

ПРИКЛАДНАЯ ТЕОРИЯ КАТЕГОРИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Тевикян А.Р.*

Аннотация. В статье обсуждаются возможности применения математической теории категорий в экономической науке. Мотивацией стало растущее требование со стороны экономической науки и практики ее применения, по возможности более адекватного представления (моделирования) сложившихся отношений, структур и протекающих в них процессах. Прикладная теория категорий меняет фокус исследователя с объектов на морфизмы (преобразования), что дополняет методы в математизации экономической науки.

Ключевые слова: прикладная теория категорий, экономико-математические методы и методология, общественные науки, системное мышление и управление.

JEL Classification: A11, C02, C10, C13.

1. Категорная философия для социально-экономических исследований

Проблемы усугубляющие многообразия современного мира, соответственно, растущая сложность естественных и общественных научных дисциплин, повышают интерес к возможностям математической науки для более адекватного представления (*моделирования*) определяемых в них отношений, структур и процессов. В связи с этим, последние годы, исследователями ставится вопрос о необходимости применения принципиально нового математического языка.

Откуда, как возникла подобная задача, и где лежат ее истоки?

В основе нынешнего используемого в исследовательской практике естественных, экономических, социальных и общественных науках, математического языка лежит *теория множеств*, которая была принята в качестве проекта переустройства всей математики и

* Ашот Рамзесович Тевикян — Эксперт Аналитического исследовательского центра «Орбели» при «Центре общественных связей и информации» аппарата премьер-министра РА, Кандидат экономических наук, доцент, e-mail: devkanc@mail.ru

предоставила математике необходимый “язык” для формулировки его конструкций и ее широкому применению в различных научных дисциплинах. Подобный подход сформировался на рубеже XIX - XX веков.

Однако, пройдет время, и уже сама теория множеств столкнется с собственным кризисом оснований (Френкель, 1996). Понятие множества оказалось *либо вовсе не связанным с базовыми понятиями современных наук (например, экономических), использующих этот язык, либо связанным с ними неудовлетворительным образом* (Родин, 2010). Надо согласиться с мнением, что “она в любом случае оставила полностью открытой проблему математических оснований для различных наук, или даже сделала эту проблему еще более острой” (Френкель, 1996). Возникли принципиальные барьеры на пути дальнейшего прогресса научных дисциплин с использованием математического языка.

По мнению современных исследователей, вопрос упирается в те философские концепции, которые были в европейской научной среде взяты за основу в период формирования математической науки. (Kline, 1985) В результате, в философии математики в начале двадцатого века не было *эмпирической традиции* (Kitcher and Aspray, 1988).

Конечно, имеется огромная литература, пытающаяся решить загадку о «магической силе» и «внутренней таинственной силе» математики (Gasking, 1964; Kline, 1985). Однако, сегодня этот *исторический ресурс уже близок к исчерпанию*. Одним из тех исследователей, который придерживается подобной точки зрения выступает выдающийся американский физик-теоретик Ли Смолин (Smolin, 20016), который указывает на то, что многие фундаментальные физические теории, построенные в последние десятилетия XX века, оказываются принципиально *эмпирически* непроверяемыми. По крайней мере часть этой проблемы состоит в том, что логическая архитектура современной математики никак *не* учитывает такое эпистемологическое требование, которое немецкий философ, представитель Марбургской школы неокантианства Эрнст Кассирер (Cassirer, 1907) формулирует так: “*Математические и логические понятия не должны больше служить нам инструментами для построения метафизических “мысленных миров”; их функция и их применение должны быть ограничены пределами эмпирических наук*”.

Тогда, научная строгость, требуемая для решения, например, *экономических наук*, весьма отличается от строгости, необходимой в ес-

тественных науках, опирающихся, в большей части, на аксиоматические системы, и поэтому, в первом случае, практические вопросы требуют набора правил, отличного от аксиоматических конструкций (Kraut, 2006; Boumans, 2005; Brandenburger, 1992).

В середине XX века теорию множеств и структур начала постепенно теснить *теория категорий и функторов*, и связанная с ней *теория топосов*, которые и стали еще одним языком математики. Теория категорий была предложена в 40-х годах прошлого века американскими математиками Сандерсом МакЛейном и Самуэлем Эйленбергом в качестве полезного “языка” для алгебраической топологии (Eilenberg and MacLane 1945).¹

Теория категорий — это универсальная область математики, в основе которой лежит базовый (*общий*) язык, описывающий структуры, возникающие в *разных контекстах*, что делает ее мощным инструментом для приложений. Такая возможность появляется вследствие того, что она *меняет фокус исследователя с объектов на морфизмы (преобразования)*. Именно структура будет основным инструментом исследования, и представленная в ней информация (*содержание*) становится значимой по причине их внутренних связей, а объекты рассматриваются без углубления во внутреннюю структуру, с позиции взаимодействия с другими объектами. Это радикальный отход от типичных методов в математизации различных научных дисциплин.

Сами разработчики данной теории, в частности Сандерс Маклейн, идет дальше с этой идеей, и вместо уже принятой “что всякий объект можно формально заменить тождественным преобразованием данного объекта в себя”, предлагает более сильную “*гераклитовскую*” версию “*категорной философии*”, согласно которой “*только понятие преобразования является для науки фундаментальным, тогда как понятие объекта играет в ней лишь вспомогательную роль*”. Это есть отказ от понятия точного равенства в пользу многообразных видов «*схожести*», понимаемых через *отношения* и естественные соответствия *разного рода*.

Для нас здесь важно то, что при категорном подходе объекты и морфизмы можно рассматривать в качестве элементарных “*кирпичиков*” математических конструкций, *не приписывая им заранее никаких*

¹ Топология, как математическая наука, интересуется свойствами геометрических объектов, которые не меняются при обратимых непрерывных преобразованиях.

специальных свойств. Это открывает широкое поле для интерпретаций в разных науках. Иными словами, категорный подход превратил объекты в «бесструктурные» точки, и математики задались вопросом, как они взаимодействуют друг с другом на морфизмах между ними.

Подобная конструкция лежит в основе «*категорной философии*».

Дадим стандартное определение понятия категории (МакЛейн, 2004).

Определение. Категория $\mathcal{C}$ состоит из:

- Объектов $A, B, C \dots$;
 - морфизмов $f, g, \dots$ вида $f: A \rightarrow B$; объект A здесь называют *источником*, а объект B - *назначением* морфизма f ;
 - для каждой пары морфизмов $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C$ таких, что назначение f совпадает с источником g , определена операция композиции $\circ$, результатом которой является новый морфизм $h: A \rightarrow C$; композиция морфизмов записывается с помощью равенства $f \circ g = h$; эта операция может быть также представлена в виде диаграммы:
- The diagram shows a triangle with vertices labeled A, B, and C. Vertex A is at the bottom left, B is at the top, and C is at the bottom right. An arrow labeled 'f' points from A to B. An arrow labeled 'g' points from B to C. A horizontal arrow labeled 'h' points directly from A to C, representing the composition of f and g.
- для каждого объекта A данной категории существует *тождественный* морфизм 1_A вида $A \rightarrow A$, который удовлетворяет следующим условиям:
 - (i) для любого *входящего* морфизма f вида $\rightarrow A$ имеет место равенство $f \circ 1_A = f$;
 - (ii) для любого *исходящего* морфизма g вида $A \rightarrow$ имеет место равенство $1_A \circ g = g$;
 - композиция морфизмов является ассоциативной:

$$(f \circ g) \circ h = f \circ (g \circ h).$$

Такого определение понятия категории.

Чтобы не усугублять изложение математической терминологией, поясним сказанное на нематематическом примере. При раскрытии *общего* понятия *какого-то субъекта или объекта* обычно поступают следующим образом. Из всех свойств субъектов (*или объектов*) выделяют

одинаково присущие всем им, а если таковых нет мы не будем считать эту вещь данным субъектом (*или объектом*). Следующим шагом, мы обычно определенный набор общих свойств просто отождествляем с содержанием общего понятия субъекта (*или объекта*). В отличие от него, *категорная стратегия* вместо свойств использует преобразования, и ставит вопрос - насколько может измениться при этом данный субъект (*или объект*), оставаясь им. *Полное описание таких преобразований* даст нам альтернативное описание содержания общего понятия субъекта (*или объекта*).

Примеров категорий достаточно много.

Принципиальной идеей в проекте категорных оснований является впервые введенное французским математиком Александром Гротендиком понятие *топоса*. Не вникая в детали, отметим, что если данный топос моделирует некоторую (*физическую, экономическую, социальную и т.д.*) ситуацию, то *внутренняя логика этого топоса будет зависеть от этой ситуации*, а не задаваться априори.

Широкая применимость и выразительность (*существенное свойство*) языка теории категорий подводит к мысли, что большинство структур в математике, в естественных и общественных науках лучше всего понимаются, если к ним применить теоретические конструкции категорной абстракции.

В отличие от традиционных научных подходов, гораздо больше интересующихся природой математических объектов, *теория категорий фокусируется на отношениях между ними*, выступая *инструментом систематизации и унификации*.

Данное свойство позволило теории категорий стать инструментом успешного применения в других областях научного знания (*информатика, биология, квантовая физика, языкознание и др.*), связывая разрозненные области науки, создавая своего рода скелет, чтобы на него "*повесить*" другие знания. Так, Джон Баэз и Майк Стей в своей работе «*Физике, топологии, логике и вычислении: Розеттский камень*» (Baez, 2009), используя теоретическую конструкцию категории, указывают на сходства физики, топологии, логики и теории вычислений.

Прикладную значимость теории категорий полезно рассмотреть на примере физической науки (*причина тут проста, поскольку работы по применению этой теории в экономической науке попросту отсутствуют*), что позволит *выявить те основные позиции, на которую*

следует обратить внимание при разработке применения теории категорий в экономической науке.

Первые попытки применения теории категорий и топосов относятся к математической физике, и были предприняты в 1990-х годах К.Ишамом и А.Дорингом (Isham and Doring, 2007). В дальнейшем, начиная с 2000-х годов, американский математик Дж.Баэз (Baez, 2018) своими публикациями показал широкие возможности по применению категорного языка в математической физике.

Активно работает в этой области Боб Коук (Coecke, 2008), сотрудник Вычислительной лаборатории Оксфордского университета, который обращает внимание на то, что теория категорий может изучать сеть математических взаимосвязей между разными математическими структурами, применяемыми в квантовой механике. Оказывается, многие ключевые для квантовой механики понятия возникают в подходящих категориях сами собой. Именно «*опыт распознавания структур*», который уже накопила эта теория, будет полезен в экономических исследованиях.

К настоящему моменту, *прикладная теория категорий (applied category theory)* стала тем направлением в математике, к которому проявляет интерес все большее число исследователей, заинтересованных в изучении разнообразных систем (*естественных и общественных*) с использованием теоретико-категориальных инструментов (Tuýeras, 2018).

2. Прикладная теории категорий для изучения отношений, структур и процессов, представляемых в социально-экономической среде

Перспективным приложением математической теории категорий является экономическая наука.

Чтобы понять, как такой, аппарат, может быть применен в экономической науке, нам надо, еще раз возвратиться к извечному спору о применимости математики в экономике, об уровне ее формализации. Но потребуется соотнести это с отмеченной необходимостью перестройки оснований математики.

Рассматривая в исторической перспективе связку между математикой и экономикой, два современных исследователя Н.Джоколи (Giosoli, 2003, 2009) и Р.Вайнтрауб (Weintraub, 2002) в своих работах подводят к той мысли, что математика в экономических разработках, стала делать больший упор на исследования систем отношений (*systems of relations*).

Как они пишут, это было обусловлено растущим требованием на математическую строгость в экономике.

Система сил представляет в экономике направление научной дисциплины, основной темой изучения которой является анализ экономических процессов, создаваемых рыночными и нерыночными силами, в том числе - но отнюдь не исключительно - ведущих систему к *равновесию*. В *системе отношений* основной темой исследования в экономике становится вопрос существования и свойства *экономического равновесия* с точки зрения обоснованности и взаимной согласованности заданных формальных условий, но которая *мало что может сказать о значимости экономических равновесий* для анализа реальных экономических систем. По сути, если первая система сфокусирована на экономических силах, включая те, которые приводят к равновесию, вторая - на свойствах возможных равновесий без учета сил, которые могут их поддержать.²

Подобная трансформация на объект исследования была обусловлена естественным стремлением экономистов достичь максимально возможной общности и концептуальной целостности своего анализа. Такая научная постановка поощрила развитие современной неоклассической экономики в сторону *большой математизации*.

Эта тенденция, с упором на математический формализм, хорошо просматривается в работах лауреата нобелевской премии Жерара Дебре. В «Математизация экономической теории» (*The Mathematization of Economic Theory*) он утверждает: “Будучи лишенным достаточно надежной экспериментальной базы, экономическая теория должна придерживаться правил, обеспечивающие ей логическую структуру и должна отказаться от возможной внутренней несогласованности.” (Debreu, 1991)

Интересно сравнить подходы Дебре с позициями, которой придерживались такие экономисты, как Джон фон Нейман, Василий Леонтьев и Дж. Кейнс.

² В историческом контексте система сил была традиционной в экономике, и её приняли первые маргиналисты. Тем не менее, в первые десятилетия 20-го века экономисты начали чувствовать влияние новаций, привнесенных в науку новыми эпистемологическими потоками, такими как логический позитивизм и математический формализм. Начался длительный процесс, который в конечном итоге трансформирует образ экономики в сторону представления как о системе отношений (конец 1970-х годов). Это повлекло, среди прочего, к преобладающему стремлению к общности и целостности по сравнению с реализмом: экономика стала дисциплиной, более близкой к математике, и даже больше, чем естественные науки.

Джон фон Нейман занимал в экономике взгляд ближе к образу системы сил (Giocoli, 2003), которую он вместе с Оскар Моргенштерном отразил в монографии *“Теория игр и экономического поведения”* (1944). Однако, одновременно с занимаемой такой позицией, фон Нейман осознавал в необходимости эмпирических источников, идей при применении математики в экономической науке (von Neumann, 1960).

Активным сторонником использования математических моделей в сочетании с эмпирическими основами был Василий Леонтьев. В своем обращении к Американской экономической ассоциации (1970) он ссылался на отсутствие эмпирической поддержки многих теорий, заявляя, что *“... слабый и слишком медленно растущий эмпирический фундамент явно не может поддерживать расширяющуюся надстройку чистой или, если можно так выразиться, спекулятивной экономической теории”* (Leontief, 1971).³

Близко к ним и более четко выражал свое отношение к проблеме математизации экономики Дж.Кейнс в своей дискуссии с профессором Яном Тинбергеном, первым лауреатом Нобелевской премии по экономике в 1969 году *«за создание и применение динамических моделей к анализу экономических процессов»*. По Кейнсу, экономическая наука не должна претендовать на точность, и он представлял ее как особый способ мышления: *“Цель нашего анализа отнюдь не в том, чтобы создать такую механику или такую шаблонную схему операций, которая автоматически выдавала бы безошибочный ответ, а в том, чтобы обеспечить себя методом для систематического и планомерного изучения ряда проблем.”* (Keynes, 1936; Розмаинский, 2007). Его волновало, что такая тенденция к формализации, набирая обороты среди экономистов, становится доминирующим исследовательским методом.

Отмечая необходимость и актуальность вышеуказанной трансформации у экономистов на объект исследования, одновременно была дана жесткая критика дальнейшей формализации экономической науки. Этой точки зрения придерживались Ж.Дебре и Дж. фон Неймана, Дж.Кейнса и В.Леонтьева. Проблема заключается в том, что опора на применяемый в исследованиях математический аппарат, в основе которой лежит только язык теории множеств, будет вести экономическую

³ ... [t]he weak and all too slowly growing empirical foundation clearly cannot support the proliferating superstructure of pure or, should I say, speculative economic theory.

науку в сторону растущей формализации, независимо от звучащей критики.

Дальнейший прогресс в более эффективном разрешении поставленной проблемы, когда предложенные экономико-математические конструкции будут действительно обоснованы в мире, видится *в контексте вышеизложенной позиции по изменению основ математики*, где главенствующую роль будет иметь теория категорий. Это будет также способствовать такой математизации экономики, в которой эмпирические аспекты имеют первичность.

В обосновании предлагаемого подхода лежит хорошо наблюдаемый *“образный параллелизм”* между трансформацией *“образа”* системы сил в направлении системы отношений и изменениями *“образов”* в математике, от теории множеств к теории категорий, в том числе, включая концепцию строгости.

С логической точки зрения теория множеств и теория категорий суть теории первого порядка, которая допускает высказывания относительно переменных, фиксированных функций и логических символов (*предикатов*), расширяя этим логику высказываний. Но объекты, которыми они оперируют, разные. Для первой, это множества и отношения принадлежности между ними - $a \in b$. Вторая оперирует объектами и морфизмами (*или, так называемыми стрелками*) - $a \rightarrow b$. Визуально, разницы между представленными атомарными формулами нет. Однако, это только на первый взгляд. Колоссальна содержательная разница между ними, когда стационарному миру Цермело — Френкеля, перенасыщенному копиями равномоощных множеств, противостоит свободный мир категорий — ансамблей произвольной природы, определяемых динамикой своих преобразований (Кутеладзе, 2005).

В отличие от традиционно множественных основ, которые гораздо больше связаны с природой математических объектов, *теория категорий фокусируется на отношениях между ними*. В качестве примера, проведем параллель между вышепредставленной системой отношений и теорией категорий, с позиции вопроса существования и обоснованности свойств такого важного понятия, как экономическое равновесие. Оно позволяет выявить следующее фундаментальное положение - *концептуальное преимущество для экономики, основанное на формализме категориального контекста заключается в том, что меняя фокус с объектов на морфизмы, оно освобождает экономические модели от*

упора на равновесия, которые становятся только объектами, и могут существовать или не существовать в соответствующих категориях. Вообще, реляционный аспект морфизмов позволяет объединить различные подходы в единой структуре, при которой объекты представляются без рассмотрения их внутренней структуры, просто посредством взаимодействия с другими объектами.

Это радикальный отход от типичных методов, принятых в математической экономике. Он предполагает сформировать сеть отношений в реальном мире, которая позволит экономистам включить представляющую для него интерес соответствующую сущность и концепцию, и тогда, основная математическая форма деятельности экономиста будет заключаться только в установлении связей между ними. Такая трансформация позволит изучать систему сил в экономике через исследование системы отношений.

В условиях высокого запроса на экономические реформы, подобные исследования актуальны. В этих условиях можно обсуждать различные варианты развития событий и предлагать свои стратегии.⁴

3. Теория категорий и экономическая наука

В конце 2008 года Институт экономики РАН издал обзорную монографию А.М. Либмана *«Политико-экономические исследования и современная экономическая теория»*. Размышляя о том, какими силами и в каких направлениях российское научное сообщество могло бы *«отвечать на вызов»* мировой экономической науки, он отмечает то, что если начинать с хорошей качественной постановки экономических проблем, то, весьма вероятно, найдутся специалисты, способные перевести их в адекватную математическую форму. *Например, на язык теории категорий.*

Среди вопросов, в контексте экономических исследований, решению которых может помочь язык теории категорий, выделим следующий: “Работа теоретика по формальному описанию объектов познания (для нас, экономика – авт.) обычно состоит в подборе математической структуры, в какой-то степени изоморфной устройству предмета изучения или представлений о нем. Но всегда ли существует в математике подходящая структура?” (Левич, 2018) В математике, при всем

⁴ Глазев С.Ю. tsargrad.tv/articles/sergej-glazev-u-nashih-denezhnyh-fetishistov-v-golove-tolkovekonomicheskoe-ravnovesie_123073

многообразии аксиоматических систем (*структур*), число их типов ограничено (Бурбаки, 1963). Возможности, которые нам предоставляет теория категорий при описании подобных систем не требует их обязательной экспликации, т.е. подробного развёртывания (*раскрытия*) ее сущности. Возможно «качественное», на выразительном языке категорий, описание с непосредственным “*перечислением и описанием состояний системы и всех переходов между ними (морфизмов)*” полностью на внутридисциплинарном содержательном (*без привлечения математического*) языке.

Выше, исследуя практику применения теории категорий в естественных науках мы указали, в частности, что для них, многие ключевые понятия возникают в подходящих категориях сами собой. Проводя параллель с возможностями применения теории категорий в экономических исследованиях, нам следует обратить внимание на такой «*опыт распознавания структур*». И подобно в Оей, шаг за шагом облекая экономические структуры (*отношения, процессы*) в категорную форму, мы представим сеть взаимосвязей между экономическими объектами. Возможно, и в данном случае ключевые для экономической науки понятия могут возникнуть в подходящих категориях сами собой.

В чем польза подобных конструкций?

Можно утверждать, что «с *высоты птичьего полета*», не прибегая к излишней конкретизации, некоторые нетривиальные результаты экономической теории станут естественными в категорной формулировке. Следовательно, с высокой долей уверенности, можно утверждать, что включая вышеупомянутые подходы и методы, их компоненты в аналитические исследования, появляется возможность получить общий обзор/взгляд на экономические явления, в которых предполагаемые тесные отношения с имеющимися эмпирическими данными будут адекватны отношениям, присущим к реалиям, циркулирующим в общественной жизни. Совершенно очевидно, что теория категорий дает эффективные инструменты для решения этой задачи.

С практической стороны вышеупомянутые исследования открывают двери для разработки эффективных способов для принятия решений в сфере экономических взаимодействий.

По мере того как язык теории категорий постепенно завоевывает права в самых различных областях математики, его проникновение в

экономическую науку будет со всей очевидностью происходить в некоторой степени автоматически.

Литература

References (with English translation and transliteration)

- Baez J., Master J. (2018) “Open Petri Nets”, arXiv:1808.05415v4. arXiv:1704.02051
- Baez J., Pollard, Blake S. (2018) “A compositional framework for reaction networks”. *Reviews in Mathematical Physics*. 2018. 29 (9): 1750028–425.
- Baez J., Stay M. (2009) “Physics, topology, logic and computation: a Rosetta Stone”. 2009, <http://math.ucr.edu/home/baez/rosetta.pdf>
- Boumans, M. (2005) “*How economists model the world into numbers*”, London and NY: Routledge.
- Bourbaki N. (1963) “*Architecture of Mathematics. Essays on the History of Mathematics*” Moscow: Mir, p.245–259 (in Russian).
Бурбаки Н. (1963) “*Архитектура математики. Очерки по истории математики*”. М., Мир, с. 245–259.
- Brandenburger, A., and Dekel, E. (1993) “Hierarchies of beliefs and common knowledge”, *Journal of Economic Theory*, 59, 189–198.
- Butterfield J. and Isham Ch. (2000) “Some possible roles for topos theory in quantum theory and quantum gravity”, *Foundations of Physics*, 30(10):1707-1735.
- Cassirer E. (1907), “*Kant und die moderne Mathematik*”, Kant-Studien. № 12. S. 1—40
- Coecke B. (2008) “Introducing categories to the practicing physicist” // препринт arXiv:0808.1032 (7 August 2008).
- Crespo, Ricardo and Fernando Tohmé (2016) “*The Future of Mathematics in Economics: A Philosophically Grounded Proposal*”, Springer Science + Business Media Dordrecht March 2016.
- Debreu, G. (1991). “The Mathematization of Economic Theory”, *American Economic Review*, 81, 1–7.
- Eilenberg S., MacLane S. (1945) “*A general theory of natural equivalences*”. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 58: 231-294

- **Ellerman, David** (2016) “*Category theory and set theory as theories about complementary types of universals*”, Logic and Logical Philosophy
- **Frege, Gotlob** (1997) “*Selected Works*” (Translation from German) Moscow, Dom Intellectual (in Russian).
Фреге, Готлоб (1997) “*Избранные работы*”, (Пер. с нем.) М: Дом интеллектуал.
- **Frenkel I., Bar-Hillel A.A.** (1966) “*Foundations of set Theory*”. Moscow, 556 p (in Russian).
Френкель И., Бар-Хиллел А.А. (1966) “*Основания теории множеств*”. М., 556 с.
- **Gasking, D.** (1964) “*Mathematics and the World*”, In P. Benacerraf & H. Putnam (Eds.), Philosophy of mathematics. Prentice Hall, NJ: Selected Readings.
- **Giocoli, N.** (2009) “Mathematics as the role model for neoclassical economics” In R.Arena, S. Dow, & M. Klaes (Eds.), *Open Economics: Economics in relation to other disciplines*. London: Routledge.
- **Isham Ch.** (2004) “A new approach to quantising space-time: II. quantising on a category of sets”, *Adv. Theor. Math. Phys.*, 7:80711829.
- **Isham Ch., Doring A.** (2007) “A Topos Foundation for Theories of Physics (in 4 parts)”, arXiv: [quantph/0703060], [quant-ph/0703062], [quant-ph/0703064], [quant-ph/0703066].
- **Kantor G.** (1985) “Fundamentals of the General Doctrine of Varieties”, *Proceedings in set theory*. Moscow, pp.63-106 (in Russian)
Кантор Г. (1985) “Основы общего учения о многообразиях”, *Труды по теории множеств*. М., с. 63—106
- **Keynes, John Maynard** (1936) “*The General Theory of Employment, Interest and Money*” Palgrave Macmillan, p.472 (2007 edition), ISBN 978-0-230-00476-4.
Кейнс Дж.М. “Общая теория занятости, процента и денег”.
- **Kitcher, P., and Aspray, W.** (1988) “An Opinionated Introduction”, In P. Kitcher & W. Aspray (Eds.), *History and Philosophy of Modern Mathematics* (Vol. 11). Minneapolis: Minnesota Studies in Philosophy of Science.
- **Kline, Morris** (1985) “*Mathematics and the Search for Knowledge*”, Oxford University Press, ISBN 0-19-503533-X.
- **Kraut, R.** (2006) “How to justify ethical propositions: Aristotle’s method”, In R. Kraut (Ed.), *The Blackwell guide to Aristotle’s Nicomachean ethics*. London: Blackwell Publishing.

- **Kutladze S.** (2005) “Saunders MacLane, the Knight of Mathematics”. Siberian electronic mathematical news. Volume 2, pp. A.5 – A.9 (in Russian).
Кутеладзе С. (2005) “Саундерс Маклейн, рыцарь математики”. Сибирские электронные математические известия. Том 2, стр. А.5–А.9. <http://semr.math.nsc.ru/v2/a5-9.pdf>
- **Leontief, W.** (1971) “Theoretical assumptions and nonobserved facts”, *American Economic Review*, 61, 1–7.
- **Levich A.P.** (2018) “The language of Categories and Functors as an Archetype of a Quantitative and Dynamic Description of the World.” (In Russian)
Левич А.П. (2018) “Язык категорий и функторов как архети количественного и динамического описания Мира”. kommunika.wordpress.com/2018/02/08/язык-категорий-и-функторов-как-архети/
- **Mac Lane, Saunders** (1998) “*Categories for the Working Mathematician*”, Second Edition, Springer, ISBN 0-387-98403-8
Маклейн С. (2004) “*Категории для работающего математика*”, Перевод с англ. под ред. В.А. Артамонова. М., Физматлит, 2004. — 352 с.
- **Marquis, J.-P.** (2015). “Category theory”, In E. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy* (Winter 2015 Edition). <http://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/category-theory/>.
- **Rodin A.V.** (2010) “Category Theory and the Search for new Mathematical Foundations of Physics”, *Voprosi Fillosofii*, N 7, pp. 67-82 (in Russian)
Родин А.В. (2010) “Теория категорий и поиски новых математических оснований физики”. *Вопросы философии*, N 7, стр. 67-82
- **Rodin A.V.** (2015) “*Kant and New Mathematics a Hundred Years Later*”, Kant collection (in Russian).
Родин А.В. (2015) “*Кант и новая математика сто лет спустя*”. Кантовский сборник.
- **Rozmainsky I.** (2007) “Methodological foundations of Keynes's theory and its dispute about the method “with Tinbergen” *Voprosi economici*. 2007. N4 (in Russian).
Розмаинский И. (2007) “Методологические основы теории Кейнса и его «спор о методе» с Тинбергеном”. *Вопросы экономики*. 2007. N4.

- **Samuelson P.A.** (1994) “The To-Be-Expected Angst Created for Econornists by Mathematics”, *Eastern Economic Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 267–273
 - **Smolin L.** (2006) “*The Trouble with Physics*”, Houghton Mifflin Harcourt.
 - **Stay, Mike and John Baez** (2009) “Physics, topology, logic and computation: a Rosetta Stone”.
<http://math.ucr.edu/home/baez/rosetta.pdf>
 - **Tierney M.** (1972) “Sheaf theory and the continuum hypothesis”, Toposes, *Algebraic Geometry and Logic*. F.W. Lawvere (ed.) (Springer Lecture Notes in Mathematics 274).
 - **Tuýeras, Remy** (2018) “Category theory for genetics I: Mutations and sequence alignments”, *Theory and Applications of Categories*, Vol. 33, No. 40, 2018, pp. 1269–1317
 - **Von Neumann, J.** (1960) “The mathematician”. In J. Newman (Ed.), *The world of mathematics* (Vol. IV). London: Allen & Unwin
 - **Weintraub, E. R.** (2002). “*How Economics Became a Mathematical Science*”, Durham and London: Duke University Press.
 - **Zelikin N.V.** (2017), “Category theory as a conceptual apparatus for studying a number of problems in economics”, MV Lomonosov Moscow State University, Faculty of Mechanics and Mathematics, XXIVth Conference (in Russian).
- Зеликин Н.В.** (2017), “Теория категорий как понятийный аппарат для исследования ряда задач экономики” Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова. Механико-математический факультет, XXIV-ая конференция.
<http://www.mce.su/rus/archive/abstracts/mce24/sect57225/doc282550/>

Принята 6.10.19

Рецензирована 28.10.19

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԿԱՏԵԳՈՐԻԱՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԴՐԱ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ ՏՆՏԵՍԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ

Թևիկյան Ա.Ռ.

Ամփոփագիր: Հոդվածում քննարկվում են մաթեմատիկական կատեգորիաների տեսության կիրառման հնարավորությունները տնտեսագիտության մեջ: Նման մոտեցման հիմքում ընկած է տնտեսագիտության և դրա կիրառման կողմից աճող պահանջարկը՝ հնարավորինս համարժեք ներկայացնել (մոդելավորել) առկա հարաբերությունները, կառույցները և դրանցում տեղի ունեցող գործընթացները: Կատեգորիաների կիրառական տեսությունը հետազոտողի ուշադրությունը դարձնում է օբյեկտներից դեպի մորֆիզմներ (վերափոխումներ), ինչը նշանակում է տնտեսագիտությանը բնորոշ մաթեմատիկական մեթոդներից արմատական լրացում:

Բանալի բառեր. կիրառական կատեգորիայի տեսություն, տնտեսական և մաթեմատիկական մեթոդներ և մեթոդաբանություն, հասարակական գիտություններ, համակարգային մտածողություն և կառավարում

THE APPLIED CATEGORY THEORY AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION IN ECONOMIC RESEARCH

Tevikyan A.R.

Abstract. The article discusses the possibilities of applying the mathematical theory of categories in economic science. The growing demand from economics and the practice of applying it as possible as adequately presenting (modelling) the existing relationships, structures, and processes taking place in them has become a motivation. Applied category theory changes the researcher's focus from objects to morphisms (transformations), which adds typical methods in the mathematization of economic science. It will be necessary to return to some philosophical concepts on the foundations of mathematics, which lead to the choice of a language for mathematical research more friendly to economic science.

Key words: Applied category theory, Economic and mathematical methods and methodology, Social sciences, Systemic thinking and management.