

УДК 160.1+167.7

DOI:

10.15372/PS20200306

Н.А. Ходикова**ЛОГИКА РАЗВИТИЯ НАУКИ НА ПРИМЕРЕ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ**

В работе представлена поризматическая модель развития научного знания, показана ее применимость к реконструкции возникновения естественно-научных, логических и математических теорий. Продемонстрировано, как поризматическая модель может быть применена для реконструкции возникновения одного из важных прикладных разделов математики – операционного исчисления.

Ключевые слова: логика развития науки; возникновение научных теорий; поризматическая модель; операционное исчисление.

N.A. Khodikova**THE LOGIC OF THE DEVELOPMENT OF SCIENCE
ON THE EXAMPLE OF THE BEGINNIG OPERATIONAL
CALCULUS**

The article presents a porismatic model of the development of scientific knowledge and shows its applicability to the reconstruction of the emergence of scientific, logical and mathematical theories. It demonstrates how the porismatic model can be used in reconstructing the emergence of one of the important applied branches of mathematics which is operational calculus.

Keywords: logic of the development of science; emergence of scientific theories; porismatic model; operational calculus.

Анализ возникновения различных разделов математического знания интересен не только в историческом разрезе (как описание этапов развития математики), но также для определения самого статуса математического знания. Является ли математика сферой чистого разума, полностью абстрагировавшейся от реального мира вещей, или это такая же (или почти такая же) эмпирическая наука, как физика, химия, астрономия и другие естественные науки? Существуют ли пределы возможностей математизации различных наук и если существует, то чем они обу-

словлены? Не менее актуальна задача раскрытия логики развития научного (в частности, математического) знания, проведения рациональной реконструкции этого развития на основании выявления как внешних по отношению к данной области знания факторов, так и внутренних, имманентных процессов, происходящих в самом научном знании. В этом смысле весьма плодотворным представляется рассмотрение возникновения и развития такого раздела математики, как операционное исчисление, с точки зрения разработанных на сегодняшний день моделей развития научного знания, в частности с позиции поризматической модели.

Вопросы возникновения научного знания, преемственности и смены научных теорий являются ключевыми в логике и методологии науки постпозитивистов. Идеи фальсификационизма, выдвинутые К. Поппером [8], развиты в таких методологических схемах, как теория исследовательских программ И. Лакатоса [6], теория нормальной и кризисной науки Т. Куна [5]. В советской и российской методологии вопросам развития научного знания также уделяется достаточно большое внимание.

На основании критического анализа постпозитивистских методологических концепций известный советский методолог науки Б.С. Грязнов разработал оригинальную модель происхождения научных теорий. Ключевым понятием этой модели является понятие «поризм». Грязнов показал, что когда в рамках имеющейся теории решаются некоторые задачи, могут возникать непредвиденные результаты, следствия, которые он назвал «поризмами». «В античной науке поризмом называли утверждение, которое получалось в процессе доказательства теоремы или решения задачи, но получалось как непредвиденное следствие, как промежуточный результат» [3, с. 114]. Как продемонстрировал Грязнов, такие поризмы при выполнении определенных условий могут становиться ядром новой теории и, таким образом, истолкование ядра новой теории как логического, но тем не менее неожиданного, непредвиденного следствия предыдущей теории открывает путь к построению рациональной реконструкции происхождения новой научной теории. Для выявления механизма возникновения новых теорий в свете поризматической модели необходимо выделить в качестве самостоятельных сложных систем язык науки и сферу его интерпретации. Тогда развитие научного знания является результатом установления отношения согласования (чаще всего между новыми синтаксическими образованиями и сферой интерпретации), а причина этого процесса – постоянно возникающее и разрешающееся рассогласование [4, с. 100].

Б.С. Грязнов убедительно иллюстрирует поризматическую модель возникновения теорий на естественно-научном материале. В частности, он показывает, что постоянная Планка, первоначально появившись в формуле закона излучения как чисто синтаксическое построение, потребовала придания ей физического смысла (т.е. интерпретации), что и привело в итоге к выводу о прерывности испускания энергии, ставшему одной из основ квантовой механики [4, с. 118]. Возникновение гелиоцентрической системы Коперника интерпретируется Грязновым как следствие того, что решая задачу устранения накопившейся ошибки в определении дня весеннего равноденствия в рамках старой геоцентрической системы, Коперник чисто формально (синтаксически) предположил, что Земля вращается, во-первых, вокруг своей оси и, во-вторых, вокруг Солнца [3].

В работе [1] поризматическая модель развития научного знания применена для рациональной реконструкции одного из этапов истории логики. Показано, что в ходе решения задачи доказательства непротиворечивости арифметики в рамках гильбертовской теории доказательств возник синтаксический поризм: было обнаружено свойство подформульности. В свою очередь, это свойство, будучи интерпретировано на новой области – для решения задач автоматического доказательства теорем породило новый теоретический объект – поиск вывода и новую логическую теорию – теорию поиска вывода.

Применимость поризматической модели к развитию математических теорий можно продемонстрировать на примере возникновения теории комплексных чисел. Синтаксическая конструкция, предполагающая извлечение квадратного корня из отрицательных чисел, появляется в формуле, выведенной Кардано для вычисления корней уравнений третьей степени. Однако сомнения в законности таких воображаемых, «софистических» чисел сохранялись в умах математиков до тех пор, пока этим числам не была приписана новая область интерпретации. Гаусс интерпретировал их геометрически – как точки плоскости, а Гамильтон – как пары действительных чисел. Таким образом, комплексные числа оказались расширением множества действительных чисел, которые интерпретируются как точки прямой [1, с. 28–30].

Интересно отметить, что в случае действительных чисел содержательные соображения (а именно несоизмеримость гипотенузы и катетов в прямоугольном треугольнике) породили необходимость дальнейшего развития языка математики и построения соответствующих алгебраических конструкций. То есть первоначально изменилась интерпретация

чисел как длины отрезков – оказалось, что есть отрезки, длина которых не может быть выражена никаким числом (на самом деле – никаким рациональным числом). Такое рассогласование интерпретации и языка потребовало изменения последнего, введения понятия и символики иррациональных чисел, что и привело к развитию теории действительных чисел.

Таким образом, поризматическая модель развития научного знания может быть представлена следующей обобщенной схемой:

Исходная теория T_1 (включающая сложные подсистемы – язык и интерпретацию) $\models$ решение задачи в теории $T_1 \models$ неожиданное следствие (синтаксическое или содержательное), полученное в ходе решения задачи (поризм), $\models$ рассогласование между языком и интерпретацией $\models$ устранение рассогласования $\models$ возникновение новой теории T_2 .

Следует отметить, что новая теория T_2 может как сменить исходную теорию T_1 (как в случае смены геоцентрической системы на гелиоцентрическую), так и занять свое место наряду с продолжающей функционировать T_1 (как теория комплексных чисел или теория поиска вывода).

Далее рассмотрим возникновение операционного исчисления в свете поризматической модели. Сегодня операционное исчисление – один из важных разделов математического анализа, который занимается главным образом алгебраическими операциями, производимыми над символами, и при этом имеет широкое применение в самых различных областях: от электротехники, радиотехники и механики до теории автоматического регулирования, экономики и биологии. Такая универсальность операционного исчисления обусловливается, по-видимому, тем, что операторные схемы, применяемые в операционном исчислении, являют собой пример функциональных схем, выражающих обобщенные логико-математические операции, т.е. фиксирующих «общее представление об исследуемой естественной или искусственной системе независимо от способа ее реализации и является общей для целого класса таких систем» [2, с. 101].

В основе методов операционного исчисления лежит идея замены изучаемых функций (оригиналов) некоторыми другими функциями (образами или изображениями). Эта замена производится по определенным правилам и позволяет заменить действия над оригиналами на более простые действия над изображениями. Следуя [10], кратко охарактеризуем

метод операционного исчисления в его современном состоянии. Вводится правило, по которому каждой функции $f(t)$ действительного переменного t (оригиналу), ставится в соответствие функция $F(p)$ комплексного переменного p (изображение). Это правило называется преобразованием, или оператором. Каждому изменению оригинала соответствует то или иное изменение изображения. Оператор строится так, чтобы действия над изображениями были проще, чем действия над оригиналами. Например, дифференцированию оригинала соответствует умножение изображения на переменную p , интегрированию – деление на p и т.д. Таким образом, например, дифференциальное уравнение относительно оригинала переходит в алгебраическое уравнение относительно изображения (операторное уравнение). Решая операторное уравнение и переходя от найденного изображения обратно к оригиналу, получают решение исходного уравнения.

Как отмечается в [9], истоки операционного исчисления следует искать в XVIII в., когда возникла идея о необходимости упрощения правил математического анализа, использования для решения задач новой символики «второго порядка». Лейбниц в статье, посвященной некоторым задачам дифференциального исчисления, отметил формальное (синтаксическое) совпадение n -го дифференциала произведения двух чисел и бинома n -й степени. Это совпадение появлялось в том случае, если произвести чисто символическую операцию: представить оператор d в виде суммы $du+dv$. Бернулли показал, что в определенных случаях с помощью этой аналогии по заданному дифференциалу можно найти интеграл. Лейбниц заметил, что подобная аналогия существует также между отрицательными степенями и интегралами [9, с. 7]. Вероятно, уже на этом этапе мы можем говорить о синтаксическом свойстве «биномиальной» аналогии как о поризме, возникшем в ходе решения частных задач математического анализа. Далее были раскрыты различные стороны этого поризма. Так, Лагранж в своем алгоритмическом исчислении рассматривал символ дифференцирования как фиктивную величину, к которой можно прилагать обычные правила алгебры. В математическом анализе появился ряд систем, использующих подобные символичные аналогии и получивших название «символические исчисления».

Свой вклад в разработку символических исчислений на протяжении XVIII–XIX вв. внесли многие математики. Однако символические методы носили сугубо теоретический, внутриматематический характер, применение их было весьма ограниченным. Это привело к тому, что «к концу XIX в. символические исчисления изжили себя: с теоретической точ-

ки зрения во всех системах оставалось много неразрешенных вопросов и слабых мест, практические же приложения были крайне ограниченными... техника конца XIX в. ставила конкретные задачи и ожидала на них быстрого ответа» [9, с. 18]. Согласно поризматической модели для возникновения новой теории необходима интерпретация поризма на новой области. Такой областью интерпретации для символических методов стал поиск решений дифференциальных уравнений, возникающих при моделировании переходных процессов в электрических и механических системах.

Идею символической аналогии использовал для построения своего операционного исчисления английский физик и инженер О. Хевисайд. Его интересы были чисто практические: построить простой и эффективно работающий метод решения дифференциальных уравнений, возникающих, в частности, при моделировании возмущений в длинных линиях с учетом или без учета индуктивности самих линий, а также в линиях, заканчивающихся каким-либо полным сопротивлением. Название «операционное исчисление» связано с тем, что ключевым понятием в нем является «оператор» как чисто формальный символ, воздействующий на исходную функцию. Так, Хевисайд вводит дифференци-

альный оператор $p = \frac{d}{dt}$, оперирует им как множителем в выражении

$$pf(t) = \frac{d}{dt} f(t) = f'(t). \text{ Введенный Хевисайдом оператор } p^{-1}, \text{ опреде-}$$

ляемый выражением $p^{-1} f(t) = \int_0^t f(u) du$, позволил ему сводить диф-

ференциальные уравнения к алгебраическим и получать удивительно простые и элегантные решения многих задач. Однако Хевисайд, будучи инженером, а не математиком, не заботился об обосновании своих методов (а иногда и допускал ошибки), полагая, что вполне достаточно, что они эффективны на практике.

Дальнейшее развитие операционного исчисления состояло в обосновании рассуждений Хэвисайда. На протяжении XX в. усилиями многих математиков методы операционного исчисления были обоснованы и усовершенствованы, также была обоснована их применимость для решения новых классов задач (интегральных уравнений, разностных уравнений, дифференциальных уравнений в частных производных), при этом практическое использование методов операционного исчисления стано-

вилось все шире. Сегодня операционное исчисление является полноценным математическим исчислением со строго обоснованными положениями и методами и входит в множество «ортодоксальных дисциплин, относящихся к прикладной математике» [9, с. 29].

Если инженеры, следуя традиции Хевисайда, всегда свободно применяли операционные методы, не беспокоясь из-за их необоснованности, то математики не успокоились, пока не доказали, что применение этих методов законно. Здесь можно обратиться к вопросу о необходимости, возможности и границах математизации научного знания. В.Я. Перминов предложил концепцию, согласно которой полная математизация невозможна для сложных систем, которые нарушают принцип аддитивности в соединении элементов (таковы, например, большинство биологических и социальных систем). В то же время физические системы аддитивны, и поэтому физические теории могут быть полностью математизированы [7]. От себя добавим, что такая математизация может и должна быть адекватной и полностью обоснованной. Рассогласование между языком и интерпретацией должно возникнуть, чтобы появился импульс к развитию. Однако для возникновения теории необходимо устранить это рассогласование, придать с помощью новой интерпретации смысл всем языковым конструкциям и строго их обосновать.

Итак, синтаксическое отношение сходства различных формул (типа «биномиального подобия»), обнаруженное математиками XVIII столетия при решении задач математического анализа, можно рассматривать как поризм. Использование этого открытия внутри математического анализа не привело к появлению новой теории, и только его применение на новой области интерпретации – для решения прикладных задач привело к возникновению операционного исчисления. Поризматическая модель, по-видимому, имеет ограничения применимости – в том смысле, что она объясняет логику возникновения и развития научных теорий, подлежащих полной математизации, либо собственно логических или математических. Однако сфера таких наук весьма широка, поэтому представляется перспективным дальнейшее применение поризматической модели для рациональной реконструкции развития науки.

Литература

1. Брюшинкин В.Н., Ходикова Н.А. Теория поиска вывода. Происхождение и философские приложения: монография. Калининград: Издательство БФУ им. И.Канта, 2012. 166 с.

2. *Горохов В.Г.* Логика и техника: от теории электрических цепей к наносистемотехнике / Логические исследования. 2012. №18. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logika-i-tehnika-ot-teorii-elektricheskikh-tsepey-k-nanosistemotekhnike> (дата обращения: 05.07.2020).
3. *Грязнов Б.С.* О взаимодействии проблем и теорий / Логика. Рациональность. Творчество. М.: Наука, 1982. С. 111-118.
4. *Грязнов Б.С.* Наука как саморазвивающаяся система / Логика. Рациональность. Творчество. М.: Наука, 1982. С. 99-110.
5. *Кун Т.С.* Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. 288 с.
6. *Лакатос И.* Фальсификация и методология научно-исследовательских программ / Пер. с англ. и пред. В.Поруса. М.: Медиум, 1995. 543 с.
7. *Перминов В.Я.* Математика и реальность: гносеологические проблемы математизации знания / Вестник Московского университета. Сер.7. Философия. 2014. №1. С. 42-68.
8. *Поппер К.Р.* Логика научного исследования. М.: АСТ. 2010. 576 с.
9. *Штокало И.З.* Операционное исчисление (обобщения и приложения). Киев: Наукова думка, 1972. 300 с.
10. *Эйдерман В.Я.* Основы теории функций комплексного переменного и операционного исчисления. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 256 с.

References

1. *Bryushinkin, V.N. & N.A. Khodikova.* (2012). Teoriya poiska vyvoda: Proiskhozhdenie i filosofskie prilozheniya [Proof-search Theory: The Origin and Philosophical Application]. Kalinigrad, Kant Baltic Federal University Publ., 166.
2. *Gorokhov, V.G.* (2012). Logika i tekhnika: ot teorii elektricheskikh tsepey k nanosistemotekhnike [Logic and technology: from the electrical circuit theory to nanosystem engineering]. Logicheskie issledovaniya [Logical Investigations], 18. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/logika-i-tehnika-ot-teorii-elektricheskikh-tsepey-k-nanosistemotekhnike> (date of access: 05.07.2020).
3. *Gryaznov, B.S.* (1982). Nauka kak samorazvivayushchayasya sistema [Science as a self-developing system]. In: Gryaznov, B.S. Logika. Ratsionalnost. Tvorchestvo [Logic. Rationality. Creativity]. Moscow, Nauka Publ., 99–110.
4. *Gryaznov, B.S.* (1982). O vzaimodeystvii problem i teoriy [On the interaction of problems and theories]. In: Gryaznov, B.S. Logika. Ratsionalnost. Tvorchestvo [Logic. Rationality. Creativity]. Moscow, Nauka Publ., 111–118.
5. *Kuhn, T.S.* (1975). Struktura nauchnykh revolyutsiy [The Structure of Scientific Revolutions]. Moscow, Progress Publ., 288. (In Russ.).
6. *Lakatos, I.* (1995). Falsifikatsiya i metodologiya nauchno-issledovatel'skikh programm [Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes]. Moscow, Medium Publ., 543. (In Russ.).
7. *Perminov, V.Ya.* (2014). Matematika i realnost: gnoseologicheskie problemy matematizatsii znaniya [Mathematics and reality: gnosiological problems of mathematization of knowledge]. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser.: 7. Filosofiya [Bulletin of Moscow University. Series 7: Philosophy], 1, 42–68.
8. *Popper, K.R.* (2010). Logika nauchnogo issledovaniya [The Logic of Scientific Discovery]. Moscow, AST Publ., 576. (In Russ.).
9. *Shokalo, I.Z.* (1972). Operatsionnoe ischislenie (obobshcheniya i prilozheniya) [Operational Calculus (Generalizations and Applications)]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 300.

10. *Eiderman, V.Ya.* (2002). *Osnovy teorii funktsiy kompleksnogo peremennogo i operatsionnogo ischisleniya* [Bases of the Theory of Functions of Complex Variable and Operational Calculation]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 256.

Информация об авторе

Ходикова Нина Анатольевна – кандидат философских наук, доцент кафедры философии Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ (ул. Бориса Галушкина, д. 4, Москва, 129366, Россия)
5856243@mail.ru

Information about the author

Khodikova Nina Anatolievna – Candidate of Sciences (Philosophy), Associate Professor at the Department of Philosophy, Academy of EMERCOM State Fire Service of the Russian Federation (4, Borisa Galushkina st., Moscow, 129366, Russia)
5856243@mail.ru

Дата поступления 08.07.2020