличие от понятия «симметрия», изначально возникшего как общее индуктивное, понятие «атом» исходно возникает как первичное дедуктивное. Оно принадлежит древнегреческому философу Диогену (412–323 гг. до н. э.), который конструировал материальные объекты как комбинации различных атомов, перемещающихся в пустоте. Это представление позволяло описывать некоторые устойчиво наблюдаемые свойства вещества, например, непропорциональное увеличение объема при растворении твердого вещества в жидкости. То есть в основе представления об атоме лежал некоторый набор наблюдаемых свойств вещества, но сами атомы не выступали как наглядные объекты, в отличие от геометрических симметрий. Дальнейшее развитие представления об атоме связано с именем английского физика Дж. Дальтона. Он разработал атомистическую концепцию в химии, согласно которой химические элементы состоят из одинаковых атомов, отличающихся весом для разных элементов. В результате химических реакций образуются соединения, у которых всегда одинаковое соотношение атомов в составе. Эти представления возникли на основе ряда эмпирических законов: закона сохранения массы, газовых законов, закона кратных отношений и закона постоянства состава. Представления Дальтона об атомах в дальнейшем послужили основой для признания существования молекул – относительно устойчивых частиц вещества минимального атомарного состава, сохраняющих химические свойства вещества. Итог такого развития представления об атомах подводит анализ известного советского ученого академика Н. С. Курнакова [36]. Он относит понятие «атом» к категории первичных дедуктивных понятий, на основе которого можно сконструировать бесчисленное количество различных веществ[1], аналогично тому, как все объекты геометрии Евклида строятся логическим путем из узкого набора первичных понятий (точка, прямая, плоскость) и пяти постулатов. При этом чем большее число различных объектов можно построить с помощью данного первичного дедуктивного понятия, тем шире его объем и одновременно шире его содержание[2]. В то же время на современном этапе развития науки понятие «атом» можно рассматривать и как общее индуктивное понятие, почти тождественное понятию «вещество». Действительно, почти все вещество, исключая высокотемпературную плазму, состоит из атомов или ионов атомов. То есть объем понятия «атом» как индуктивного понятия почти равен

[1] В настоящее время рассуждение академика Н. С. Курнакова о понятии «атом» нашло многочисленные подтверждения, поскольку сейчас на основе компьютерного моделирования исследователи предсказывают химические и физические свойства веществ, конструируя эти вещества из заданного набора атомов, и даже обнаруживают новые вещества и новые необычные состояния известных веществ.

[2] Связь между объемом и содержанием общего индуктивного понятия прямо противоположна: чем шире его объем, тем у́же его содержание.

объему понятия «вещество». При этом с помощью современных приборов атомы наблюдаемы, и результатом этих наблюдений являются однозначно фиксируемые свойства атомов и их структура, которые и являются содержанием индуктивного понятия «атом».

Содержание индуктивного понятия «атом» является в настоящее время не только результатом эмпирических исследований, но и следствием аксиоматической системы, построенной на принципах симметрии квантовой теории поля. В итоге, начиная с любого уровня частиц, описывающих внутреннюю структуру атома, взятого как исходный, можно в принципе конструировать все последующие уровни, включая сам атом. Если же рассматривать элементы объема индуктивного понятия «атом», то к нему относятся молекулы, в частности молекулы ДНК, РНК и белков. Это позволяет в едином ключе некоторой иерархии аксиоматических систем рассматривать химию молекулярных соединений, химическую кинетику, а также молекулярную генетику и молекулярную биологию. В настоящее время эта иерархия является незавершенной, реализованы только ее фрагменты, но она позволяет уже сейчас систематизировать описание различных уровней материи от квантовых полей до живых организмов.

Возвращаясь к вопросу об отличии процедур обобщения, заложенных в схеме абстрагирования Аристотеля и представленных в статье схемах (рис. 2, 3), можно сказать, что в двух последних процедурах обобщение строится на основе иерархии понятий с *двойным логическим статусом*, то есть одновременно первичных дедуктивных и общих индуктивных понятий. Выделение таких понятий явилось результатом работы поколений исследователей в течение всего дедуктивного периода развития науки. Но именно эта работа позволяет сформировать целостную картину научного знания, в которой по мере обобщения описания максимально сохраняется его содержание. В итоге возникает структура научного знания, позволяющая скомпенсировать хаотизацию его картины, которая возникает из-за фрагментации в процессе дифференциации.

Система упорядочения структуры научного знания в настоящее время еще далека от завершения, она состоит из отдельных фрагментов, между которыми отсутствуют строгие логические связи. Это обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, объекты, изучаемые различными науками, отличаются степенью сложности. Объекты, изучаемые гуманитарными науками, безусловно, сложнее объектов математики, физики, химии и биологии, поэтому в гуманитарных науках еще не пройден путь, соответствующий индуктивному периоду развития. Во-вторых, до настоящего времени аксиоматизация наук продвигалась в основном за счет использования идеологии Эрлангенской программы, опирающейся на представление об иерархии групп симметрии. Но даже в математике и других точных науках эти представления не являются самыми общими из применяемых в настоящее время, тем более если ожидать возможных результатов процессов математизации и других наук.

Выводы

В процессе роста объема научных знаний при переходе от индуктивного этапа развития науки к дедуктивному возникла необходимость дифференциации научного знания на отдельные ветви. Дальнейший процесс дифференциации привел к тому, что структура научного знания приобрела форму древовидного графа. Забегая вперед (во вторую часть статьи), отметим, что в настоящее время структура содержания общего образования строится на основе перечня дисциплин, лежащего в горизонтальном сечении этого графа.

Дальнейшая дифференциация наук привела к усложнению структуры графа и потере возможности целостного восприятия научного знания. Вначале эта проблема возникла в математике и нашла свое решение в виде Эрлангенской программы Ф. Клейна, которая опирается на представление о структуре математики как иерархии групп преобразований симметрии.

Идеи Эрлангенской программы, примененные Ю. Вигнером в области квантовой теории поля, перенесены нами на всю область научного знания. Это позволило представить схему научного знания в виде трехуровневой системы, на верхнем уровне которой находятся принципы симметрии. В этой схеме при переходе от нижних уровней к верхним происходит обобщение и огрубление описания. В основу обобщения описания заложена тенденция к построению иерархии набора аксиоматических систем. В настоящее время она далека от завершения и состоит из отдельных фрагментов. Неизвестно, возможно ли такое завершение в принципе. Сейчас частные аксиоматические системы отдельных наук строятся на основе представления о группах симметрии, но есть основание полагать, что в дальнейшем могут потребоваться другие разделы высшей алгебры. Это не устраняет необходимости обращаться к представлениям о группах симметрии при анализе структуры научного знания, поскольку именно эти представления поддержаны всем опытом науки в ходе как индуктивного, так и дедуктивного этапа ее развития.

Представления о структуре научного знания, заложенные в трехуровневой схеме деления области научных знаний, будут использованы в продолжении этой работы в качестве основы для формирования нового варианта *структуры содержания общего образования*, который позволяет оптимизировать ее и уменьшить остроту общего кризиса образования, связанную с прогрессирующей дифференциацией научного знания.

Список использованных источников

1. Сноу Ч. П. Портреты и размышления. Москва: Прогресс, 1985. 368 с.

2. Кумбс Ф. Г. Кризис образования в современном мире (системный анализ). Москва: Прогресс, 1970. 261 с.

3. Навивала Н. Кризис в сфере образования в Пакистане: настоящая история. Международный центр ученых Вудро Вильсона, Азиатская программа [Электрон. ресурс]. 2016. 44 с. Режим доступа: https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED570671.pdf (дата обращения: 07.08.2020).

4. Gandara P. The Latino Education Crisis // Educational Leadership. 2010. № 67 (5). P. 24–30. Available from: https://eric.ed.gov/?id=EJ896430 (date of access: 07.08.2020).

5. Аникина Е. А., Иванкина Л. И., Сорокина Ю. С. Кризис высшего образования в России: проявления, причины и последствия [Электрон. ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 3. С. 344. Режим доступа: http://science-education.ru/ru/article/view?id=24770 (дата обращения: 07.08.2020).

6. Карманова Д. А. Кризис российского образования: к проблеме аспектизации [Электрон. ресурс] // Лабиринт. 2012. № 1 (1). С. 78–83. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/krizis-rossiyskogo-vysshego-obrazovaniya-k-probleme-aspektizatsii (дата обращения: 28.10.20).

7. Арасланова А. А. Кризис классического образования в эпоху смены педагогических парадигм [Электрон. ресурс] // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2010. № 3. С. 14–23. Режим доступа: http://vestnik-cspu.ru/upload/pdf/issues/2010/2010_3.pdf (дата обращения: 19.08.2020).

8. Колесникова И. А. Тотальный кризис образования [Электрон. ресурс] // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2009. № 4. С 16–20. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=12857974& (дата обращения: 20.08.2020).

9. Сенько Ю. В. Гуманитарная парадигма образования [Электрон. ресурс] // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития. 2014. № 12 (1). С. 50–53. Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/gumanitarnaya-paradigma-obrazovaniya (дата обращения: 20.08.2020).

10. Черных С. И. Кризис образования как состояние и как социально-философская проблема // Профессиональное образование в современном мире. 2011. № 3. С. 32–41.

11. Турбовской Я. С. Кризис образования: поиск системного решения // Профессиональное образование в современном мире. 2016. Т. 6, № 1. С. 171–180. DOI: 10.15372/PEMW20160128

12. Фурсова В. В. Постмодернистские теории образования // Ученые записки Казанского университета. Гуманитарные науки. 2010. Т. 152, вып. 5. С. 26–37.

13. Стройк Д. Я. Краткий очерк истории математики. Москва: Наука, 1969. 327 с.

14. Вигнер Е. Этюды о симметрии. Москва: Мир, 1971. 318 с.

15. Гапонцев В. Л., Федоров В. А., Гапонцева М. Г. Принцип симметрии как основа интеграции в науке и его значение для образования [Электрон. ресурс] // Образование и наука. Т. 21, № 4. 2019. С. 9–35. Режим доступа: https://doi.org/10.17853/1994-5639-2019-4-9-35 (дата обращения: 21.11.2020).

16. Леднев В. С. Содержание образования. Москва: Высшая школа, 1989. 360 с.

17. Пригожин И. От существующего к возникающему. Москва: Наука, 1985. 227 с.

18. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. Москва: Мир, 1973. 280 с.

19. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. Москва: Мир, 1979. 512 с.

20. Хакен Г. Синергетика. Москва: Мир, 1980. 404 с.

21. Martyushev L. M., Seleznev V. D. Maximum entropy production principle in physics, chemistry and biology // Physics Reports. 2006. Т. 426, № 1. P. 1–45.

22. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Москва: Мир, 1979. 274 с.

23. Роулинсон Дж., Уидом Б. Молекулярная теория капиллярности. Москва: Мир, 1986. 376 с.

24. Гапонцев В. Л., Гапонцев А. В., Кондратьев В. В. Определение положения бинодали бинарного сплава на основе гипотезы слабой нелокальности // Физика металлов и металловедение. 2019. Т. 120, № 12. С. 1264–1270.

25. Гапонцев В. Л., Селезнев В. Д., Гапонцев А. В. Распад равновесной межфазной границы в сплавах замещения при механосплавлении // Физика металлов и металловедение. 2017. Т. 118, № 7. С. 665–678.

26. Рыбаков Б. А. Язычество древних славян. Т. 1. Москва: Наука, 1981. 608 с.

27. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование. Москва: Наука, 1980. 227 с.

28. Каргаполов М. И., Мерзляков Ю. И. Основы теории групп. Москва: Наука, 1982. 288 с.

29. Визгин В. П. К истории «Эрлангенской программы» Ф. Клейна // Историко-математические исследования. 1973. № 18. С. 218–248.

30. Яглом И. М. Геометрические преобразования. Т. 1. Движения и преобразования подобия. Москва: ГИТТЛ, 1955. 284 с.

31. Гапонцев В. Л., Федоров В. А., Гапонцева М. Г. Структура содержания образования. Эволюция структуры в свете принципа симметрии: монография. Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. 190 с.

32. Яновская С. А. Из истории аксиоматики // Историко-математические исследования. 1958. № 11. С. 63–96.

33. Славнов А. А., Фаддеев Л. Д. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. Москва: Наука, 1978. 240 с.

34. Челпанов Г. И. Учебник логики. Москва: Прогресс, 1994. 248 с.

35. Гапонцева М. Г., Гапонцев В. Л., Ткаченко Е. В., Федоров В. А. Курс «Естествознание» как интегрирующий фактор непрерывного образования // Образование и наука. 2001. № 3 (9). С. 3–18.

36. Курнаков Н. С. Избранные труды. Т. 1. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. 596 с.

References

1. Snow C. P. Portrety i razmyshleniya = Portraits and reflections. Moscow: Publishing House Progress; 1985. 368 p. (In Russ.)

2. Coombs P. H. Krizis obrazovaniya v sovremennom mire (sistemnyy analiz) = The world educational crisis. A system analysis. Moscow: Publishing House Progress; 1970. 261 p. (In Russ.)

3. Navivala N. Krizis v sfere obrazovaniya v Pakistane: nastoyashchaya istoriya. Mezhdunarodnyy tsentr uchenykh Vudro Vil'sona, Aziatskaya programma = The crisis in the field of education in Pakistan: The real history. The Woodrow Wilson International Center for Scholars, the Asian Program [Internet]. 2016 [cited 2020 Jul 7]. 44 p. Available from: https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED570671.pdf (In Russ.)

4. Gandara P. The Latino Education Crisis. *Educational Leadership* [Internet]. 2010 [cited 2020 Jul 7]; 67 (5): 24–30. Available from: https://eric.ed.gov/?id=EJ896430

5. Anikina Ye. A., Ivankina L. I., Sorokina Yu. S. Crisis of higher education in Russia: Manifestations, reasons and consequences. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education* [Internet]. 2016 [cited 2020 Jul 7]; 3: 344. Available from: http://science-education.ru/ru/article/view?id=24770 (In Russ.)

6. Karmanova D.A. Crisis of Russian education: Revisiting the aspectizing issue. *Labirint = Labyrinth* [Internet]. 2012 [cited 2020 Oct 28]; 1 (1): 78–83. Available from: https://cyberleninka.ru/article/n/krizis-rossiyskogo-vysshego-obrazovaniya-k-probleme-aspektizatsii (In Russ.)

7. Araslanova A. A. Crisis of the classical education in the epoch of the pedagogical paradigms shift. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta = Bulletin of South Ural State Humanitarian Pedagogical University* [Internet]. 2010 [cited 2020 Aug 19]; 3: 1 23. Available from: http://vestnik-cspu.ru/upload/pdf/issues/2010/2010_3.pdf (In Russ.)

8. Kolesnikova I. A. Total educational crisis. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Newsletter of Volgograd State Pedagogical University* [Internet]. 2009 [cited 2020 Aug 20]; 4: 16–20. Available from: https://elibrary.ru/item.asp?id=12857974& (In Russ.)

9. Senko Yu. V. The humanitarian paradigm of education. *Obrazovaniye cherez vsyu zhizn: nepreryvnoye obrazovaniye v interesakh ustoychivogo razvitiya = Education Throughout the Whole Life: Continuous Education in Favour of Consistent Development* [Internet]. 2014 [cited 2020 Aug 20]; 12 (1): 50–53. Available from: http://cyberleninka.ru/article/n/gumanitarnaya-paradigma-obrazovaniya (In Russ.)

10. Chernykh S. I. Crisis of education as a state and as a social-philosophic problem. *Professionalnoye obrazovaniye v sovremennom mire = Vocational Education in the Modern World.* 2011; 3: 32–41. (In Russ.)

11. Turbovskoy Ya. S. Crisis of education: In search of a systemic decision. *Professionalnoye obrazovaniye v sovremennom mire = Vocational Education in the Modern World.* 2016; 6 (1): 171–180. DOI: 10.15372/PEMW20160128 (In Russ.)

12. Fursova V. V. Postmodernist theories of education. *Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Gumanitarnyye nauki = Scholarly Notes of Kazan University. Humanitarian Sciences.* 2010; 152 (5): 26–37. (In Russ.)

13. Struik D. J. Kratkiy ocherk istorii matematiki = Brief overview of the history of mathematics. 2nd ed. Moscow: Publishing House Nauka; 1969. 327 p. (In Russ.)

14. Wigner E. Etyudy o simmetrii = Essays on symmetry. Moscow: Publishing House Mir; 1971. 318 p. (In Russ.)

15. Gapontsev V. L., Fedorov V. A., Gapontseva M. G. The symmetry principles as a basis of integration in science and its significance for education. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal* [Internet]. 2019 [cited 2020 Nov 21]; 21 (4): 9–35. Available from: https://doi.org/10.17853/1994-5639-2019-4-9-35 (In Russ.)

16. Lednev V. S. Soderzhanie obrazovaniya = Content of education. Moscow: Publishing House Vysshaya Shkola; 1989. 360 p. (In Russ.)

17. Prigozhin I. Ot sushchestvuyushchego k voznikayushchemu = From the existing to the incipient. Moscow: Publishing House Nauka; 1985. 227 p. (In Russ.)

18. Glensdorf P., Prigozhin I. Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoychivosti i fluktuatsiy = The thermodynamic theory of the structure, consistence and fluctuations. Moscow: Publishing House Mir; 1973. 280 p. (In Russ.)

19. Nikolis G., Prigozhin I. Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh: Ot dissipativnykh struktur k uporyadochennosti cherez fluktuatsii = Self-organisation in non-equilibrium systems: From dissipative structures to orderliness via fluctuations. Moscow: Publishing House Mir; 1979. 512 p. (In Russ.)

20. Hacken G. Sinergetika = Synergetics. Moscow: Publishing House Mir; 1980. 404 p. (In Russ.)

21. Martyushev L. M., Seleznev V. D. Maximum entropy production principle in physics, chemistry and biology. *Physics Reports.* 2006; 426 (1): 1–45.

22. Ebeling W. Obrazovanie struktur pri neobratimykh protsessakh = Formation of structures at irreversible processes. Moscow: Publishing House Mir; 1979. 274 p. (In Russ.)

23. Rawlinson J., Widom B. Molekulyarnaya teoriya kapillyarnosti = The molecular theory of capillarity. Moscow: Publishing House Mir; 1986. 376 p. (In Russ.)

24. Gapontsev V. L., Gapontsev A. V., Kondratyev V. V. Definition of position of a binary alloy binodal on basis of the flimsy non-locality hypothesis. *Fizika metallov i metallovedeniye = Physics of Metals and Metal Science.* 2019; 120 (12): 1264–1270. (In Russ.)

25. Gapontsev V. L., Seleznev V. D., Gapontsev A. V. Collapse of an equilibrium intra-phase boundary in substitution alloys in process of mechanical fusion. *Fizika metallov i metallovedeniye = Physics of Metals and Metal Science.* 2017; 118 (7): 665–678. (In Russ.)

26. Rybakov B. A. Yazychestvo drevnikh slavyan = Pagandom of the ancient Slavs. V. 1. Moscow: Publishing House Nauka; 1981. 608 p. (In Russ.)

27. Yaglom I. M. Matematicheskie struktury i matematicheskoe modelirovanie = Mathematical structures and mathematical modelling. Moscow: Publishing House Nauka; 1980. 227 p. (In Russ.)

28. Kargapolov M. I., Merzlyakov Yu. I. Osnovy teorii grupp = Foundations of the theory of groups. Moscow: Publishing House Nauka; 1982. 288 p. (In Russ.)

29. Vizgin V. P. Revisiting the history of F. Klein's Erlangen program. *Istoriko-matematicheskiye issledovaniya = Historical-Mathematical Studies.* 1973; 18: 218–248. (In Russ.)

30. Yaglom I. M. Geometricheskie preobrazovaniya. T. 1. Dvizheniya i preobrazovaniya podobiya = Geometric transformations. V. 1. Similarity motions and transformations. Moscow: Publishing House GITTL; 1955. 284 p. (In Russ.)

31. Gapontsev V. L., Fedorov V. A., Gapontseva M. G. Struktura soderzhaniya obrazovaniya. Evolyutsiya struktury v svete printsipa simmetrii = The structure of the content of education. Evolution of the structure in the light of the symmetry principle. Ekaterinburg: Publishing House of Russian State Vocational Pedagogical University; 2019. 190 p. (In Russ.)

32. Yanovskaya S. A. From the history of axiomatics. *Istoriko-matematicheskiye issledovaniya = Historical-Mathematical Studies.* 1958; 11: 63–96. (In Russ.)

33. Slavnov A. A., Faddeyev L. D. Vvedenie v kvantovuju teoriju kalibrovochnyh polej = Introduction into the quantum theory of gauge fields. Moscow: Publishing House Nauka; 1978. 240 p. (In Russ.)

34. Chelpanov G. I. Uchebnik logiki = Science of logic textbook Moscow: Publishing House Progress; 1994. 248 p. (In Russ.)

35. Gapontseva M. G., Gapontsev V. L., Tkachenko Ye. V., Fedorov V. A. The course of natural sciences as an integrating factor of continuous education. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal.* 2001; 3 (9): 3–18. (In Russ.)

36. Kurnakov N. S. Izbrannye trudy = Selected works. V. 1. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1960. 596 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

Гапонцев Виталий Леонидович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры гидравлики института строительства и архитектуры Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0000-0002-0580-8936; Екатеринбург, Россия. E-mail: vlgap@mail.ru

Федоров Владимир Анатольевич – доктор педагогических наук, профессор, директор Научно-образовательного центра профессионально-педагогического образования Российского государственного профессионально-педагогического университета; ORCID 0000-0001-7941-7818; Екатеринбург, Россия. E-mail: Fedorov1950@gmail.com

Дорожкин Евгений Михайлович – доктор педагогических наук, профессор, ректор Российского государственного профессионально-педагогического университета; ORCID 0000-0002-3714-6578; Екатеринбург, Россия. E-mail: dorles@mail.ru

Вклад соавторов:

В. Л. Гапонцев провел анализ возможности применения идеологии синергетики к описанию эволюции структуры научного знания; анализ возможности модернизации представлений о структуре научного знания в свете идеологии Эрлангенской программы.

В. А. Федоров осуществил постановку проблемы и произвел анализ эволюции представлений о структуре научного знания.

Е. М. Дорожкин выполнил анализ изменения структуры научного знания при переходе от индуктивного этапа развития к дедуктивному.

Статья поступила в редакцию 17.06.2020; принята в печать 07.10.2020.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Vitaly L. Gapontsev – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Department of Hydraulics of Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin; ORCID 0000-0002-0580-8936; Ekaterinburg, Russia. E-mail: vlgap@mail.ru

Vladimir A. Fedorov – Dr. Sci. (Pedagogy), Professor, Director of Scientific-Educational Centre for Vocational Pedagogical Education, Russian State Vocational Pedagogical University; ORCID 0000-0001-7941-7818; Ekaterinburg, Russia. E-mail: Fedorov1950@gmail.com

Yevgeny M. Dorozhkin – Dr. Sci. (Pedagogy), Professor, Rector of Russian State Vocational Pedagogical University; ORCID 0000-0002-3714-6578; Ekaterinburg, Russia. E-mail: dorles@mail.ru

Contribution of the authors:

V. L. Gapontsev conducted the analysis of the opportunity to apply the synergetics ideology for description of the evolution of the scientific knowledge structure; performed the analysis of the opportunity of modernisation of the ideas about the scientific knowledge structure in the light of the Erlangen programme.

V. A. Fedorov set the problem and carried out the analysis of the evolution of the ideas about the scientific knowledge structure.

Ye. M. Dorozhkin provided the analysis of the scientific knowledge structure shifts when switching over from the inductive development stage to the deductive one.

Received 17.06.2020; accepted for publication 07.10.2020.
The authors have read and approved the final manuscript.