

УДК: 51: 101.8

DOI: 10.15372/PS20250304

EDN: IZRHLR

В.М. Резников

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ НЕТЬЮРИНГОВЫ МАШИНЫ В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ И ФИЛОСОФИЯ ИНФОРМАТИКИ

Как известно, машина Тьюринга, разработанная задолго до появления компьютеров, не была предназначена для учета взаимодействий программ, компьютеров и других устройств. Однако работа Интернета и искусственного интеллекта предполагает различные виды взаимодействий. В современной информатике были созданы различные модели, учитывающие взаимодействия. В статье я исследовал модели расширенных машин Тьюринга и расширенных алгоритмов с целью определения адекватности модели машины Тьюринга для описания и решения проблем, с которыми справляются эти модели. Я показал, что расширенные машины Тьюринга корректно описывают поведение модели Тьюринга и успешно решают задачи, с которыми она справляется. Кроме того, в статье я описал задачу по управлению машиной Тьюринга движением автомобиля, управляемого роботом. Она не справляется с этой задачей, но расширенные модели Тьюринга обеспечивают ее решение. Однако формального доказательства о том, что машины Тьюринга не справляются с проблемами, решаемыми расширенными машинами Тьюринга, пока нет. Поэтому вопрос о строгом соотношении возможностей машин Тьюринга и расширенных машин Тьюринга остается открытым.

Ключевые слова: Модель Тьюринга; интерактивные вычисления; расширенная машина Тьюринга; расширенная модель алгоритмов; философия информатики

V.M. Reznikov

**INTERACTING NON-TURING MACHINES
IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE
AND THE PHILOSOPHY OF INFORMATICS**

As is known, the Turing machine, developed long before the advent of computers, was not intended to take into account the interactions of programs, computers and other devices. However, the operation of the Internet and artificial intelligence involves different types of interactions. In modern computer science, various models have been created that take interactions into account. In this paper, I examined models of extended Turing machines and extended algorithms to determine whether the Turing machine model is adequate to describe and solve the problems that these models can handle. I showed that extended Turing machines correctly describe the behavior of the Turing model and successfully solve the problems that it can handle. Also, in the article I described the problem of controlling the movement of a car driven by a robot by a Turing machine, it does not cope with this problem, but extended Turing models provide a solution to it. Therefore, the question of the strict relationship between the capabilities of Turing machines and extended Turing machines remains open.

Keywords: Turing model; interactive computing; extended Turing machine; extended model of algorithms; philosophy of computer science

Специалисты в области информатики выделяют несколько этапов в развитие этой дисциплины. Так, на ее первом этапе основное внимание уделяется проблемам, относящимся к вычислительной математике. На втором этапе происходит расширение сферы интересов и наряду с исследованиями в области научных вычислений осуществляется освоение и развитие другой области приложений, относящейся к символьным вычислениям, которые имеют принципиальное значение для создания баз данных. Как отмечает известный специалист в области информатики Ф. Арбаб, модель Тьюринга была вполне адекватной для первых двух периодов развития компьютерной дисциплины [3, р. 10]. Эти два периода относятся к сфере последовательного программирования, и в этой области компьютер имеет минимальное взаимодействие с другими устройствами, так как сначала он получает входные данные для вычислений, а в конце работы он передает последующему компьютеру полученные результаты. Одна-

ко на третьем этапе, который называют итерационным этапом или этапом взаимодействия, ситуация радикально изменяется, потому что компьютеры вступают в многочисленные взаимодействия с другими компьютерами или иными устройствами [3]. В рамках итерационного этапа информатики известно несколько направлений исследований, в которых изучается генезис свойства итерационных взаимодействий компьютеров, механизмы моделирования машины Тьюринга и обратная задача по описанию работы итерационных моделей в модели Тьюринга. В настоящей статье я проанализировал полученные результаты в рамках этих направлений, и кроме того, я провел анализ адекватности философии эмпиризма для исследований в области информатики.

Отметим, что впервые обратил внимание на принципиальное отличие итерационных вычислений от последовательных вычислений, известный специалист в области информатики, и, в частности, в параллельном программировании Р. Милнер при получении престижной премии Тьюринга. Он писал, что логика работы современных компьютеров соответствует модели Тьюринга, причем последняя была создана Тьюрингом еще до появления реальных вычислительных машин [2]. Поэтому непрерывное усложнение решаемых проблем с помощью вычислительной техники, относящихся к согласованию работы различных компьютеров, и, в частности, к параллельным вычислениям, приводит к необходимости создания новой модели работы компьютеров, которая не является усовершенствованной моделью последовательного и алгоритмического программирования [10]. Мысль Милнера о необходимости новой логики для описания работ взаимодействующих компьютеров была реализована им в специально разработанном для этой цели, так называемом пи-исчислении, а впоследствии на основе его исчисления был разработан язык программирования под названием Пикт.

Вклад Милнера является существенным в выделении интерактивного программирования, как отдельного направления в информатике, так в ряде публикаций он сформулировал ряд специфических особенностей параллельных вычислений, которые не являются присущими последовательному программированию. На основе этих публикаций в работе [9] приведен результат сопоставительного анализа свойств, которыми обладают модели последовательного и параллельного про-

граммирования. Во-первых, машина Тьюринга исполняет алгоритм решаемой проблемы, однако новая модель работы компьютерной техники, в противовес жесткому предписанию работы под управлением машины Тьюринга, предполагает описание информационного потока между различными компьютерами. Во-вторых, решение любой проблемы по модели Тьюринга имеет иерархическую структуру, а в моделях взаимодействия решение, как правило, имеет гетерогенную структуру. В-третьих, поведение исполняемых программ по модели Тьюринга имеет детерминистский характер, напротив, в итерационной модели заранее неизвестно, когда компьютеры, решающие проблему, будут активированы. В-четвертых, в алгоритмической модели Тьюринга в решении любой задачи выделяются три этапа: начало ее решения, основной блок решения и конец решения. В модели взаимодействия нет выделенного этапа окончания решения, и в любой момент времени возможно взаимодействие агентов, решающих проблему, а также внешнее воздействие на вычислительную систему. Необходимо отметить, что практика применения компьютеров в инженерных, экономических и других приложениях привела к пониманию принципиального отставания научных теорий от запросов практических исследований и оказалась значимым фактором для учета взаимодействия в теориях Р. Милнера, П. Вегнера и других создателей итерационной парадигмы программирования. Однако в создаваемых теоретиками концепциях, по-разному определяется место физических компьютерных устройств. Так, Милнер считал, что нет необходимости в полном учете особенностей работы компьютеров в моделях взаимодействия, потому что взаимодействие программ отличается большой гибкостью, например, одни программы могут замещаться другими, в то же время связи компьютерных устройств редко имеют динамический характер. Авторы работы [5] критикуют недооценку Милнером учета базовых свойств компьютерных устройств в моделях взаимодействия в информатике. Кроме того, они отмечают, что Милнер в своем докладе в связи с получением премии Тьюринга показал редуцируемость алгоритмов, описывающих работы машины Тьюринга к модели итерационных взаимодействий, однако он не предъявил доказательства о сводимости или несводимости модели взаимодействия к модели Тьюринга.

Реактивные системы

Другое значимое направление информатики, направленное на исследование взаимодействий в информатике, известно под названием реактивных систем [8]. Реактивные системы состоят из реактивных компьютеров, а реактивные компьютеры – это компьютеры, взаимодействующие с другими компьютерами и иными внешними устройствами. В рамках этого направления активно изучается адекватность модели Тьюринга и тезиса Тьюринга для исследований интерактивных взаимодействий. Мотивацией для выделения этого направления является то, что модель Тьюринга не обладает несколькими характеристиками присущими реактивным компьютерам. Несмотря на то, что эти свойства, близки тем, которые ранее были сформулированы Милнером с целью указания уникальности интерактивных взаимодействий, имеет смысл описать характеристики, указываемые представителями реактивных систем, так как последние весьма специфичны. Приведу три основные характеристики реактивных систем. Во-первых, программное обеспечение реактивных систем состоит из неоднородных программ. Неоднородные программы – это такие программы, которые могут быть изменены во время работы, кроме того, аппаратура, реализующая реактивные системы, тоже может подвергаться тому, что называется на языке технарей апгрейду. Необходимо отметить, что ранее введенные данные, необходимые для работы реактивного компьютера, сохраняются и после выключения этого компьютера. Во-вторых, реактивные компьютеры взаимодействуют друг с другом и с внешней средой в реальном времени, причем моменты взаимодействий заранее неизвестны и не могут быть запрограммированы. В-третьих, реактивные системы работают непрерывно в течение определенного времени, причем критерий остановки системы не задается заранее, а ее физическая остановка реализуется по запросу внешней среды. В рамках направления реактивных систем популярным является обсуждение вопроса о том, какие необходимы расширения модели Тьюринга для того, чтобы расширенная модель стала адекватной для исследований интерактивных компьютерных систем. При этом не считается, что расширение модели Тьюринга противоречит тезису Черча – Тьюринга, так как последний был предназначен для оценивания эффективности модели Тьюринга при реа-

лизации алгоритмов, а реактивные системы наряду с алгоритмическими проблемами решают и неалгоритмические проблемы по взаимодействию компьютеров друг с другом и с внешней средой. Минимальные расширения модели Тьюринга предполагают ее оснащение механизмом по изменению программ и компьютерных устройств, а также дополнительным вводом для нечисловой информации, в некоторых случаях реализация расширений предполагает участие оракулов.

Идеи интерактивного взаимодействия в работах П. Вегнера и Д. Гольдин

Еще одно направление, которое возникло в качестве реакции на учет проблемы взаимодействий компьютеров между собой и с внешней средой, известно под названием интерактивных взаимодействий. Основателем этого направления является П. Вегнер, выдающийся исследователь в области компьютерной науки [12]. Если мотивацией для двух ранее рассмотренных в моей статье направлений исследований в области взаимодействий компьютеров с внешней средой и друг с другом являлись исследования в области параллельного программирования, то для Вегнера и его последователей мотивацией являлась идея взаимодействия как таковая в области информатики. Их теория учитывает и разрабатывает проблемы взаимодействия, которые связаны с параллельным программированием, робототехникой, Интернетом, искусственным интеллектом и т.д. Кроме того, по сравнению с ранее рассмотренными подходами к проблеме взаимодействия, направление Вегнера оказывается более радикальным. Так, в публикациях Вегнера, Гольдин и других защищается тезис о неполном соответствии машины Тьюринга для исследований интерактивных взаимодействий в области информатики и соответственно о некорректности тезиса Черча – Тьюринга за пределами алгоритмических вычислений. Вегнер и Гольдин обосновывают, что их теория не противоречит тезису Черча – Тьюринга, так как область применимости последнего ограничена исключительно реализацией алгоритмов, а использование интерактивных вычислений не ограничено исполнением алгоритмов [4]. Напомним определение алгоритмов знаменитого специалиста в области информатики Д. Кнута. Так, соглас-

но Кнуту, алгоритм — это однозначная, строго определенная последовательность действий, которая не предполагает ввода исходных данных либо опирается на их однократный ввод. У Вегнера и Гольдин нет формального доказательства неадекватности тезиса Черча — Тьюринга в контексте приложений к интерактивным взаимодействиям, но они привели много вполне убедительных примеров для неформального обоснования неадекватности этого тезиса. Их примеры относятся к программированию, жизни социума, кулинарии и т.д. Я приведу некоторые их примеры, не имеющие алгоритмического описания. Так, по справедливому мнению Вегнера и Гольдин, договоры о купле и продаже, как правило, вполне поддаются алгоритмизации, однако с брачными контрактами ситуация совершенно другая: последние в подавляющем числе случаев не могут быть полностью алгоритмизированы. Также процесс приготовления блюд, за исключением самых несложных, тоже не поддается алгоритмическому описанию. Приведу яркий пример Вегнера и Гольдин о возможности машины Тьюринга управлять движением автомобиля, пилотируемого роботом. Какая нужна информация машине Тьюринга для управления автомобилем? Для этого необходимо знать в каждый момент времени координаты движущегося автомобиля, обстановку на дороге, поведение пешеходов, скорость и направление ветра, положение других движущихся автомобилей на дороге и на основании этого определять направление и скорость его движения. А так как невозможно заранее спрогнозировать параметры управления движением, поэтому функциональных возможностей модели Тьюринга недостаточно для управления движением. Каково должно быть расширение функций машины Тьюринга для того, чтобы она могла обеспечить управление автомобилем? Минимальное расширение предполагает использование камеры для наблюдения за движением, устройства связи с внешним миром для получения информации о погодных условиях и устройства ввода информации. Теперь обратимся к работе программ, входящих в операционную систему, интернет или искусственный интеллект. Они взаимодействуют с внешней средой, способны в ходе работы получать новые данные, изменять их, при этом программы работают непрерывно в течение длительного промежутка времени, и у них нет этапа окончания работы, поэтому, следуя Вегнеру, работа программ операционной системы, искусственного ин-

теллекта и Интернета не может быть полностью алгоритмизирована. Таким образом, Вегнер и представители направления взаимодействия машин Тьюринга показали, что машина Тьюринга не вполне адекватна для решения задач по моделированию взаимодействия вычислительных устройств с внешней средой. В связи с этим возникает естественный вопрос: каковы необходимые минимальные усовершенствования машин Тьюринга с целью использования их как взаимодействующих машин?». Решение этого вопроса в работе Вегнера и Гольдин основано на понятии машины с памятью, которое было ранее введено Гольдин [4]. Машина с памятью, по Гольдин, является недетерминистской, трехленточной машиной. Одна лента предназначена для ввода информации, другая для печати результатов работы, третья – это рабочая лента, снабженная памятью, она предназначена для вычислений с использованием ранее полученных и хранящихся в памяти результатов. Схема работы интерактивной машины с памятью такова: на каждом шаге работы на бесконечной ленте для ввода информации выбирается строка символов v_i , и она преобразуется в выводную строку символов w_i , при этом формируется строка перемежающихся символов $\{(v_1, w_1), (v_2, w_2), \dots\}$. Эта строка представляет собой наблюдаемое поведение работы взаимодействующей машины с памятью. За счет памяти, которой обладает рабочая лента, ее содержимое влияет как на текущие вычисления, так и на результаты предыдущих вычислений. При этом, как отмечают Вернер и Гольдин, содержимое рабочей ленты не является доступным посторонним наблюдателям. В результате исследований было показано, что минимальное расширение машины Тьюринга с целью применения ее для моделирования взаимодействий заключается в необходимости наделения этой машины рабочей лентой с памятью. На основе таких преобразований модифицированная машина способна изменять поступающую информацию и обрабатывать ее. Одна из реакций на восприятие ограничительных результатов Геделя, Тьюринга, Вегнера и Гольдин состояла в разработке понятия строгого тезиса Черча – Тьюринга. Однако, прежде чем сформулировать это понятие, уместно привести определения понятий, как ранее использованных (например, машина Тьюринга), так и тех, что будут использованы несколько позже (в частности, тезис Черча – Тьюринга и некоторые другие).

Анализ некоторых базовых понятий в области вычислимости

Машина Тьюринга – это мыслимая концепция вычислительного устройства, созданного Тьюрингом с целью подтверждения его гипотезы об отрицательном решении десятой проблемы Гильберта. Теперь остановимся на определении тезиса Черча – Тьюринга, однако сначала отметим, что история названия данного тезиса изложена в работе [2]. Тезис Черча – Тьюринга имеет следующую формулировку: машина Тьюринга адекватна для эффективных вычислений частично рекурсивных функций. В этом тезисе подразумевается, что речь идет об алгоритмических вычислениях. Алгоритм – это множество понятных, однозначно понимаемых инструкций, которые способно выполнить физическое устройство. В контексте тезиса Черча – Тьюринга имеет место семантическое равенство между понятиями эффективная вычислимость и алгоритмическая вычислимость. Еще одно важное понятие – это физический принцип Черча – Тьюринга. Функция эффективно вычислима физической системой тогда и только тогда, когда она вычислима на машине Тьюринга [4]. Это определение критикуется в ряде работ, так как в исходной формулировке принципа речь идет об абстрактном вычислителе без конкретизации его природы, а не о произвольном физическом устройстве [4]. Теперь перейдем к определению строгого тезиса Черча – Тьюринга.

Строгий тезис Черча-Тьюринга утверждает, что каждое эффективное вычисление может быть выполнено машиной Тьюринга [4]. Это определение критикуется сторонниками взаимодействующих машин Тьюринга, так как работа машин Тьюринга ограничена вычислением алгоритмов, а существует множество ситуаций, которые не могут быть полностью алгоритмизированы [6, р. 19].

Теперь несколько слов о восприятии направления интерактивных взаимодействий Вегнера. Это направление критикуется, потому что окончательно не определено как соотносятся множества описываемых и решаемых проблем на основе машин Тьюринга и расширенных машин Тьюринга. Дело в том, что Вегнером и Гольдин строго показано, что в рамках расширений машины Тьюринга выразимы и решаемы все проблемы, которые доступны машине Тьюринга. Однако у Вегнера нет строгого доказательства того, что с проблемами, вы-

разимыми и решаемыми на расширенной машине Тьюринга, машина Тьюринга не способна справиться. Как известно, одной из тенденций информатики является не только создание новых расширений машин Тьюринга, но и расширение алгоритмов. В частности, известный логик и специалист в области информатики Ю. Гуревич создал специальный вариант расширенных алгоритмов, в котором принципиально описаны и решены проблемы, с которыми справляется машина Гольдин. Однако представители направления интерактивных взаимодействий не представили доказательства о выразимости и решении проблем, с которыми справляется теория алгоритмов Гуревича [7]. Таким образом, вопрос о соотносительной эффективности расширенных машин Тьюринга и расширенных алгоритмов остается открытым.

Отметим, что публикации Вегнера представляют интерес для философски-ориентированных исследователей, так как он характеризует созданную им с коллегами теорию взаимодействующих машин как плодотворный сдвиг исследований в информатике и вообще в науке от рационализма к эмпиризму. В связи с этим представляется актуальным вопрос о выявлении наиболее адекватной философской теории для научных исследований в области информатики. Известно, что информатика – это синтез математики (прежде всего логики) и инженерии. Вегнер, основатель теории взаимодействующих машин Тьюринга, увлекался философией и в студенческие годы получил достаточно серьезную философскую подготовку. В ряде статей он корректно показал, что в философском отношении его теория демонстрирует плодотворность перехода от философии рационализма к философии эмпиризма. Однако в совместной статье Вегнер и Гольдин предприняли попытку обоснования универсальности философии эмпиризма для развития и применения знания в науке и социальной жизни [4]. Обоснование эмпиризма построено на критике несовершенств в достижениях рационалистов в науке, философии и теологии. Так, критикуется чистая математика, так как, по мнению, Вегнера и Гольдин, она верна априори и создана рационалистами. В частности, критикуется программа Гильберта, так как Д. Гильберт был рационалистом, а его программа не была выполнена полностью вследствие результатов критического характера, полученных Геделем и Тьюрингом. Отмечу непоследовательность критики Вегнера и Гольдин: так, они высоко оценивают вышеупомянутые результаты

Тьюринга и Геделя, характеризуя их как эмпирические достижения, хотя бесспорно, что теоремы Геделя о неполноте являются чисто математическими результатами, а Гедель был платоником, и, следовательно, рационалистом. Отмечу, что с защищаемым Вегнером эмпиризмом (даже если ограничиться только наукой) связаны не только достижения, но и неудачи. Так, обратимся к влиятельной эмпирической концепции логического эмпиризма. Известно, что А. Эйнштейн связывал свои достижения в области частной теории относительности с плодотворным влиянием Э. Маха и еще больше Д. Юма [11]. Однако не всегда следование эмпиризму оказывало положительное влияние как на понимание достижений в области физики, так и на собственные открытия в этой области. Известно, что Мах не смог согласиться с открытием атомов, так как оно было получено не на основе чисто экспериментальных исследований. В книге нобелевского лауреата С. Вайнберга приведен пример, когда следование позитивизму не позволило физiku В. Кауфманну стать автором нового открытия электрона [2]. Очевидно, что эмпиризм не является универсальной философией для науки, однако остается актуальным вопрос о наиболее адекватной философской теории для приложений активно развивающихся областей знания, в частности, искусственного интеллекта, статистики и некоторых других.

Заключение

Статья показывает, что одной из тенденций современной информатики является создание и совершенствование теорий расширенных машин Тьюринга и расширенных алгоритмов. Дело в том, что в конце прошлого столетия машины Тьюринга оказались не вполне адекватными для решения ряда проблем информатики: в области параллельных вычислений, Интернета и искусственного интеллекта. Как известно, машины Тьюринга адекватны для исполнения алгоритмов, а вышеперечисленные области информатики предполагают описание и решение проблем, связанных с взаимодействием компьютеров друг с другом, с другими устройствами и с внешней средой. Причем решение этих проблем выходит за рамки возможностей алгоритмизации. Статья показывает, что для решения этих проблем адекватными являются расширения машин Тьюринга: взаимодействующие

нетьюринговые машины Гольдин и расширения концепций алгоритмов, в частности, теории взаимодействующих алгоритмов Гуревича.

Кроме того, я проанализировал философские основания моделей взаимодействия информатики и показал доминирование эмпиризма в основаниях этой области информатики. В работе я критикую на примере физики статус универсальной адекватности любой философской теории для специальных областей знания. Тем самым я показал актуальность по созданию философских теорий, предназначенных для обоснования корректного применения знания в области информатики.

Литература

1. *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004.
2. *Целищев В.В.* История тезиса Черча // Гуманитарные науки в Сибири. 2009. Т. 1. С. 3–8.
3. *Arbab F.* Computing and Interaction // *Interactive Computation: the New Paradigm* / Eds. by D. Goldin, S. Smolka, P. Wegner. Springer-Verlag, 2006.
4. *Goldin D.* Persistent Turing machines as a model of interactive computation // *Foundations of Information and Knowledge Systems* / Eds. by D. Schewe, B. Thalheim. Springer, 2000.
5. *Goldin D., Wegner P.* Principles of Interactive Computation // *Interactive Computation: the New Paradigm* / Eds. by D. Goldin, S. Smolka, P. Wegner. Springer-Verlag, 2006.
6. *Goldin D., Wegner P.* The Interactive Nature of Computing: Refuting the Strong Church–Turing Thesis // *Minds & Machines*. 2008. Vol. 18. P. 17–38.
7. *Gurevich Y.* Interactive Algorithms 2005 with Added Appendix // *Interactive Computation: the New Paradigm* / Eds. by D. Goldin, S. Smolka, P. Wegner. Springer-Verlag, 2006.
8. *Leeuwen J., Wiedermann J.* A Theory of Interactive Computation // *Interactive Computation: the New Paradigm* / Eds. by D. Goldin, S. Smolka, P. Wegner. Springer-Verlag, 2006.
9. *Martin A., Magnaudet M., Conversy S.* Modelling interactive computing systems: Do we have a good theory of what computers are? // *Philosophical Problems in Science*. 2022. Vol. 73. P. 77–119.
10. *Milner R.* Elements of interaction: Turing Award Lecture // *Communications of the ACM*. 1993. Vol. 36 (1). P. 78–89. – URL: <https://doi.org/10.1145/151233.151240> (дата обращения: 21.08.2025).
11. *Norton J.* How Hume and Mach Helped Einstein Find Special Relativity // *Discourse on a new method* / Eds. by M. Domski, M. Dickson. Carus Publishing Company, 2010.
12. *Wegner P.* Towards Empirical Computer Science // *The Monist*. 1999. Vol. 1. P. 58–108.

References

1. *Weinberg, S.* (2004). *Mechty ob okonchatelnoi teoriii*. [Dreams of final theory]. Moscow, Editorial URSS. (In Russ.).
2. *Tselishchev, V.V.* (2009). *Istoriya tezisa Cherkha* [History of Church's thesis]. *Gumanitarnye nauki v Sibiri* [Human sciences in Siberia], Vol. 1, 3–8.
3. *Arbab, F.* (2006). Computing and Interaction. In: Goldin, D., Smolka, S., Wegner, P. (Eds.). *Interactive Computation: the New Paradigm*. Springer-Verlag.
4. *Goldin, D.* (2000). Persistent Turing machines as a model of interactive computation // *Foundations of Information and Knowledge Systems*. In: Schewe, D., Thalheim, B. (Eds.). Springer.
5. *Goldin, D., Wegner, P.* (2006). Principles of Interactive Computation. In: Goldin, D., Smolka, S., Wegner, P. (Eds.). *Interactive Computation: the New Paradigm*. Springer-Verlag.
6. *Goldin, D., Wegner, P.* (2008). The Interactive Nature of Computing: Refuting the Strong Church–Turing Thesis. *Minds & Machines*, 18, 17–38. DOI: 10.1007/s11023-007-9083-1.
7. *Gurevich, Y.* (2006). Interactive Algorithms 2005 with Added Appendix. In: Goldin, D., Smolka, S., Wegner, P. (Eds.). *Interactive Computation: the New Paradigm*. Springer-Verlag.
8. *Leeuwen, J., Wiedermann, J.* (2006). A Theory of Interactive Computation. In: Goldin, D., Smolka, S., Wegner, P. (Eds.). *Interactive Computation: the New Paradigm*. Springer-Verlag.
9. *Martin, A., Magnaudet, M., Conversy, S.* (2022). Modeling interactive computing systems: Do we have a good theory of what computers are? *Philosophical Problems in Science*, 73, 77–119.
10. *Milner, R.* (1993). Elements of interaction: Turing Award Lecture. *Communications of the ACM*, 36 (1), 78–89. Available at: <https://doi.org/10.1145/151233.151240> (date of access: 21.08.25).
11. *Norton, J.* (2010). How Hume and Mach Helped Einstein Find Special Relativity. In: Domski, M., Dickson, M. (Eds.). *Discourse on a new method*. Carus Publishing Company.
12. *Wegner, P.* (1999). Towards Empirical Computer Science. *The Monist*, 18, 58–108.

Информация об авторе

Резников Владимир Моисеевич – Институт философии и права СО РАН
(630090, Новосибирск, ул. Николаева, 8).
mathphil1976@gmail.com

Information about the author

Reznikov, Vladimir Moiseevich – Institute of Philosophy and Law, SB RAS
(8, Nikolaev st., Novosibirsk, 630090, Russia).
mathphil1976@gmail.com

Дата поступления 26.06.2025.
Принята к публикации 01.09.2025.