

Изучение концепции информации студентами ИТ-направлений

О. А. Кузенков

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Адрес: 603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

Kuzenkov_o@mail.ru

Аннотация

Введение. Несмотря на отсутствие в настоящее время научного консенсуса относительно содержания термина «информация», при обучении студентов ИТ-направлений существует потребность в формировании рабочего, достаточно строгого понимания этого термина, имеющего практическое значение в области информационных технологий. Для совершенствования подготовки студентов ИТ-направлений, достижения большей логичности и последовательности обучения целесообразно включать вопросы, касающиеся определения информации, в программы учебных дисциплин при их модернизации. Целью настоящего исследования является формирование рабочего определения понятия «информация», приемлемого и полезного для студентов, обучающихся по ИТ-направлениям, а также методики освоения концепции информации в процессе их подготовки.

Материалы и методы. Основной метод исследования состоит в логическом анализе сложившихся представлений об информации, значимых для сферы информационных технологий. Материалами исследования являются существующие концепции информации. В ходе проведенного анализа рассмотрена связь понятия информации с сокращением числа альтернатив, с изменением неоднородности распределения, учтена возможность отображения как важнейшее свойство информации.

Результаты исследования. Сформулированное в результате проведенного исследования рабочее определение информации достаточно широко, охватывает практически значимые для информационных технологий случаи и допускает возможность использования в широком круге дисциплин профессионального цикла при подготовке студентов ИТ-направлений. Предлагаемое определение является достаточно простым и понятным и в то же время строго математическим. Оно вполне доступно студентам ИТ-направлений на самых первых курсах обучения. Такое объяснение информации представляется удобным и полезным для обучения. Такой подход к определению информации вполне конструктивен.

Обсуждение и заключение. Использование выработанного в результате исследования подхода к понятию информации может быть эффективным методическим приемом в образовательном процессе. В то же время это определение не претендует на абсолютную универсальность; оно не рассматривает гуманитарные, социальные, юридические и философские аспекты информации, составляющие предмет дисциплин социально-гуманитарного цикла. Показано, как разработанный подход может использоваться при модернизации программ учебных дисциплин подготовки студентов ИТ-направлений.

Ключевые слова: информация, распределение, неоднородность, разнообразие, упорядоченность, энтропия, отображение, ИТ-образование

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кузенков О. А. Изучение концепции информации студентами ИТ-направлений // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19, № 1. С. 013-023. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.013-023>

©Кузенков О. А., 2023



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Studying the Concept of Information by IT-Students

O. A. Kuzenkov

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Address: 23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation

Kuzenkov_o@mail.ru

Abstract

Introduction. Despite the current lack of scientific consensus on the content of the term “information”, when teaching IT students there is a need to form a working, fairly rigorous understanding of this term, which has practical significance in the field of information technology. To improve the training of students in IT areas, to achieve greater consistency and consistency of training, it is advisable to include questions related to the definition of information in the programs of academic disciplines during their modernization. The purpose of this study is to form a working definition of the concept of “information”, acceptable and useful for students studying in IT areas, as well as a methodology for mastering the concept of information in the process of their preparation.

Materials and Methods. The main method of research is the logical analysis of the prevailing ideas about information that are significant for the field of information technology. The research materials are the existing concepts of information. In the course of the analysis, the connection between the concept of information and the reduction in the number of alternatives, with a change in the heterogeneity of distribution was considered, the possibility of displaying as the most important property of information was taken into account.

Results. The working definition of information formulated as a result of the study is quite broad, it covers cases that are practically significant for information technology and allows the possibility of using it in a wide range of disciplines of the professional cycle in the preparation of students in IT areas. The proposed definition is quite simple and understandable, and at the same time strictly mathematical. It is quite accessible to students of IT areas in the very first courses of study. Such an explanation of information seems to be convenient and useful for learning. This approach to the definition of information is quite constructive.

Discussion and Conclusion. The use of the approach to the concept of information developed as a result of the study can be an effective methodological technique in the educational process. At the same time, this definition does not claim to be absolute universality; it does not consider the humanitarian, social, legal and philosophical aspects of information that are the subject of the disciplines of the socio-humanitarian cycle. It is shown how the developed approach can be used to modernize the programs of academic disciplines for training students in IT areas.

Keywords: information, distribution, heterogeneity, diversity, orderliness, entropy, mapping, IT education

Conflict of interests: The author declares no conflict of interest.

For citation: Kuzenkov O.A. Studying the Concept of Information by IT-Students. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(1):013-023. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.013-023>



Введение

Понятие информации является системообразующим для подготовки специалистов в области информационно-телекоммуникационных технологий. Не случайно термин «информация» и производные от него «информационный», «информатика» выносятся в названия образовательных направлений. Тем самым подчеркивается центральная, ведущая роль понятия информации при формировании специалистов в данной области, центральное значение ее в профессиональной области и профессиональной деятельности будущих выпускников¹. Этот термин существенно используется в целом ряде учебных дисциплин, таких как «Теория информации», «Защита информации», «Теория вероятностей», «Теория управления», «Социальные и этические вопросы информационных технологий» и др.

Однако в существующих программах подготовки зачастую не уделяется должного внимания содержанию этого понятия и его определению. Часто это понятие никак не определяется, ограничиваются лишь интуитивным пониманием его. Иногда понятие информации отождествляется с данными, иногда информацию объясняют как «сведения», что, конечно, не решает проблему строгости определения, а просто заменяет одно неопределенное понятие на другое столь же неопределенное. Можно привести несколько примеров объяснения термина «информация» в различных курсах, разработанных НОУ «ИНТУИТ». Курс «Основы информатики»: «Понятие информации является наиболее сложным для понимания и обычно во вводных курсах информатики не определяется, принимается как исходное базовое понятие, понимается интуитивно... Информация – это некоторая упорядоченная последовательность сообщений, отражающих, передающих и увеличивающих наши знания»². Курс «Практическая информатика»: «Стоит отметить, что абсолютно точное определение информации дать невозможно... В любом виде информация для нас выражает сведения о ком-то или о чем-то»³. Курс «Основы теории информации и криптографии»: «Информация – нематериальная сущность, при помощи которой с любой точностью можно описывать реальные (материальные), виртуальные (возможные) и понятийные сущности. Информация – противоположность неопределенности»⁴. Иногда говорится, что понятие информации является неопределимым, подобно тому, как в геометрии не определяются основные понятия «точка» и «прямая». Но эта аналогия некорректна, поскольку неопределимые понятия математики вводятся через систему аксиом, однозначно определяющих их свойства

по отношению друг к другу. А для информации никаких аксиом не задается.

Разработчики учебных курсов по прикладной и фундаментальной информатике намеренно уходят от объяснения этого понятия, ограничиваясь интуитивными представлениями обучающихся. Объясняется это чрезвычайной широтой и многозначностью этого понятия, отсутствием в настоящее время научного консенсуса относительно его содержания⁵. Существует более 500 различных определений этого понятия. Исчерпывающе определить его строго в настоящее время не представляется возможным [1]. Продолжают появляться новые подходы к определению информации⁶. Сейчас термин «информация» используется не только в точных, но и в гуманитарных науках. Сложилось философское направление, посвященное изучению информации [2-5].

При этом складывается парадоксальная ситуация – подготовка специалистов, формирующая осознанное отношение к проблеме, требующая строгости выводов, развивающая логичность действий, в качестве основного понятия имеет нечто туманное, интуитивное и неопределенное. Тем самым наблюдается явное противоречие между основными целями обучения и методическим подходом к их достижению.

В настоящее время осознается неудовлетворительность сложившейся ситуации. Продолжаются попытки дать определение информации с позиций объектно-ориентированного подхода в области программирования [6], обсуждаются разные подходы к ее определению [7-11]. Ощущается потребность в разработке рабочего, достаточно строгого понимания информации, пусть не универсального и всеобъемлющего в философском смысле, но имеющего практическое значение для студентов ИТ-направлений. При разработке первого самостоятельного устанавливаемого образовательного стандарта по направлению «Прикладная информатика» в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского требование понимания сущности информации было включено в систему профессиональных компетенций выпускника: ПК-1 «Способность понимать сущность информации и ее значение в развитии современного информационного общества, проводить оценку ее количества и смысла, оперировать с разными видами информации» [12].

Целью настоящего исследования является формирование рабочего определения понятия «информация», приемлемого и полезного для студентов, обучающихся по ИТ-направлениям, а также методики освоения концепции информации в процессе их подготовки.

¹ Информатика как наука об информации: Информационный, документальный, технологический, экономический, социальный и организационный аспекты / Р. С. Гиляревский, И. И. Родионов, Г. З. Залаев, В. А. Цветкова, О. В. Барышева, А. А. Калинин; под ред. Р. С. Гиляревского; авт.-сост. В. А. Цветкова. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2006. 592 с.

² Казиев В. М. Информация, ее представление и измерение [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ», 2022. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/108/108/lecture/3139> (дата обращения: 12.11.2022).

³ Роганов Е. А. Практическая информатика [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ», 2022. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/103/103/lecture/27963> (дата обращения: 12.11.2022).

⁴ Лидовский В. В. Основы теории информации и криптографии [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ», 2022. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/2256/140/lecture/3906> (дата обращения: 12.11.2022).

⁵ Моисеев Н. Н. Современный рационализм. М.: МГВПКОКС, 1995. 376 с.

⁶ Vigo R. Mathematical Principles of Human Conceptual Behavior: The Structural Nature of Conceptual Representation and Processing. New York: Taylor & Francis, 2014. 260 p. doi: <https://doi.org/10.4324/9781315882772>



Материалы и методы

Для того, чтобы корректно сформулировать рабочее определение информации, необходимо проанализировать исторические подходы ее понимания. Основной метод исследования состоит в логическом анализе сложившихся представлений об информации, имеющих значение в области информационных технологий. Материалами исследования являются существующие концепции информации⁷.

Термин «информация» происходит от латинских слов «informatio» и «informatum», которые в свою очередь образованы путем сложения префикса «in» («в») и корня «form» («форма»). Дословно он переводится как «приведение в форму», «придание формы», «придание вида», а также «придание образа мысли». Вероятно, один из наиболее близких аналогов в русском языке для этого термина является «образование». В разных контекстах оно означает и процесс придания формы (в том числе, придание образа мысли, процесс обучения) и результат этого процесса (в том числе, приобретенный запас знаний и умений) и источник, организатор этого процесса (например, система, осуществляющая обучение). Исторически термин «информация» тесно связан с понятием «форма», игравшего важную роль в античной философии. У Аристотеля форма понималась как внутреннее начало. Согласно Аристотелю, форма делает материю предметом, которая сама по себе есть лишь *στέρησις* (лишение).

Философские представления о форме развивались от внешней пространственной конфигурации, геометрической характеристики, пространственной протяженности объекта к его внутренней организации, порядку, системе связей между его составными частями. Порядок является формальным понятием, определяющим отношением между элементами некоторого множества – кроме линейного порядка, существуют лексикографический порядок, шахматный порядок и т.п. Систему связей между составными частями объекта нередко описывают с помощью графа.

Интересно отметить, что Платон и Аристотель, следуя Пифагорейскому учению, допускали возможность выражения формы в виде числа. Действительно, числом удобно выразить ряд характерных пространственных пропорций, образующих форму предмета, например, известное «золотое сечение».

При этом придание формы, «информирование» усматривалось в процессе образования отпечатка на воске посредством воздействия матрицы-печати, создание сосуда гончаром из глины, создание скульптуры из куска мрамора. Со времен античных авторов рассматривалась аналогия между воском, способным принимать форму печати без восприятия самого вещества, из которого сделана печать, и процессом познания, когда чувства приобретают некоторую форму в результате материального воздействия, не отождествляясь с самим этим воздействием. В целом, «информация» ассоциировалась с переводом объекта из одного состояния в другое, при котором происходит усложнение структуры (приобретение новой формы), упорядочение, а также новое состояние по отношению к исходному.

Постепенно в качестве такового преимущественно стал рассматриваться процесс информирования человека. «Информация» стали понимать не как придание формы чему-либо вообще, а как придание формы мысли, формирование образа мышления, сообщение знаний. «Информация» приобрела основное значение – наставление, инструкция, директива.

К XIX веку, когда термин «информация» прочно вошел в европейские языки, он имел три основных значения⁸.

1. Информация – процесс информирования. В известном романе Д.Дефо XVIII века Робинзон Крузо называет процесс обучения Пятницы «информацией» (Дефо, 1719).

2. Информация – это состояние агента в результате информирования. «Человек информации» означало то же, что и человек, получивший образование. Например, в романе Дж. Остен «Эмма» читаем «Мистер Мартин, я полагаю, не человек информации... Он не читает» (J. Austen 'Emma', 1815).

3. Информация – это способность объекта информировать агента, источник информирования. Например, в сочинении К. Дойля говорится «... друг Лестрейд держал в руках информацию, ценность которой он сам не знал». («Приключение благородного холостяка», Конан Дойл, 1892)

При этом оставался открытым вопрос: как формализовать степень упорядоченности, сложность структуры? Иными словами, как формализовать информацию?

Подходы к решению этого вопроса были заложены в работах Л.Больцмана. В XIX веке в связи с развитием термодинамики было введено понятие энтропии – необратимого рассеяния энергии тела, утрату возможности совершать за счет ее полезной работы, деградацию энергии. Энтропию стали рассматривать как меру неупорядоченности, меру хаоса. Л. Больцман показал, что энтропия, пропорциональна логарифму от количества возможных микросостояний частиц этого тела.

Увеличение числа возможных микросостояний приводит к увеличению энтропии, хаоса, беспорядка, наоборот, уменьшение их числа приводит к повышению упорядоченности. Таким образом, об уровне порядка в данном макросостоянии можно судить по количеству соответствующих возможных микросостояний. Очевидно, что появление связей между некоторыми частицами, уменьшает число их степеней свободы, что ведет к уменьшению числа возможных микросостояний и снижению энтропии. Также наличие некоторой упорядоченности в положениях множества частиц тела снижает число их степеней свободы и следовательно, снижает энтропию.

Впоследствии в XX веке Р. Хартли и К. Шеннон использовали те же формулы, предложенные Л. Больцманом, для расчета информационной энтропии и количества информации [13-14]. В 1948 году К. Шеннон опубликовал первую статью по теории коммуникаций, которая положила начало развитию математической теории информации [14]. Под информационной энтропией он понимал неопределенность исхода или состояния. Далее Л. Бриллюэн рассматривал информацию как отрицание информационной энтропии, отрицательную энтропию или неэнтропию [15]. То есть информация связывается с неопределенностью. Аксиоматически информационную энтропию

⁷ Adriaans P. Information [Электронный ресурс] // The Stanford Encyclopedia of Philosophy; ed. by E. N. Zalta, U. Nodelman. Stanford University, 2020. URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/information> (дата обращения: 12.11.2022).

⁸ Там же.



в 1953 г. определил А.Я. Хинчин как функцию распределения вероятностей [16]. Однако в этом случае она неразрывно связывалась со случайностью, что сокращало область ее приложений. УР. Эшби обратил внимание, что источником информации является разнообразие элементов некоторого множества – разнообразие состояний системы или разнообразие исходов в некоторой ситуации⁹.

Кроме магистральных подходов К. Шеннона и Р. Хартли появились альтернативные подходы к информации в работах Р. Фишера и А.Н. Колмогорова. Фишер понимал информацию как математическое ожидание квадрата относительной скорости изменения условной плотности вероятности [17]. А.Н. Колмогоров определял количество информации в двоичной строке как длину кратчайшей программы, которая производит эту строку на эталонной универсальной машине Тьюринга [18]. Дж. Фон Нейман в связи с работами в области квантовой механики ввел понятие квантовой энтропии, что положило начало развитию новой ветви в теории информации – квантовой информации, для измерения количества которой была принята новая единица – кубит [19].

Во второй половине XX века в России в связи с возрастанием интереса к понятию информации сформировались несколько философских подходов, пытавшихся объяснить ее сущность. Первый из них получил название атрибутивного. Последователи этого направления рассматривали информацию как атрибут материи. Одним из наиболее известных определений в рамках этого направления было определение А.Д. Урсула: «информация это отраженное разнообразие»¹⁰. К этому подходу можно отнести предварявшие его взгляды В.М. Глушкова: «Информация в самом общем ее понимании представляет собою меру неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени, меру изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы. ... Информацию несут в себе не только испещренные буквами листы книги или человеческая речь, но и солнечный свет, складки горного хребта, шум водопада, шелест листьев... Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой какую-то информацию. С понятием информация в кибернетике не связано обязательно свойство ее осмысленности в обычном житейском понимании. В научном плане понятие информация охватывает как те сведения, которыми люди обмениваются между собой, так и сведения, существующие независимо от людей. Скажем, звезды существуют независимо от того, имеют люди информацию о них или нет. Существуя объективно, они создают определенную неоднородность в распределении вещества и поэтому являются источником информации»¹¹.

Второй подход получил название функционального. Он утверждает, что информация существует только в сложных

самоорганизующихся системах, например, живых организмах. Функциональный подход «ограничивает сферу информационных процессов и применимости понятия информации лишь к самоорганизующимся системам, начиная с биологических»¹². Третий подход считает, что информация присуща только человеку, имеет место только в человеческом сознании. Он во многом восходит к тому пониманию информации, которое изложил Н. Винер в своей книге «Кибернетика»: «Информация – обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств»¹³. Правда, в этом случае содержание информации ставится в зависимость от воспринимающего субъекта, подвергается сомнению объективность информации. Вероятно, студентам, обучающимся по ИТ-направлениям, было бы полезно познакомиться с такими подходами. К сожалению, в стандартных программах по философии, ориентированных на подготовку бакалавров информационных технологий, эти вопросы, непосредственно связанные с профессиональной областью будущих выпускников, никак не затрагиваются. Но, с другой стороны, непосредственное использование философских дефиниций в специальных дисциплинах, связанных с информационными системами и процессами, представляется крайне затруднительным и непродуктивным. Необходимо сформировать такое определение, которое не противоречит классическим подходам и соответствует тому содержанию, которое вкладывается в это понятие в прикладных задачах.

Простейшее рабочее определение информации на основе формулы Хартли

Поскольку первыми и простейшими фактами из теории информации, с которыми знакомятся студенты ИТ-направлений, являются классические формулы К.Шеннона и Р.Хартли, начать решение вопроса о содержании информации, с методической точки зрения, целесообразно, опираясь именно на эти формулы.

К.Шеннон и Р.Хартли не давали определения информации. В их работах приводилась лишь количественная мера информация. Проанализируем известную формулу Хартли для расчета количества информации. Рассмотрим, например, шахматную доску и одну фигуру, стоящую на ней. Если известно положение (клетка), которое занимает эта фигура, то мы имеем $\log_2 64 = 6$ бит информации. Но информация будет разной, в зависимости от положения фигуры. Это может быть e_2 или s_4 , и это будет разная информация. Отсюда видно, что информация, по существу, ассоциируется с реализовавшимся исходом. Понимание этого дало возможность Г. Кастлеру в 1953 году дать первое математически строгое определение информации на основе анализа формул Хартли и Шеннона: «Информация – случайный и сохраненный выбор одной альтернативы среди

⁹ Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall, 1956. 295 p.

¹⁰ Урсул А. Д. Природа информации : философский очерк. 2-е изд. Челябинск : ЧГАКИ, 2010. С. 177.

¹¹ Глушков В. М. О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь / под ред. А. И. Берга, Б. В. Бирюкова, И. Б. Новика, И. В. Кузнецова, А. Г. Спирикина. М. : Мысль, 1964. С. 53-62.

¹² Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект. М.: Стратегия-Центр, 2007.272 с.

¹³ Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Second edition. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1965. 212 p.



нескольких возможных и равных»¹⁴. В этом определении информация связывалась со значением случайной величины. Но при этом, изучение информации целиком относилось к теории вероятностей.

Вероятностный подход к пониманию информации достаточно долго был господствующим в науке. В широко известном учебнике Е.С. Вентцель по теории информации утверждается: «Теория информации представляет собой не просто прикладную науку, в которой применяются вероятностные методы исследования, а должна рассматриваться как раздел теории вероятностей»¹⁵. Информация понималась даже как вероятность выбора¹⁶. Но вероятностный подход к информации не мог охватить широкий круг разнообразных прикладных задач, где так или иначе возникала необходимость привлечения этого понятия. Ограниченность этого взгляда справедливо критиковалась рядом исследователей. Например, М.Мазур писал: «Как применить понятие «количество информации», например к географической карте? Ведь карта содержит самую различную информацию. ... О каких вероятностях здесь может идти речь? Ведь каждый элемент карты, как и каждый элемент территории, существует, а не «происходит» с какой-то вероятностью. На заданные вопросы можно ответить, что теория информации создана не для этих потребностей. Однако такой ответ означает признание того факта, что созданная теория до сих пор дает меньше, чем обещает ее название»¹⁷.

А.Н. Колмогоров заметил по этому поводу: «Не видно, почему теория информации должна столь существенно основываться на теории вероятностей, как это представляется по большинству руководств ... Теория информации должна предшествовать теории вероятностей, а не опираться на нее» [20].

Д.С. Чернавский переработал определение Г. Кастлера, отказавшись от привлечения случайности: «Информация есть закономерный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных»¹⁸.

Однако из формулы Хартли вытекает еще одно соображение, которое позволяет обобщить определение информации. Пусть в рассмотренном выше примере с шахматной доской становится известно, что шахматная фигура занимает одно из четырех возможных положений (например, e2, e3, d2, d3), хотя остается неизвестно, в какой именно клетке она находится. Согласно формуле Хартли, знание этого факта также дает некоторую информацию, но не 6 бит, как это было раньше, а только 4 бит. Таким образом, информация не обязательно связана с выделением единственного варианта, но также с выделением некоторого подмножества вариантов.

Таким образом можно в самом простейшем случае можно сказать, что информация – это выделение некоторого подмножества из исходного множества вариантов, это сокращение множества альтернатив или множества допустимых состояний. Информация заключается именно в этом выделяемом подмножестве, но не самом по себе, как таковым, а в сопоставлении с

исходным множеством, по отношению к исходному множеству. Такое понимание информации соответствует объяснению Н.Винера. В 1960 году, отвечая на вопрос: «Что такое информация?», он сказал: «Когда мы употребляем слово «информация», надо быть особенно точным в первоначальном определении этого. Если у нас имеются множества и имеются подмножества над этими множествами, тогда... информация заключена в этом подмножестве»¹⁹.

Этот подход снимает противоположность между микро- и макроинформацией. Ведь запомнить или сохранить одно микросостояние тела невозможно, поскольку микросостояния постоянно меняются. Но зато можно выделить и сохранить макросостояние, вместе с которым будет сохраняться соответствующее ему, выделенное подмножество сменяющих друг друга микросостояний.

Такое определение является достаточно простым и понятным и в то же время строго математическим. Оно вполне доступно студентам ИТ-направлений на самых первых курсах обучения.

Обобщение рабочего определения информации на основе формулы Шеннона

Но из формулы Шеннона следует более общий подход к определению информации. Заметим, что формула Шеннона допускает более общий случай, чем формула Хартли, а именно исходы с различными вероятностями. Отсюда видно, что изменение распределения вероятностей на множестве альтернатив, которое приводит к увеличению вероятностей одних элементов по сравнению с другими, также дает некоторую информацию. В связи с этим можно привести в пример рассказ Д.Лондона «Мальш видит сны», герой которого начал выигрывать на рулетке, заметив, что из-за механической деформации на ней одни результаты стали выпадать чаще, чем другие.

То есть приобретение информации связано с концентрацией распределения вероятностей на некотором подмножестве. Однако здесь при попытке дать более общее определение информации снова существенно используются конструкции теории вероятностей. Возникает вопрос, насколько неизбежно их привлечение.

Согласно У. Эшби (а также и философскому подходу А.Д. Урсула), источником информации является разнообразие. Это разнообразие связано с существованием различий в объектах окружающего мира. Разнообразие определяется наличием различных элементов в некотором множестве. Это могут быть не только альтернативы, взаимоисключающие состояния, но и сосуществующие элементы. Например, можно говорить о разнообразии биологических видов в единой экосистеме.

Однако в данной время и в данной ситуации элементы данного множества могут быть представлены в разной степени, некоторые могут отсутствовать. То есть, имеет место различие в

¹⁴ Quastler H. The Emergence of Biological Organization. London : Yale University Press, 1964. 83 p.

¹⁵ Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Главное издательство физико-математической литературы, 1962. 564 с.

¹⁶ Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М.: Наука, 1973. 512 с.

¹⁷ Мазур М. Качественная теория информации. М.: Мир, 1974. 238 с.

¹⁸ Чернавский Д. С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации : монография. М. : Наука, 2001. 244 с.

¹⁹ Из истории кибернетики / Ред.-сост. Я.И. Фет. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. 322 с.



представленности, присутствию разных элементов множества в данной ситуации. Следуя за приведенными выше рассуждениями В.М. Глушкова, можно сказать, что это связано с наличием объективной неоднородности в распределении вещества и энергии в пространстве и времени. Можно ввести величину, количественно отражающую степень представленности, присутствия того или иного элемента в конкретной ситуации. Это может быть частота (или вероятность) реализации того или иного состояния, количество объектов того или иного типа, численность особей того или иного биологического вида, биомасса особей разных видов, удельная численность и т.п. Для удобства всегда можно перейти к нормированному показателю, то есть считать, что сумма показателей для всех элементов множества всегда равна единице.

Тогда информация появляется при локализации показателя присутствия на некотором подмножестве в исходном множестве сосуществующих элементов. Информация выражает повышение присутствия в данном месте и в данное время некоторого подмножества по отношению к исходному множеству потенциально возможных элементов. Иными словами, информация появляется при увеличении неоднородности распределения показателя присутствия. Количество информации в этом случае будет мерой, отражающей степень увеличения неравномерности распределения, а информационная энтропия – количественная мера равномерности распределения. Такое определение созвучно пониманию информации, данному В.М. Глушковым. Система или объект, в котором присутствуют элементы рассматриваемого множества, будет носителем информации.

Можно заметить сходство такого подхода с методами моделирования процессов отбора [21]. Отбор понимается как выделение некоторого подмножества элементов из исходного множества по некоторому критерию. Для построения математической модели процесса отбора вводится количественный показатель присутствия каждого элемента, зависящий от времени. Для удобства используется нормированный показатель. Процесс отбора будет иметь место при локализации распределения этого показателя на некотором подмножестве элементов с течением времени. Тем самым математической моделью отбора в простейшем случае является динамическая система на стандартном симплексе. В более сложных случаях (наличие бесконечного множества элементов) приходится использовать математический аппарат динамики и локализации положительной меры (распределения) [22-24]. Мера представляет также удобный математический аппарат и для работы с квантовой информацией.

Единицы информации при этом становятся количественными характеристиками неравномерности распределения. Бит соответствует сосредоточению на одном элементе показателя присутствия, заданного на двухэлементном множестве. Значение такой интерпретации повышается при рассмотрении квантовой информации. Кубит определяется на основе распределения комплекснозначной нормированной меры на двухточечном множестве (волновой функции).

Такой подход к определению информации вполне конструктивен и доступен для понимания студентов. Однако для полноты представлений об информации необходимо учесть еще одно важнейшее свойство информации, связанное с отражением.

Между элементами двух множеств и показателями их присутствия можно установить некоторое соответствие так, чтобы повышение неоднородности распределения на одном множестве приводило к соответствующему повышению неоднородности распределения на другом множестве. В частности одно распределение может генерировать другое распределение. Такое отображение служит основой для описания передачи, получения и восприятия информации.

В частном случае отображение может быть взаимно однозначным. Тогда можно говорить о точном копировании информации. Еще на заре становления кибернетики Дж. фон Нейман рассматривал объекты, способные создавать свои копии – самовоспроизводящиеся объекты. К таким объектам можно отнести живые существа [25]. При размножении уникальная неоднородность последовательности нуклеотидов в ДНК, генетический код родителей, воспроизводится в ДНК потомков, благодаря чему осуществляется наследование свойств [26]. Возможность копирования позволяет сохранять информацию намного дольше, чем существует ее исходный носитель.

Но отображение не всегда является взаимно однозначным. В частности, при копировании возможно появление ошибок. Для живых существ это приводит к появлению мутаций. Иногда производится намеренное искажение отображения. В известном смысле это соответствует механизму дезинформации. Обратим внимание, что определение информации по Фишеру также использует отображение распределений двух связанных случайных величин. Благодаря этому по наблюдаемой случайной величине можно судить о неизвестном параметре, от которого зависит ее вероятность.

В определении информации по Колмогорову также неявно фигурируют два неоднородных связанных распределения: программа (последовательность операторов) для машины Тьюринга и генерируемая с помощью этой программы последовательность символов (двоичная строка). Идея Колмогорова состояла в том, чтобы количество информации в зависимом распределении (двоичной строке) оценивать по количеству символов исходной генерирующей ее программы. Здесь отображение между двумя множествами является весьма нетривиальным, что ограничивает широкое использование определения Колмогорова на практике. Однако и это определение является частным случаем рассматриваемого здесь общего рабочего подхода к пониманию информации. Он позволяет также объяснить кажущийся парадокс сжатия информации. При архивировании содержательно та же самая информация преобразуется к форме меньшего объема. Здесь также прослеживается фундаментальное свойство информации – возможность отображения одного распределения в другое. Количественные характеристики у этих распределений могут быть разными, но неоднородность в одном соответствует неоднородности в другом.

Обсуждение

Предлагаемое определение информации хорошо вписывается в общую методику подготовки студентов ИТ-направлений: оно использует привычный формальный математический аппарат, фактически строит математическую модель появления информации. Эта модель включает в числе прочих классиче-



скую Шенноновскую схему коммуникации. Здесь исходный объект с заданным неравномерным распределением будет соответствовать источнику с первичным кодом. Второй объект, на который отображается исходное распределение соответствует приемнику. Воздействие первого объекта на второе, приводящее к установлению соответствия (и повышению неоднородности распределения во втором объекте) соответствует каналу передачи информации.

Предложенное понимание информации хорошо согласуется с используемым сейчас подходом, когда для ее определения используется понятие паттерна [27]. Паттерн это узор, шаблон, режим, образец, в общем математическом смысле его можно рассматривать как распределение на некотором временном или пространственном множестве. Информация – это любой тип паттерна, который влияет на формирование или преобразование других паттернов. Например, в ДНК последовательность нуклеотидов – это образец, который влияет на формирование и развитие организма без необходимости в сознании.

В частном случае в рамках такого понимания информации можно рассматривать как сигнал, сенсорный вход для сложной, самоорганизующейся системы, что характерно для функционального подхода²⁰. Под сигналом понимают низкоэнергетический вход, который не является значимым источником энергии для системы, но позволяет системе находить такие источники. Очевидно, что для решения этой задачи низкое энергетическое воздействие входа, во-первых, должно быть неоднородным в пространстве и времени, во-вторых, его неоднородность должна соответствовать неоднородности расположения источников энергии. Такое объяснение было бы полезным при изучении студентами теории управления.

Сформулированное в результате проведенного исследования рабочее определение информации достаточно широко, охватывает практически значимые для информационных технологий случаи и допускает возможность использования в широком круге дисциплин профессионального цикла при подготовке студентов ИТ-направлений. Такое объяснение информации представляется удобным и полезным для их обучения. Использование выработанного в результате исследования подхода к понятию информации может быть эффективным методическим приемом в образовательном процессе. В то же время это определение не претендует на абсолютную универсальность. Здесь намеренно не рассматриваются гуманитарные, социальные, юридические и философские аспекты информации, составляющие предмет дисциплин социально-гуманитарного цикла. Дело в том, что избыточное расширение понятия информации, трудно воспринимается студентами ИТ-направлений, создает дополнительные сложности в ее объяснении. При первоначальном знакомстве с концепцией информации вполне можно ограничиться более узким и формальным определением, отвечающим практическим потребностям образовательного направления.

Для совершенствования подготовки студентов ИТ-направлений, достижения большей логичности и последовательности обучения целесообразно включать вопросы, касающиеся определения информации, в программы учебных дисциплин

при их модернизации [28]. Так в ННГУ в программе дисциплины «Теория информации» для бакалавров фундаментальной информатики и информационных технологий второго года обучения предусмотрена тема «Что такое информация?» (2 академических часа). В программу дисциплины «История и методология прикладной математики и информатики», изучаемой на старших курсах обучения, включен раздел «История развития понятия «информация»» (12 ак. часов, из них 6 часов лекций, 6 часов самостоятельной работы). Для закрепления материала студентам предлагается написание рефератов по темам «История термина «информация»», «История развития концепции энтропии», «Создание и развитие математической теории информации» и др.

Достаточно подробно проблема содержания понятия информации рассматривается в учебной дисциплине по выбору студента «Математические модели процессов отбора», изучаемой в течение третьего года обучения. Здесь прослеживается аналогия между определением информации и отбора, рассматриваются модели передачи и наследования врожденной и неврожденной информации. Сформированные представления об информации закрепляются в ходе выполнения серии исследовательских проектных работ [29-30].

Заключение

Несмотря на отсутствие в настоящее время научного консенсуса относительно содержания термина «информация», при обучении студентов ИТ-направлений существует потребность в формировании рабочего, достаточно строгого понимания этого термина, имеющего практическое значение в области информационных технологий. Для совершенствования подготовки студентов ИТ-направлений, достижения большей логичности и последовательности обучения целесообразно включать вопросы, касающиеся определения информации, в программы учебных дисциплин при их модернизации.

В результате проведенного анализа существующих концепций информации предложено рабочее определение понятия «информация», приемлемое и полезное для студентов, обучающихся по ИТ-направлениям. Показана связь понятия информации с сокращением числа альтернатив, с изменением неоднородности распределения, учтена возможность отображения как важнейшее свойство информации.

Сформулированное в результате проведенного исследования рабочее определение информации достаточно широко, охватывает практически значимые для информационных технологий случаи и допускает возможность использования в широком круге дисциплин профессионального цикла при подготовке студентов ИТ-направлений. Предлагаемое определение является достаточно простым и понятным и в то же время строго математическим. Оно вполне доступно студентам ИТ-направлений на самых первых курсах обучения. Такое объяснение информации представляется удобным и полезным для обучения, а разработанный подход к определению информации – вполне конструктивным. В то же время это определение не претендует на абсолютную универсальность;

²⁰ Dusenbery D. B. Sensory Ecology: How Organisms Acquire and Respond to Information. W. H. Freeman, 1992. 558 p.



оно не рассматривает гуманитарные, социальные, юридические и философские аспекты информации, составляющие предмет дисциплин социально-гуманитарного цикла. Использование выработанного в результате исследования подхода к понятию информации может быть эффективным методи-

ческим приемом в образовательном процессе. Показано, как разработанный подход может использоваться при модернизации программ учебных дисциплин подготовки студентов ИТ-направлений. Предложена методика освоения концепции информации в процессе их подготовки.

Список использованных источников

- [1] Информационный подход в междисциплинарной перспективе (материалы «круглого стола») / В. А. Лекторский, Б. И. Пружинин, В. И. Бодякин [и др.] // Вопросы философии. 2010. № 2. С. 84-112. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13855413> (дата обращения: 11.12.2022).
- [2] Floridi L. What is the philosophy of information? // *Metaphilosophy*. 2002. Vol. 33, no. 1/2. P. 123-145. URL: <http://www.jstor.org/stable/24439320> (дата обращения: 11.12.2022).
- [3] Лю Ган. Философия информации и основы будущей китайской философии науки и техники // Вопросы философии. 2007. № 5. С. 45-57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9519052> (дата обращения: 11.12.2022).
- [4] Introduction: Information is what Information Does // *Philosophy of Information*. Vol. 8. Handbook of the Philosophy of Science ; ed. by P. Adriaans, J. van Benthem. Elsevier B.V., 2008. P. 3-26. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51726-5.50006-6>
- [5] Колин К. К. Философия информации: структура реальности и феномен информации // *Метафизика*. 2013. № 4(10). С. 61-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23279612> (дата обращения: 11.12.2022).
- [6] Сапрыкин М. Ю., Сапрыкина Н. А. Анализ понятия «информация» с позиции объектно-ориентированного подхода // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8, № 2. С. 1-10. doi: <http://dx.doi.org/10.15862/36TVN216>
- [7] Закарлюк Н. М. Проблема информации и теоретической информатики // *Педагогическая информатика*. 2005. № 2. С. 61-72. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12938154> (дата обращения: 11.12.2022).
- [8] Лысак И. В. Информация как общенаучное и философское понятие: основные подходы к определению // *Философские проблемы информационных технологий и киберпространства*. 2015. № 2(10). С. 9-26. doi: <https://doi.org/10.17726/philIT.2015.10.2.391>
- [9] Бакаева Ж. Ю. Разнообразие методологических подходов к сущности информации // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-2. С. 253. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23662482> (дата обращения: 11.12.2022).
- [10] Колмакова Е. А., Цветухина Е. А. О двух фундаментальных подходах к пониманию сущности информации и значимости определения ученым собственной позиции // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 7-1(49). С. 119-121. doi: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.49.099>
- [11] Сенаторов Ю. М. Подходы к пониманию сущности информации // *Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке*. 2018. Т. 7, № 1А. С. 5-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35291996> (дата обращения: 11.12.2022).
- [12] Гурина Е. В., Кузенков О. А. Образовательные стандарты Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2014. № 3-4. С. 39-44. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862964> (дата обращения: 11.12.2022).
- [13] Hartley R. V. L. Transmission of Information // *Bell System Technical Journal*. 1928. Vol. 7, issue 3. P. 535-563. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1928.tb01236.x>
- [14] Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // *Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27, issue 3. P. 379-423. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- [15] Brillouin L. *Scientific Uncertainty and Information*. New York : Academic Press, 1964. 164 p. doi: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12512-3>
- [16] Хинчин А. Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // *Успехи математических наук*. 1953. Т. 8, № 3(55). С. 3-20. URL: <https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=8203> (дата обращения: 11.12.2022).
- [17] Lehmann E. L., Casella G. *Theory of Point Estimation*. Springer Texts in Statistics. New York, NY : Springer, 1998. 590 p. doi: <https://doi.org/10.1007/b98854>
- [18] Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» // *Проблемы передачи информации*. 1965. Т. 1, № 1. С. 3-11. URL: <https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ppi&paperid=68> (дата обращения: 11.12.2022).
- [19] Neumann von J. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. 262 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61409-5>
- [20] Колмогоров А. Н. Комбинаторные основания теории информации и исчисления вероятностей // *Успехи математических наук*. 1983. Т. 38, № 4. С. 27-36. URL: <https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=2940> (дата обращения: 11.12.2022).
- [21] Kuzenkov O., Morozov A. Towards the Construction of a Mathematically Rigorous Framework for the Modelling of Evolutionary Fitness // *Bulletin of Mathematical Biology*. 2019. Vol. 81, issue 11. P. 4675-4700. doi: <https://doi.org/10.1007/s11538-019-00602-3>
- [22] Кузенков О. А. Исследование динамической системы вероятностных мер Радона // *Дифференциальные уравнения*. 1995. Т. 31, № 4. С. 591-596. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48239940> (дата обращения: 11.12.2022).



- [23] Kuzenkov O. A., Novozhenin A. V. Optimal control of measure dynamics // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2015. Vol. 21, issues 1-3. P. 159-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.08.024>
- [24] Morozov A. Yu., Kuzenkov O. A. Towards developing a general framework for modeling vertical migration in zooplankton // *Journal of Theoretical Biology*. 2016. Vol. 405. P. 17-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2016.01.011>
- [25] Sandhu S. K., Morozov A., Kuzenkov O. Revealing Evolutionarily Optimal Strategies in Self-Reproducing Systems via a New Computational Approach // *Bulletin of Mathematical Biology*. 2019. Vol. 81, issue 11. P. 4701-4725. doi: <https://doi.org/10.1007/s11538-019-00663-4>
- [26] Кузенков О. А., Рябова Е. А. Предельные возможности решения управляемой системы с наследованием // *Дифференциальные уравнения*. 2015. Т. 51, № 4. С. 514-523. doi: <https://doi.org/10.1134/S0374064115040093>
- [27] Casagrande D. G. Information as Verb: Re-conceptualizing Information for Cognitive and Ecological Models // *Journal of Ecological Anthropology*. 1999. Vol. 3, issue 1. P. 4-13. doi: <http://dx.doi.org/10.5038/2162-4593.3.1.1>
- [28] Кузенков О. А., Захарова И. В. Модернизация математических программ на основе российских и международных стандартов // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2018. Т. 14, № 1. С. 233-244. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.233-244>
- [29] Кузенков О. А., Кузенкова Г. В., Киселева Т. П. Использование электронных средств обучения при модернизации курса «Математическое моделирование процессов отбора» // *Образовательные технологии и общество*. 2018. Т. 21, № 1. С. 435-448. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32253185> (дата обращения: 11.12.2022).
- [30] Кузенков О. А., Кузенкова Г. В., Киселева Т. П. Компьютерная поддержка учебно-исследовательских проектов в области математического моделирования процессов отбора // *Образовательные технологии и общество*. 2019. Т. 22, № 1. С. 152-163. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37037790> (дата обращения: 11.12.2022).

Поступила 11.12.2022; одобрена после рецензирования 03.02.2023; принята к публикации 27.02.2023.

Об авторе:

Кузенков Олег Анатольевич, доцент кафедры дифференциальных уравнений, математического и численного анализа Института информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23), кандидат физико-математических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-0517>**, Kuzenkov_o@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Lektorsky V.A., Pruzhinin B.I., Bodyakin V.I., Dubrovsky D.I., Kolin K.K., Melik-Gaikazyan I.V., Ursul A.D. The information approach in interdisciplinary prospect (a round-table discussion). *Voprosy Filosofii*. 2010;(2):84-112. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13855413> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Floridi L. What is the philosophy of information? *Metaphilosophy*. 2002;33(1/2):123-145. Available at: <http://www.jstor.org/stable/24439320> (accessed 11.12.2022).
- [3] Liu Gang. Philosophy of Information and Foundations of Future Chinese Philosophy of Science and Technique. *Voprosy Filosofii*. 2007;(5):45-57. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9519052> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Introduction: Information is what Information Does. In: Adriaans P., van Benthem J. (eds.) *Philosophy of Information*. Vol. 8. Handbook of the Philosophy of Science. Elsevier B.V.; 2008. p. 3-26. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51726-5.50006-6>
- [5] Kolin K.K. Philosophy of information: the structure of reality and the phenomenon of information. *Metafizika = Metaphysics*. 2013;(4):61-84. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23279612> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Saprykin M.Yu., Saprykina N.A. The analysis of the concept of "information" from a position of the object-oriented approach. *Naukovedenie*. 2016;8(2):1-10. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <http://dx.doi.org/10.15862/36TVN216>
- [7] Zakarlyuk N.M. The problem of information and theoretical informatics. *Pedagogical Informatics*. 2005;(2):61-72. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12938154> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Lysak I.V. information as a general scientific and philosophical concept basic approaches to its definition. *Philosophical problems of IT and Cyberspace*. 2015;(2):9-26. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17726/philIT.2015.10.2.391>
- [9] Bakaeva Zh.Yu. The variety of methodological approaches to the nature of the information. *Modern problems of science and education*. 2015;(1-2):253. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23662482> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Kolmakova E.A., Tsvetukhina E.A. About Two Fundamental Approaches to Understanding the Nature of the Information and the Importance of Scientists Determine Their Own Position. *International Research Journal*. 2016;(7-1):119-121. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.49.099>
- [11] Senatorov Yu.M. Approaches to understanding the essence of information. *Context and Reflection: Philosophy of the World and Human Being*. 2018;7(1A):5-20. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35291996> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)



- [12] Gugina E.V., Kuzenkov O.A. Educational Standards of the Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhny Novgorod*. 2014;(3-4):39-44. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22862964> (accessed 11.12.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [13] Hartley R.V.L. Transmission of Information. *Bell System Technical Journal*. 1928;7(3):535-563. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1928.tb01236.x>
- [14] Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 1948;27(3):379-423. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- [15] Brillouin L. Scientific Uncertainty and Information. New York: Academic Press; 1964. 164 p. doi: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12512-3>
- [16] Khinchin A.Ya. The concept of entropy in the theory of probability. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*. 1953;8(3):3-20. Available at: <https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=8203> (accessed 11.12.2022). (In Russ.)
- [17] Lehmann E.L., Casella G. Theory of Point Estimation. Springer Texts in Statistics. New York, NY: Springer; 1998. 590 p. doi: <https://doi.org/10.1007/b98854>
- [18] Kolmogorov A.N. Three approaches to the definition of the concept "quantity of information". *Problemy Peredachi Informatsii* = Problems of Information Transmission. 1965;1(1):3-11. Available at: <https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ppi&paperid=68> (accessed 11.12.2022). (In Russ.)
- [19] Neumann von J. Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1996. 262 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61409-5>
- [20] Kolmogorov A.N. Combinatorial foundations of information theory and the calculus of probabilities. *Russian Mathematical Surveys*. 1983;38(4):29. doi: <https://doi.org/10.1070/RM1983v038n04ABEH004203>
- [21] Kuzenkov O., Morozov A. Towards the Construction of a Mathematically Rigorous Framework for the Modelling of Evolutionary Fitness. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2019;81(11):4675-4700. doi: <https://doi.org/10.1007/s11538-019-00602-3>
- [22] Kuzenkov O.A. Investigation of a dynamical system of Radon probability measures. *Differential Equations*. 1995;31(4):591-596. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48239940> (accessed 11.12.2022). (In Russ.)
- [23] Kuzenkov O.A., Novozhenin A.V. Optimal control of measure dynamics. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2015;21(1-3):159-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.08.024>
- [24] Morozov A.Yu., Kuzenkov O.A. Towards developing a general framework for modeling vertical migration in zooplankton. *Journal of Theoretical Biology*. 2016;405:17-28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2016.01.011>
- [25] Sandhu S.K., Morozov A., Kuzenkov O. Revealing Evolutionarily Optimal Strategies in Self-Reproducing Systems via a New Computational Approach. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2019;81(11):4701-4725. doi: <https://doi.org/10.1007/s11538-019-00663-4>
- [26] Kuzenkov O.A., Ryabova E.A. Limit possibilities of solution of a hereditary control system. *Differential Equations*. 2015;51(4):523-532. doi: <https://doi.org/10.1134/S0012266115040096>
- [27] Casagrande D.G. Information as Verb: Re-conceptualizing Information for Cognitive and Ecological Models. *Journal of Ecological Anthropology*. 1999;3(1):4-13. doi: <http://dx.doi.org/10.5038/2162-4593.3.1.1>
- [28] Kuzenkov O.A., Zakharova I.V. Mathematical Programs Modernization Based on Russian and International Standards. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018;14(1):233-244. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.233-244>
- [29] Kuzenkov O., Kuzenkova G., Kiseleva T. The use of electronic teaching tools in the modernization of the course "Mathematical modeling of selection processes". *Educational Technologies and Society*. 2018;21(1):435-448. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32253185> (accessed 11.12.2022). (In Russ.)
- [30] Kuzenkov O., Kuzenkova G., Kiseleva T. Computer support of training and research projects in the field of mathematical modeling of selection processes. *Educational Technologies and Society*. 2019;22(1):152-163. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37037790> (accessed 11.12.2022). (In Russ.)

Submitted 11.12.2022; approved after reviewing 03.02.2023; accepted for publication 27.02.2023.

About the author:

Oleg A. Kuzenkov, Associate Professor of the Department of Differential Equations Mathematical and Numerical Analysis, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-0517>, kuzenkov_o@mail.ru

The author has read and approved the final manuscript.

