

УДК: 122

DOI: 10.15372/PS20250513

EDN: ALKQJH

А.Ю. Сторожук

**ПРОБЛЕМА ИЗМЕРЕНИЯ
В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ
С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ**

В статье исследуется проблема измерений в квантовой механике, тесно связанная с принципом неопределённости Гейзенберга и философскими дискуссиями об онтологической или эпистемологической природе квантовой неопределённости. Автор прослеживает эволюцию взглядов на данную проблему – от концепции скрытых параметров Эйнштейна до современных трактовок, рассматривающих измерение как нарушение замкнутости квантовой системы и процесс получения информации. Цель исследования – связать современные трактовки проблемы наблюдения с пониманием М. Планком основных термодинамических величин (в частности, энтропии) и сопоставить его с современным информационным подходом к проблеме квантовых измерений, в основе которого лежит понятие энтропии по Шеннону.

В работе излагается смысл принципа неопределённости Гейзенберга и его интерпретаций (онтологической – Бора и Гейзенберга, эпистемологической – Эйнштейна); показывается связь между термодинамической трактовкой процесса измерения (на основе идей М. Планка) и теорией информации (подход К. Шеннона); проводится сравнительный анализ понятий энтропии у Планка и Шеннона: их физической и информационной интерпретации, области применения и смысловых акцентов; рассматриваются конкретные примеры, иллюстрирующие изменение энтропии системы при удалении частицы (идеальный газ, кристалл при температуре, близкой к абсолютному нулю, система со связанными состояниями).

Основные выводы статьи состоят в том, что энтропия в термодинамике (Планк) и теории информации (Шеннон) имеет общую статистическую природу, но различается по контексту и направлению «неопределённости»: у Планка это свойство системы для наблюдателя, у Шеннона – свойство источника для получателя. Сопоставление термодинамического и информационного подходов открывает перспективы для нового понимания проблемы измерений в квантовой механике через призму теории информации. Значимость работы заключается в междисциплинарном синтезе идей термодинамики, квантовой механики и теории информации, позволяющем глубже осмыслить природу квантовой неопределённости и процесс измерения как информационный обмен.

Ключевые слова: проблема измерения, влияние наблюдателя, энтропия, информатика.

Storozhuk A.Y.

THE MEASUREMENT PROBLEM IN QUANTUM MECHANICS FROM A THERMODYNAMIC POINT OF VIEW

This article explores the problem of measurement in quantum mechanics, closely related to the Heisenberg uncertainty principle and philosophical debates about the ontological or epistemological nature of quantum uncertainty. The author traces the evolution of views on this problem—from Einstein's concept of hidden variables to modern interpretations that view measurement as a violation of the closed nature of a quantum system and a process of obtaining information. The goal of the study is to connect modern interpretations of the observation problem with Max Planck's understanding of fundamental thermodynamic quantities (in particular, entropy) and compare it with the modern information approach to the problem of quantum measurements, which is based on Shannon's concept of entropy. The paper presents the meaning of the Heisenberg uncertainty principle and its interpretations (the ontological interpretation of Bohr and Heisenberg, and the epistemological interpretation of Einstein). The connection between the thermodynamic interpretation of the measurement process (based on the ideas of M. Planck) and information theory (K. Shannon's approach) is demonstrated. A comparative analysis of the concepts of entropy in Planck and Shannon is provided: their physical and informational interpretations, areas of application, and semantic emphases. Specific examples illustrating the change in

a system's entropy upon the removal of a particle (an ideal gas, a crystal at a temperature close to absolute zero, a system with bound states) are considered. The main conclusions of the article are that entropy in thermodynamics (Planck) and information theory (Shannon) have a common statistical nature, but differ in context and the direction of "uncertainty": for Planck, it is a property of the system for the observer, while for Shannon, it is a property of the source for the receiver. The comparison of the thermodynamic and information approaches opens up prospects for a new understanding of the problem of measurements in quantum mechanics through the prism of information theory. The significance of this work lies in its interdisciplinary synthesis of ideas from thermodynamics, quantum mechanics, and information theory, which allows for a deeper understanding of the nature of quantum uncertainty and the measurement process as an information exchange.

Keywords: measurement problem, observer influence, entropy, computer science.

Введение

Проблема измерений в квантовой механике обсуждается в течение длительного времени и тесно связывается с непредсказуемым влиянием наблюдателя на систему. Измерение приводит к воздействию на систему недетерминистическим образом и невозможностью определить одновременно значения связанных параметров с произвольной наперед заданной точностью. Последняя ограничивается принципом неопределенности Гейзенберга: "имеется принципиальный предел для точности определения этих величин в один и тот же момент времени" [1, с. 224]. Этот предел связан со значением постоянной Планка, а произведение неопределенностей сопряженных величин, например, времени и энергии, или импульса и координаты не может быть меньше постоянной Планка.

Философские дискуссии касались источника данной неопределенности: присуща ли она природе *онтологически* или она *эпистемологическая*, то есть возникающая в процессе познания? В первом случае требуется признать в природе нарушение детерминистической причинности и ее принципиально вероятностный характер. Данная позиция вызвала бурный протест со стороны классической интерпретации квантовой механики. По этому по-

воду Эйнштейн сказал: "Бог не играет в кости" и, чтобы объяснить ситуацию неопределенности и вероятностный характер измерений, выдвинул концепцию скрытых параметров. Предложение Эйнштейна смещало рассмотрение данной проблемы в эпистемологическую плоскость, где речь шла о неполноте наших знаний. Однако, позже теория скрытых параметров была экспериментально опровергнута [2, 3, 4], что переместило рассмотрение проблемы измерения в онтологическую сторону.

Было предложено несколько подходов один из которых состоит в том, чтобы рассматривать процесс измерения с термодинамической точки зрения, как нарушение замкнутости квантовой системы, в ходе которого считывается информация. Интересно, что термодинамическая интерпретация процесса измерения близка к пониманию системы самим М. Планком - автором понятия "квант". Поэтому сначала мы обратимся к работам М. Планка, для поиска точек соприкосновения с современными информационными трактовками.

Задачей данной статьи является анализ понимания М. Планком основных термодинамических величин и сравнение с современным пониманием для обнаружения общих черт, которые могут стать в дальнейшем фундаментом для применения информационного подхода, с точки зрения которого будет рассматриваться проблема измерения в квантовой механике.

М. Планк занимался разработкой Термодинамики и решал проблему излучения абсолютно черного тела, известную как ультрафиолетовая катастрофа. Чтобы достичь соответствия с экспериментом, он вводит некую константу h , получившую в дальнейшем название постоянной Планка. Позже квант интерпретируется как порция поглощаемой и излучаемой энергии. Величина, непрерывная в термодинамике, становится дискретной при привязке ее Бором к строению атомов и требуется новый математический аппарат – операторы. Действие оператора описывает процедуру измерения, но операторы непрерывны. То обстоятельство, что операторы не коммутируют, находит свое выражение в принципе неопределенности Гейзенберга.

Принцип неопределенности говорит о невозможности получения полной информации о системе: чем точнее измеряется одна величина, тем менее определенной оказывается коммутирующая

с нею. Физики ведут философские дискуссии о принципе неопределенности, трактуя его либо только в эпистемологическом ключе, как делает Эйнштейн развивая теорию скрытых параметров (Бог не играет в кости), либо в онтологическом, как Бор и Гейзенберг. Последняя интерпретация противоречит классическому пониманию детерминистической причинности, так как допускает онтологическое существование в природе вероятности и случайности.

Неопределенность квантовых систем начинают связывать с процедурой измерения. Активно обсуждается проблема измерения в квантовой механике и влияние наблюдателя. В 2000-е гг. измерение в квантовой механике рассматривают как нарушение замкнутости системы в процессе получения информации о системе. Параллельно квантовой теории развивается информатика и математическая теория информации где фигурирует понятие энтропии по Шеннону.

Цель статьи состоит в том, чтобы сравнить понятие энтропии Планка и понятие энтропии по Шеннону, а затем, с точки зрения этого сравнения, рассмотреть проблему измерений.

Основные идеи М. Планка в области термодинамики

Пытаясь применить классическую механику для описания тепловых явлений, М. Планк столкнулся с тем, что ее недостаточно для описания ряда процессов. Переосмысляя формулировку Клаузиусом первого начала термодинамики, Планк замечает недостаточность первого закона. Первый закон (сохранение энергии) не может определить, в каком направлении пойдет процесс (например, будет ли тепло перетекать от горячего тела к холодному или наоборот). Он лишь требует равенства энергий.

Но для ряда тепловых процессов характерна необратимость, которую вводит второй закон термодинамики. Он принципиально отличается от первого закона (закона сохранения энергии) тем, что он определяет направление, в котором происходят процессы в природе. Процесс считается необратимым, если невозможно вернуть и систему, и окружающие тела в исходное состояние, не оставив никаких других изменений. Примерами необратимых

процессов являются выделение тепла из-за трения, расширение газа, теплопроводность (передача тепла от горячего тела к холодному). Планк подчеркивает, что безнадежно пытаться вывести второй закон из принципов механики (например, из стремления потенциальной энергии к минимуму), так как в термодинамике не обнаружено состояния с абсолютным минимумом энергии, которое бы однозначно определяло направление всех процессов. Второй закон термодинамики – это не следствие определений или манипуляций с понятием энергии, а самостоятельный закон природы, основанный на экспериментальных фактах и формулируемый в виде проверяемых утверждений о необратимости определенных процессов. «Процесс, который никоим образом не может быть полностью обратим, называется необратимым, все остальные процессы – обратимыми. Для того, чтобы процесс был необратимым, недостаточно того, чтобы его нельзя было непосредственно обратить. Это относится к многим механическим процессам, которые не являются необратимыми (ср. § 113). Полное требование состоит в том, чтобы было невозможно, даже с помощью всех факторов природы, восстановить везде точное начальное состояние, когда процесс когда-то произошел. [5, 83]. Таким образом, второй закон термодинамики – это независимый и фундаментальный принцип, устанавливающий "стрелу времени" для природных процессов через критерий необратимости, который не выводим из одного лишь закона сохранения энергии.

Первый закон термодинамики (закон сохранения энергии) был сформулирован как принцип, доказывающий невозможность вечного двигателя, совершающего полезную работу. Первоначально Планк действует по аналогии, привязывая формулировку второго закона к невозможности вечного двигателя второго рода, основанного на циклической передаче тепла. План указывает на необратимость процесса передачи тепла от более горячего тела к более холодному. «Поток тепла всегда направлен от более горячего к более холодному. Опять же, частным случаем этого типа процесса является прямая передача тепла посредством теплопроводности между тепловыми резервуарами, без какого-либо фактического участия системы, которая должна пройти через цикл операций. Видно, что это необратимое изменение, поскольку оно приводит к увеличению суммы энтропий двух тепловых резервуаров» [5, с. 108].

Затем Планк отходит от чисто термодинамических формулировок к формулировке комбинаторной, когда энтропия начинает пониматься как мера неупорядоченности системы. «Энтропия, подобно температуре, давлению и плотности, не может быть определена как абсолютная, непрерывная величина, а как некое среднее значение большого числа отдельных величин» [5, с. 104]. Классическое статистическое определение энтропии по Больцману-Планку: $S = k * \ln(W)$, где W – число микросостояний системы, а k – постоянная Больцмана (равна $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

Таким образом, второй закон термодинамики, фундаментально независим от эмпирических явлений. Подобно первому закону, который утвердился не просто как обобщение экспериментальных данных о вечном двигателе, а как самостоятельный и непреложный принцип, второй закон – с его принципом возрастания энтропии – также претендует на статус объективного естественного закона, существующего независимо от человеческого разума. Последующее применение принципа энтропии к анализу цикла Карно для систем любого рода является ярким примером такого плодотворного пути, ведущего к углублению понимания природы.

Проблема измерений в квантовой механике

Одной из актуальных проблем квантовой механики является проблема измерений. В последние годы появилась попытка трактовать процесс измерения как нарушение замкнутости квантовой системы [6]. Данная трактовка отходит от традиционного понимания процесса измерения в копенгагенской интерпретации, когда наблюдатель рассматривался как часть системы, а квантовое описание распространялось на всю систему. Согласно новой трактовке, система теряет энергию в процессе измерения параметров частицы, то есть получение информации о системе приводит к нарушению ее замкнутости.

Данная интерпретация процесса измерения связывает квантовую систему, с одной стороны, с термодинамикой, а с другой стороны, с теорией информации.

Как было указано выше, термодинамическое понимание системы было особенно близко основателю квантовой теории М. Планку который занимался проблемами термодинамики. Собственно, само понятие «квант» и постоянная Планка было введено при решении проблемы излучения абсолютно черного тела. Планку принадлежит интерпретация второго начала и формулировка третьего начала термодинамики, а так же статистическая интерпретация понятия энтропии.

Первые идеи о «физичности» информации появляются в мысленном эксперименте, известном как «Демон Максвелла». Демон совершает работу по разделению газа на холодные и горячие молекулы, на основе информации об их скоростях. В истории науки связь между термодинамикой и информацией подробно анализировалась на заре формирования кибернетики.

Изучая процессы передачи информации, Н. Винер отмечал, что передаваемое сообщение часто искажают посторонние помехи, шумовой фон. Поэтому передача информации возможна лишь как передача альтернатив, расшифровка которых возможна лишь с некоторыми погрешностями. Тем самым системы связи следует рассматривать статистически. Поэтому Винеру пришлось «разрабатывать статистическую теорию количества информации. Понятие количества информации совершенно естественно связывается с классическим понятием статистической механики – понятием энтропии. Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком» [7, с. 55].

То есть, информация, понимаемая как выбор одной из многих альтернатив, «отождествляется Винером с отрицательной энтропией и становится, подобно количеству вещества или энергии, одной из фундаментальных характеристик явлений природы. Таков второй краеугольный камень кибернетического здания. Отсюда толкование кибернетики как теории организации, как теории борьбы с мировым хаосом, с роковым возрастанием энтропии. Действующий объект поглощает информацию из внешней среды и использует ее для выбора правильного поведения. Информация никогда не создается, она только передается и принимается, но при этом может утрачиваться,

исчезать. Она искажается помехами, “шумом”, на пути к объекту и внутри его и теряется для него. Борьба с энтропией – борьба с шумом, искажающим информацию» [7, с. 17].

Поскольку квантовое измерение представляет собой получение информации, то есть понижение энтропии измерительного прибора, постольку квантовая система претерпевает обратное воздействие в ходе процесса измерения: рост энтропии и потерю энергии. В связи с повышением энтропии измерение квантовой системы меняет ее состояние необратимым образом. Человек воздействует на свободную эволюцию квантовой системы, **«гася энтропию извлеченной из окружающей среды отрицательной энтропией – информацией. Познание – часть жизни, более того – самая ее суть. “Действенно жить – это значит жить, располагая правильной информацией”»** [7, с. 41].

Винер писал, что если некоторая функция может принимать «одинаковые значения при разных значениях аргумента, или в случае функции нескольких переменных позволяем некоторым из них свободно пробегать их естественную область изменения, мы теряем информацию. Никакая операция над сообщением не может в среднем увеличить информацию. Здесь мы имеем точное применение второго закона термодинамики к технике связи. Обратно, уточнение в среднем неопределенной ситуации приводит, как мы видели, большей частью к увеличению информации и никогда – к ее потере» [7, с.125].

Заметим лишь, что понятие энтропия у Планка и в теории информации у Шеннона [8] имеет несколько различий. Так область применения понятия энтропии у Планка - физические системы: газы, кристаллы, излучение. У Шеннона применение энтропии происходит к системам связи и зашумленным каналам, искажающим данные пересылаемых сигналов.

Планк описывает, прежде всего, меру необратимости процесса и рассеяния энергии. Позже Планк дает статистическую интерпретацию энтропии, связывая последнюю с числом возможных состояний системы: степень беспорядка, неопределенности в расположении и движении частиц (молекул, атомов). Шеннон характеризует степень неопределенности, неожиданности или информационной насыщенности сообщения, а также меру количества информации. Например, сигнал, состоящий из

одних единиц имеет низкую информативность и высокую упорядоченность, то есть характеризуется низкой энтропией. А вот сигнал, состоящий из случайной последовательности символов, имеет высокую информативность и высокую энтропию. В данном случае энтропия характеризует степень неопределенности в выборе следующего символа. Чем менее предсказуемо следующее сообщение (или символ в нем), тем выше его информационная энтропия.

Планк вывел формулу Больцмана $S = k \ln(W)$, где S – энтропия, k – постоянная Больцмана, W – число микросостояний. Здесь энтропия – это логарифм числа микросостояний (W), которые соответствуют одному макросостоянию системы. Эта формула связывает энтропия со степенью неупорядоченности данной системы. Чем больше способов (микросостояний) реализовать данное макросостояние, тем выше энтропия. Микросостояние – это точное описание состояния каждой отдельной частицы (ее положение, скорость). Например, точные координаты и скорости всех молекул воздуха в комнате. Предоставленная самой себе система стремится прийти к самому вероятному состоянию – состоянию хаоса и беспорядка. Наибольшую энтропию имеет газ, наименьшую – правильный кристалл.

Формула Шеннона для энтропии:

$$H = - \sum p_i * \log_2(p_i)$$

где H – энтропия, p_i – вероятность появления i -го символа.

Формула Шеннона является обобщением и абстракцией статистического подхода Планка-Больцмана. Если все микросостояния равновероятны, формулы становятся математически эквивалентными (с точностью до константы и основания \log). Энтропия – это средняя "степень неожиданности" символа в сообщении. Она измеряет неопределенность того, какое сообщение будет передано. Высокая энтропия по Шеннону означает, что каждый следующий символ сообщения непредсказуем. Сообщение несет много информации. Низкая энтропия означает, что сообщение предсказуемо и содержит мало новой информации. Таким образом, энтропия – это мера потенциальной "информационной емкости" источника, мера неожиданности посылаемых сообщений.

В итоге мы видим, что оба подхода оперируют вероятностями. И Планк, и Шеннон используют логарифмическую меру для описания неопределенности, связанной с распределением вероятностей. Формула Шеннона – это гениальное обобщение статистической физики на абстрактный мир информации. Эта глубокая связь показывает, что понятия порядка, хаоса и информации фундаментально связаны в нашем мире.

Дополнительным мостом между термодинамикой и теорией информации может послужить принцип Ландауэра, согласно которому при любой логически необратимой операции по манипулированию информацией, такой как стирание небольшого количества памяти, энтропия увеличивается, и соответствующее количество энергии рассеивается в виде тепла. Поскольку любая вычислительная операция сопровождается записью данных в память и последующим стиранием их оттуда, необходимо затрачивать энергию на проведение данной операции. Рассеивание энергии и рост энтропии указывают на термодинамическую необратимость данной операции с информацией [9].

Заключение

Проблема измерений в квантовой механике – одна из ключевых и наиболее дискуссионных тем современной физики. Многолетние дискуссии по поводу фундаментальных физических принципов (прежде всего – принципа неопределённости Гейзенберга) и философских интерпретаций природы квантовой неопределённости (онтологической и эпистемологической) не достаточно для удовлетворительного решения. Анализ показал, что для её полного осмысления необходимо применять междисциплинарные подходы, связывающие квантовую механику с термодинамикой и теорией информации.

В итоге была выявлена глубинная связь между термодинамическим подходом М. Планка и информационным подходом К. Шеннона, оба из которых оперируют понятием энтропии как меры неопределённости, но в разных контекстах (характеристика необратимости процессов физической системы, или непредсказуемость источника сообщений). Математические формулировки

($S=k*\ln(W)$ у Планка и $H=-\sum p_i*\log_2(p_i)$ у Шеннона) имеют общую статистическую природу, различаясь лишь интерпретацией вероятностей и областью применения. Их математическое родство намекает на глубинную связь между бытием и знанием: процесс измерения в квантовой механике оказывается не просто «считыванием» данных, а созданием информации через взаимодействие наблюдателя и системы.

Сопоставление энтропии Планка и Шеннона открывает неожиданную перспективу в области метафизические следствий. Во первых, реальность предстает как процесс, где акт наблюдения – не пассивное созерцание, а активное участие в формировании действительности. Поднимается вопрос границы объективности. Идея «объективной реальности, независимой от наблюдателя» оказывается иллюзией. Мы не можем отделить познающего от познаваемого – они взаимодействуют и в ходе их взаимодействия возникает не только информация о реальности, но и ее новые состояния.

Обоснована применимость информационного подхода к проблеме измерений: сопоставление термодинамической и информационной энтропии позволяет трактовать процесс измерения как обмен информацией между системой и наблюдателем, что открывает новые пути для понимания квантовой неопределённости. По крайней мере этот подход позволяет преодолеть подход Н.Бора, рассматривавшего наблюдателя в качестве части квантовой системы, что приводило к появлению субъективистских трактовок и введению неопределенного состояния наблюдателя.

Проведённый анализ подтверждает, что проблема измерений в квантовой механике не сводится к чисто физическому вопросу, а затрагивает фундаментальные аспекты познания: природу случайности и детерминизма; роль наблюдателя в формировании и влиянии на реальность; границы применимости классических понятий в микромире.

Междисциплинарный синтез идей термодинамики, квантовой механики и теории информации демонстрирует, что квантовая неопределённость имеет не только операциональный, но и информационный смысл. При этом процесс измерения можно рассматривать как снятие неопределённости (в шенноновском смысле) через взаимодействие системы с прибором.

Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к:

- созданию более целостной интерпретации квантовой механики;
- разработке новых экспериментальных методик, учитывающих информационный аспект измерений;
- углублению понимания связи между физическими процессами и обработкой информации на фундаментальном уровне.

Таким образом, проблема измерений остаётся живой исследовательской зоной, где физика, философия и теория информации взаимно обогащают друг друга, открывая новые горизонты познания природы реальности.

Литература

1. Вихман Э. Квантовая физика. Берклевский курс физики. т. IV. – М.: Наука, 1977.
2. *Einstein, A.; Podolsky, B.; Rosen, N.* (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Physical Review*. Vol. 47, №10. P. 777–780.
3. *Bell, J. S.* On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. // *Reviews of Modern Physics*. 1966. Vol. 38, № 3. P. 447–452.
4. *Clauser, J. F.* Experimental Investigation of a Polarization Correlation Anomaly. *Phys. Rev. Lett.* 36, 1223 – Published 24 May, 1976 DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.36.1223>.
5. *Planck, M.* Treatise on thermodynamics, 1858-1947; Topics Thermodynamics. - London: Longmans, Green Collection cdl; americana Contributor University of California Libraries. 1903.
6. *Желтиков А.М.* Критика квантового разума: измерение, сознание, отложенный выбор и утраченная когерентность // УФН. 2018. Т. 188. № 10. С. 1119-1128.
7. *Винер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. – 2-е издание. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983.
8. *Shannon, C. E.* A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27, № 3. P. 4190487/
9. *Landauer, R.* (1961). Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. // *IBM Journal of Research and Development*. №5. P. 183–191.

References

1. *Wichmann, E. H.* (1971) Quantum physics (Berkeley physics course) Vol. 4. Hardcover.
2. *Einstein, A.; Podolsky, B.; Rosen, N.* (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Physical Review*. Vol. 47, №10. P. 777–780.
3. *Bell, J. S.* On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. // *Reviews of Modern Physics*. 1966. Vol. 38, № 3. P. 447–452.
4. *Clauser, J. F.* Experimental Investigation of a Polarization Correlation Anomaly. *Phys. Rev. Lett.* 36, 1223 – Published 24 May, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.36.1223>.
5. *Planck, M.* Treatise on thermodynamics, 1858-1947; Topics Thermodynamics. - London: Longmans, Green Collection cdl; americana Contributor University of California Libraries. 1903.
6. *Zheltikov, A. M.* Criticism of Quantum Mind: Measurement, Consciousness, Delayed Choice, and Lost Coherence. // *Physics-Uspokhi*, 2018, vol. 188, no. 10, P. 1119-1128. (In Russ)
7. *Wiener, N.* (1948). *Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
8. *Shannon, C. E.* A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27, № 3. P. 4190487/
9. *Landauer, R.* (1961). Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. // *IBM Journal of Research and Development*. № 5. P. 183–191.

Информация об авторе

Сторожук Анна Юрьевна – доктор философских наук. ИФПР СО РАН, Россия 630090, г. Новосибирск, ул. Николаева, 8.
stor71@mail.ru

Information about Author

Storozhuk Anna Yurievna – Doctor of Philosophy. IFPR SO RAN, Russia 630090, Novosibirsk, Nikolaeva str., 8.
stor71@mail.ru

Дата поступления 12.11.2025
Принята к печати 11.12.2025