

УДК 371.261

<https://doi.org/10.23951/1609-624X-2025-5-132-143>

Мера Кульбака – Лейблера как средство оценивания результативности учебного процесса

Юлия Анатольевна Алябышева¹, Анатолий Алексеевич Веряев², Юлия Эдуардовна Лозыченко³

^{1,2} *Алтайский государственный педагогический университет, Барнаул, Россия*

³ *Филиал Российского государственного социального университета, г. Анапа, Россия*

¹ *alyabysheva_j@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0619-9984>*

² *veryaev_aa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4338-0811>*

³ *uliya_l@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-6602-1158>*

Аннотация

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы продемонстрировать развитый авторами подход к оцениванию текущей успеваемости обучаемых при использовании информационной меры Кульбака – Лейблера (Kullback-Leibler). В качестве используемых методов можно выделить и отметить информационные, статистические методы. Они нашли свое приложение к анализу событийной педагогики. Ключевые события, подвергающиеся исследованию, – это компьютерные тестирования, а данные для анализа – результаты тестирования. Результаты тестирования можно рассматривать как случайные события, на которые оказывают влияние разные обстоятельства, а события сложно контролируются. В работе используется известный информационный метод Кульбака – Лейблера. Чтобы информационный метод превратился в работающую прикладную технологию, он должен быть сопровожден рядом дополнительных процедур и решенных задач, связанных: 1) с подготовкой данных для расчетов; 2) самими расчетами с учетом ограничений и выполнением критериев применимости метода; 3) возможными приемами анализа результатов исследования. Описание этих процедур можно найти в работе. В рамках предлагаемого метода оценивания результатов тестирования студентов учитываются ожидания их успеха, обусловленные предысторией учебных достижений, а также результативность в контексте показателей всей студенческой группы. Показана непротиворечивость полученных результатов при сравнении их с теми, которые получаются при использовании метода Манна – Уитни в исследованиях по педагогике и психологии при проверке гипотез. Научная новизна работы состоит в выстраивании соответствующих процедур с ориентацией на педагогические приложения. Изложение строится на использовании конкретных экспериментальных данных, полученных в рамках осуществления текущего контроля знаний после изучения темы по физике. Практическая значимость работы видится в возможности приложения меры Кульбака – Лейблера к изучению роли латентных переменных в образовательном процессе, а также при анализе данных, полученных в ходе экспериментального преподавания будущими соискателями ученых степеней по педагогике.

Ключевые слова: *тестирование, контроль уровня знаний, эредитарность, модели IRT, информационная мера, мера Кульбака – Лейблера, вероятностные меры, образовательная аналитика*

Для цитирования: Алябышева Ю.А., Веряев А.А., Лозыченко Ю.Э. Мера Кульбака – Лейблера как средство оценивания результативности учебного процесса // Вестник Томского государственного педагогического университета (TSPU Bulletin). 2025. Вып. 5 (241). С. 132–143. <https://doi.org/10.23951/1609-624X-2025-5-132-143>

Kullback-Leibler measure as a means of assessment learning process performance

Yulia A. Alyabysheva¹, Anatoly A. Veryaev², Yulia E. Losychenko³

^{1,2} *Altai State Pedagogical University, Barnaul, Russian Federation*

³ *Branch of the Russian State Social University, Anapa, Russian Federation*

¹ *alyabysheva_j@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0619-9984>*

² *veryaev_aa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4338-0811>*

³ *uliya_l@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-6602-1158>*

Abstract

The purpose of this paper is to demonstrate the approach developed by the authors to assess the current performance of students using the Kullback-Leibler information measure. The methods used are informational, statistical methods. They found their application to the analysis of event pedagogy. The key events under investigation

in the article are the results of computerized testing. They can be considered as random events that are influenced by different circumstances and the events are difficult to control. The paper uses the well-known Kullback-Leibler information method. In order for an information method to become a working applied technology, it must be accompanied by a number of additional procedures and tasks related to 1) the preparation of data for the calculations, 2) the calculations themselves, taking into account the limitations and fulfilment of the applicability criteria of the method, and 3) possible techniques for analysing the results of the study. A description of these procedures can be found in the paper. The proposed method for evaluating student test scores takes into account expectations of student success based on prior academic achievement, as well as performance in the context of whole student group performance. In addition, the paper shows the consistency of the obtained results when comparing them with those obtained when using the Mann – Whitney method in pedagogy and psychology research in hypothesis testing. The scientific novelty of the work consists in building appropriate procedures with orientation on pedagogical applications. The presentation is based on the use of specific experimental data obtained as part of the current control after the study of a topic in physics. The practical significance of the work is seen in the possibility of applying the Kullback-Leibler measure to the study of the role of latent variables in the educational process, as well as in the course of experimental teaching by future candidates for degrees in pedagogy.

Keywords: *testing, knowledge, control of the level of knowledge, hereditarity, IRT models, information measure, Kullback-Leibler divergence, probability measures, learning analytics emotiology, emotivity, emotive, emotive phonetic meaning (EPS), expressive-evaluative morpheme, emotive lexicon*

For citation: Alyabysheva Yu.A., Veryaev A.A., Losychenko Yu.E. Mera Kul'baka – Leyblera kak sredstvo otsenivaniya rezul'tativnosti uchebnogo protsesssa [Kulback-Leibler measure as a means of assessment learning process performance]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2025, vol. 5 (241), pp. 132–143 (in Russian). <https://doi.org/10.23951/1609-624X-2025-5-132-143>

Введение

Важнейшей составляющей учебной деятельности является ее результативность. При рассмотрении функционирования педагогических систем в литературе обращают внимание на объективность осуществления оценочной деятельности. Оценочная деятельность в педагогике выполняет множество функций. Некоторые из них являются традиционными, постоянно упоминаемыми в педагогической литературе. О некоторых функциях стали говорить в последние годы, например, оценивание как необходимая составляющая при построении цифрового портрета, профиля обучаемых или важный элемент при построении их индивидуального образовательного маршрута. Обратим внимание также на то, что оценивание, да и фиксация/измерение множества других параметров и характеристик деятельности обучаемых, является одной из важнейших составляющих при осуществлении педагогических исследований, позволяющих фиксировать успешность применения тех или иных инновационных методов обучения и воспитания. На содержание настоящей статьи значительное влияние оказала именно эта функция оценивания.

Одна из основных задач, которую первоначально ставили авторы, заключалась в том, чтобы количественно отразить роль интерактивности цифрового образовательного контента при освоении учащимися учебного материала. Поскольку интерактивность как характеристика учебного процесса, так и цифрового образова-

тельного ресурса является латентной переменной, пока не подвергшейся оцифровке и не являющейся непосредственно измеримой, авторы вынуждены были разработать свою методику количественной оценки роли таких переменных в показателях результативности учебной деятельности. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы разработать способ количественного отражения учебных достижений обучаемыми с использованием информационной меры Кульбака – Лейблера. Указанный способ отражения будет продемонстрирован в настоящей работе. Пока мы ограничиваемся только этой основной целью работы. При использовании дополнительных ограничений, накладываемых на процесс отражения, можно показать и то, как оценить вклад интерактивности в результаты обучения с использованием цифровых образовательных ресурсов (ЦОР). Но этот материал будет представлен читателю позже в других публикациях.

Информационная мера Кульбака – Лейблера была введена в математическую статистику достаточно давно. Основная монографическая работа С. Кульбака по этой тематике [1, 2] была переведена на русский язык в 1967 г. под редакцией академика А.Н. Колмогорова. Публикация дала повод развивать в отечественной педагогике соответствующие математические подходы к статистическому анализу результатов обучения. Однако за столь длительный срок, пятьдесят с лишним лет, в специализированных русскоязычных изданиях, ориентированных на изучение ма-

тематических методов в педагогических, да и психологических и социологических исследованиях, никаких упоминаний об использовании меры Кульбака – Лейблера не появилось. В то же время в других предметных областях такие работы велись иногда систематически. Компьютеризация и информатизация образования, распространение дистанционных технологий и компьютерного тестирования, необходимость формирования всевозможных компетентностей у обучаемых (измерять которые до сих пор корректно не научились) актуализировали обращение к данному разделу прикладной статистики и применение идей С. Кульбака в педагогике.

Чтобы избежать субъективности в процессе отражения учебных достижений, принято использовать компьютерные программы, в том числе контролирующие, которые транслируют результаты деятельности обучаемых с ЦОР в количественные информационные характеристики. Обучаемыми такой процесс воспринимается более объективным, в сравнении с оцениванием (оцифровкой результата) педагогом. При компьютерном тестировании не могут отдаваться предпочтения тому или иному школьнику или студенту, все оказываются в равных условиях. Тестовые задания могут относиться к различным объемам учебного материала. Тестирование может быть итоговым и содержать задания за целостный курс дисциплины, который может изучаться несколько семестров, может относиться к разделу, блоку, модулю, отдельной теме, отдельному параграфу учебника. Нас в работе при введении количественной информационной меры и апробации корректности ее использования в оценочной деятельности интересовала проблема осуществления проверки усвоения учебного материала студентами на конкретных полуторачасовых занятиях, причем компьютерное тестирование осуществлялось в конце этих же занятий [3, 4]. Одним из соавторов работы проводились занятия по одной и той же теме в двух разных группах. Для занятия в одной группе (группа 1) был подготовлен ЦОР, в другой группе (группа 2) занятие проводилось в традиционной форме с опорой на диалоговые формы работы со студентами. Тестовые задания в обеих группах были одинаковыми и также составлены педагогом.

Обратим внимание, что в процессе тестирования выяснялось, как усвоен образовательный контент и понята информация учебного характера. В знания полученная информация трансформируется постепенно в ходе решения студентами разнообразных прикладных задач на многих занятиях, в том числе и на параллельно изучаемых дисциплинах. Со временем информация инте-

грируется в картины мира или в «образ мира» (А.Н. Леонтьев), становясь знанием, что расширяет совокупность вопросов, которые можно задавать обучаемым при тестировании, включая вопросы не только синтаксического, но и семантического и прагматического характера. К таким вопросам относятся задания творческого характера, задания на вынесение оценочных суждений относительно изученного материала, содержащие процессы синтеза или декомпозиции сложных систем. Здесь уместно вспомнить о часто упоминаемой в зарубежной и отечественной литературе технологии постановки педагогических целей и связанной с ней типологией учебных задач Б. Блума (B.S. Bloom), содержащей шесть уровней.

В тесты для проверки усвоенного материала включались вопросы и задания, которые соответствуют трем уровням таксономии. В литературе можно найти подробности как по оригинальной [5], так и по модифицированной учениками Б. Блума таксономии [6]. Задания были закрытого типа с альтернативным выбором ответа. Это ограничение для предлагаемого в статье способа оценивания на основе информационной меры не является принципиальным, и на данном этапе работы было решено не усложнять расчетную часть предлагаемого способа введения как первичных количественных данных, так и способа их обработки.

Обратим внимание на то, что обобщение предлагаемого в настоящей работе метода (в заглавии работы он обозначен как информационная мера Кульбака – Лейблера (Kullback-Leibler, далее используем аббревиатуру KL) [2]), легко распространяется также на случай и других типов заданий в тестах. Указанное направление в тестировании, учитывающее разнообразие типов заданий в тестах, развивает однопараметрическую модель (Item Response Theory – IRT) Г. Раша (G. Rasch) [7].

Также можно заметить, что в настоящее время хорошо развиты общепринятые и известные классическая теория тестов с методикой обработки результатов тестирования [8], а также подход на основе идей Г. Раша – IRT [9], который используется на практике, например, при анализе результатов ЕГЭ, а потом задать вопрос о необходимости еще одного способа оценивания. На это можно ответить так: на самом деле ситуация является не такой простой и однозначной. Во-первых, всегда хочется знать о прогрессе в учебе каждого из обучаемых и наблюдать за успешностью работы во времени, сравнивая текущие результаты с предыдущими. Однопараметрическая модель IRT, ее модификации и классическая мо-

дель тестирования дают срез успешности усвоения материала в конкретный момент времени, без обращения к предыстории работы учащегося по предмету. Оценивание результативности тестирования конкретного обучаемого осуществляется при сравнении его результатов внутри группы. В нашем случае это ограничение будет снято. В математике такие системы, которые учитывают предысторию, носят название эредитарных (термин ввел В. Вольтерра, латинское *heredity* – отражение влияния памяти, последствий, наследственности, остаточности воздействий) [10]. Эредитарность оценивания – одна из важных особенностей предлагаемого подхода.

Обратим внимание также на то, что вероятность правильного ответа на тестовое задание в однопараметрической модели Раша определяется разностью всего двух латентных переменных, стоящих в показателе экспоненты в выражении для вероятности правильного ответа на задание. Этими переменными являются «подготовленность учащегося» и «трудность задания». Таким образом, из рассмотрения исчезает множество других факторов, в частности успешность работы педагога, его мастерство, качество подготовленного для обучения цифрового контента и т. п. Учет указанных факторов делает процедуру анализа модифицированных уравнений IRT достаточно сложной [11]. Даже использование для анализа данных, полученных в рамках простой модели IRT, требует обращения к специализированным математическим пакетам [12, 13]. В нашу задачу входит разработка более простого способа анализа результатов тестирования (без решения нелинейных систем уравнений), который может быть реализован с помощью электронных таблиц, что весьма важно для исследователей инновационных педагогических технологий.

В силу изложенных выше в тексте причин в настоящей работе будет предложен к использованию математический аппарат как для отражения индивидуальных достижений обучаемых, так и для сравнения результативности двух следующих одно за другим занятий, проведенных в двух класса/группах 1 и 2, которые можно условно назвать экспериментальной и контрольной.

Обзор литературы

Практические применения информационной меры KL могут быть весьма разнообразны как в естественно-научных дисциплинах, так и гуманитарных. Приведем некоторые примеры. В отечественную педагогику такой метод анализа экспериментальных данных только начинает проникать. С одной стороны, нужна популяризация

метода, с другой стороны, нужны предложения о том, как конкретно вводить вероятностные меры для их сравнения, применяя информационную меру KL. Такие предложения будут продемонстрированы в соответствующем разделе рукописи. Многие приемы введения вероятностных мер можно обнаружить в прикладных работах непедагогической направленности.

Важным в работе является потенциальная возможность использования информационной меры KL в педагогических исследованиях, в частности для измерения различий в овладении учебным контентом разными группами студентов или учеников в зависимости от условий и способа изложения материала, а также в анализе динамики во времени успеваемости обучаемых. Исследователи могут использовать эту меру для выявления различий в знаниях по предмету у студентов с разным уровнем образования или для изучения эффективности различных методов преподавания. Также мера KL может быть использована для измерения приращений знаний, умений, навыков студентов и учащихся и для отражения не только результативности одного занятия, но и серии занятий в течение длительного конечного периода обучения.

Зарубежных экспериментальных работ по использованию меры KL в педагогических исследованиях или в школьной и вузовской практике немного. Опишем единственный пример, который обнаружен в зарубежной педагогической литературе. Это работы, которые проводились в Италии в 2000-х гг. Университеты проводили собственные модернизационные процедуры реформирования образования, а затем выясняли в массовых опросах, какова результативность этих мероприятий. Для анализа результатов опросов в работе A. D'Elia и D. Piccolo [14] был предложен и разработан собственный метод, получивший название *mixed CUB Model*. В рамках метода были введены процедуры получения вероятностных мер на основе использования суперпозиции двух статистических распределений, отличных от тех, что использовались в модели Раша, и использовалась симметризованная формула относительно вероятностных мер (далее в тексте они обозначены как P и Q), входящих в информационную меру KL. В работах Marcella Corduas и его коллег [15, 16] можно найти примеры применения указанной модели для кластеризации результатов статистических данных, полученных в результате опросов студентов университетов. Отметим, что это не ранжирование студентов по уровню учебных достижений, а пример применения меры KL для классификации университетов, выявления состояния работы в них.

Авторы данной статьи ранее использовали меру KL для выявления различий в стиливых особенностях написания текстов различных писателей на основе использования сравнений частотности стоп-слов [17]. Это были первые попытки подступиться на уровне поиска метода исследования к проблеме проверки связи между стилем учебной деятельности и стиливыми особенностями воспринимаемого текста.

Утверждается, что могут быть разнообразными применения меры KL и в психологии, например, для измерения индивидуальных различий личностей, выявления различия в предпочтениях потребителей или в восприятии музыки, у людей с разными культурными и социальными характеристиками, оценке эффективности психотерапевтических методов и других случаях. В русскоязычной литературе по прикладной статистике, ориентированной на использование в психологических исследованиях, мера KL, как правило, не упоминается. В одной из наших работ в анализе результатов анкетирования студентов и школьников, посвященных изучению представлений о «неравенстве» и «несправедливости», указанная мера использовалась [18].

Приведем некоторые литературные ссылки, касающиеся медицины, здоровья человека. В этих и других работах можно найти достаточно оригинальные способы введения вероятностных мер. Достаточно часто меру KL используют в медицинских исследованиях при сравнении физиологических данных здорового организма с параметрами больного [19, 20]. Отметим специальный выпуск журнала *Entropy*, в котором помещены обзорные работы по эпидемиологии [21]. Во многих из них обсуждается использование информационных мер (KL, а также расхожимости Йенсена – Шеннона – JSD) в этой области науки. После этого уместно сделать общее замечание.

Мерой KL и иными информационными мерами предпочитают пользоваться в тех научных направлениях исследований, где можно ввести представления о норме и отклонениях от нормы, характеристиках здорового человека и его болезнях. В этом отношении в педагогике типичны подобные ситуации: сравнивают количественно представленные характеристики того учебного контента, который обучаемый должен (или потенциально мог бы) усвоить с тем, что он реально усвоил.

Важной особенностью всех указанных в данном разделе исследований является то, каким способом вводятся вероятностные меры. Повторим еще раз, что большинство зарубежных работ, которые используют метод KL в педагогике

и с которыми пришлось познакомиться, имеют преимущественно математическую направленность и попытки связать информационную меру с распространенной технологией тестирования IRT или ее модификациями. При этом в них используются опять же для исследовательских целей имитационные (смоделированные) данные, а не реальные, полученные в ходе педагогического эксперимента или реального учебного процесса.

Материал и методы

В настоящем исследовании предлагается использовать информационную меру KL [1, 2] для осуществления измерительных процедур в ходе проведения текущего контроля знаний обучаемых. Мера KL (по-другому ее называют «расхожимостью») является «информационной мерой» характеризующей «расстояние» между двумя вероятностными мерами. Работы Кульбака были посвящены изучению математических выражений, которые позволяли измерять количество информации и ее роль в математической статистике [1]. Если нам даны два дискретных вероятностных распределения $P(i)$ и $Q(i)$, где i номер случайного события, не зависящего от других (с иным номером i), то расхожимость KL распределения Q относительно распределения P обозначается и определяется как:

$$D_{KL}(P \parallel Q) = \sum P(i) \log_2 \frac{P(i)}{Q(i)}.$$

Здесь индекс i нумерует случайные независимые события, в нашем случае связанные с разными обучаемыми, по всему множеству событий идет суммирование. Обратим внимание на неравноправность распределений P и Q , входящих в формулу. Распределение P определяется как «истинное», «должное», «ожидаемое», а распределение Q выступает как «реализованное», «более вариативное», которое приближенно соответствует распределению P . Стоит отметить, что расхождение KL не зависит от размерности исходных случайных величин и потому является безразмерной величиной. Использовать меру KL можно, работая с группами разного количественного состава. Сравнить вероятностные меры можно для данных, если они получены внутри группы в разных типах событий и имеется отношение событий к одним и тем же субъектам. Возможно сравнение вероятностных мер, отвечающих однотипным событиям, совершенным разными группами. Основание логарифма в приведенном выражении при расчете существенной роли не играет, основное требование, чтобы оно было больше единицы. Для удобства можно выбрать логарифм натуральным или двоичным.

Доказано, что расхождение KL всегда принимает положительные значения, оно может равняться нулю, если меры P и Q одинаковы, то есть если одинаковы вероятности всех событий с одинаковыми i . Вероятности $P(i)$ и $Q(i)$ при фиксированном i могут относиться к событиям, связанным с поведением одного и того же субъекта в разное время.

Меру KL часто используют не только для измерения «расстояния» между вероятностными распределениями, но и интерпретируют ее как информационный выигрыш, который возникает, если вероятностное распределение $P(i)$ использовать вместо распределения $Q(i)$. Термин «расстояние» взят в кавычки, потому что обе вероятностные меры в формуле неравноправны, что приводит к тому, что расстояния от P до Q и от Q до P разные, они не удовлетворяют неравенству треугольника. Мера D_{KL} – такой статистический критерий, такая информационная мера, которая не только констатирует достоверность различий между вероятностными распределениями, но и выявляет степень этих различий.

Особенность использования информационной меры KL состоит в необходимости оперирования двумя вероятностными мерами. Одна вероятностная мера P может отражать состояние изучаемой системы (субъект, статистическая выборка, класс, группа) в «предыдущий» момент времени, вторая мера Q – в «последующий». Последующее состояние на очередном шаге или следующем расчетном шаге может стать предыдущим. Это порождает итерационный процесс, моделирующий учебный процесс. Мы не будем далее здесь подробно развивать эту тему, связанную с попыткой рассмотрения последовательности тестирований учащихся в качестве стохастического процесса, отражающего накопительный характер оценивания достижений обучаемых, приведем лишь ссылку на нашу публикацию в материалах конференции [22]. Сделаем по этой проблематике лишь некоторые замечания в разделе, посвященном обсуждению результатов. Подчеркнем еще раз, что важно иметь описание на языке вероятностей двух состояний одного коллектива или однотипных состояний в двух коллективах.

Одна вероятностная мера (начальная) в исследованиях может быть, например, постоянной, стабильной, отражающей интегративную «готовность» обучаемых к восприятию разнообразного учебного материала, вторая мера (последующая) – более вариативной, отражающей успехи в учебе за ограниченный отрезок времени, фиксирующей последние достижения обучаемых, отражающих успех экспериментального преподавания или ре-

зультат подготовки в течение последнего занятия. Первая вероятностная мера может быть получена, например, если в образовательном учреждении проведено входное тестирование или использовалась накопительная система оценивания, вторая мера получается в результате тестирований.

В расчетах в настоящей работе в ходе эксперимента был использован пакет Statistica, но основные расчеты проводились в электронных таблицах Excel.

Результаты исследования

В экспериментальном исследовании по апробации информационной меры KL для определения результативности преподавания участвовали студенты первого курса филиала ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет» в г. Анапе. Студенты обучались по специальности «40.02.01 Право и организация социального обеспечения» стандарта среднего профессионального образования. Далее в работе представлены результаты проведения занятий по физике в двух группах и их сравнение между собой. Как было указано ранее, в группе 1 студенты знакомились с учебным материалом при использовании ЦОР, в группе 2 студенты работали с преподавателем. ЦОР с небольшим количеством дополнений в виде интерактивных элементов был создан преподавателем, это был сайт с гиперссылками на внешние ресурсы, в нем присутствовали ссылки на видеоролик и переходы на графические иллюстрации.

Для получения исходных вероятностных мер P для студентов обеих групп были использованы результаты обучения в предыдущем учебном семестре. Это были данные, полученные в рамках накопительной (рейтинговой) системы оценивания, реализуемой в вузе. Набранное количество баллов каждым студентом за предыдущее время обучения по предмету было переведено на язык вероятностей. Баллы студентов были поделены на сумму набранных баллов всем ансамблем студентов. Соответствующие числа мы интерпретируем как априорные вероятности правильно решить предложенные задачи, они порождают вероятностную меру P . На тестирование в конце занятия в обеих группах было отведено одинаковое время. Тестовые задания были одинаковыми. Фиксировалось количество правильных ответов у каждого студента. Затем оно делилось на максимально возможное число баллов, которое мог набрать студент. Это давало индивидуальную усредненную вероятность правильного ответа на весь тест или при усреднении на отдельные его задания. Ответы на отдельное задание в тесте в

соответствии с терминологией, используемой в теории вероятностей и прикладной статистике, считаются элементарными событиями, а ответы на подмножество элементарных событий считаются событиями, которые далее мы и анализирували. Задания в тесте оказывались для студентов разной степени трудности, поэтому вероятностная мера Q подсчитывалась не нормировкой индивидуальных усредненных вероятностей, а делением количества правильных ответов конкретного студента на общее количество правильных ответов, данных всеми студентами в тесте. Таким образом, в этой процедуре присутствует усреднение и по набору (ансамблю) задач, и по ансамблю участников тестирования. Естественно, что если кто-то не решил ни одной задачи, то его из расчетов необходимо удалять, этот случай можно считать неучастием в тестировании. Формально этот случай соответствует аномальному вкладу в информационную меру.

Проверке корректности, введенной нормированной вероятностной меры Q и информативности меры D_{KL} , была посвящена дальнейшая работа, при этом результаты сравнивались и проверялись при использовании других статистических критериев. На первом этапе мы проверили, насколько одинаковыми оказались статистические выборки, представленные двумя разными группами. Сравнивались рейтинги студентов группы 1 (51 человек) и группы 2 (53 человека). Был использован критерий Манна – Уитни [23], основанный на анализе инверсий ранговых шкал. Чем больше зона перекрытия ранговых шкал, тем более близки выборки по сравниваемому критерию. Эмпирическое значение критерия $U_{эмп}$ получилось равным 1385,5. Критическое значение для того, чтобы считать выборки неразличимыми по справочным таблицам, равно $U_{кр0.05} = 1098$. При выполнении неравенства $U_{эмп} > U_{кр0.05}$ верна нулевая гипотеза о неразличимости групп.

Мы применили этот же критерий Манна – Уитни к результатам тестирования, сравнивая набранные баллы студентами. $U_{эмп} = 1379$ и по-прежнему $U_{кр0.05} = 1098$. Критерий Манна – Уитни показывает, что оба способа работы студентов (с преподавателем и ЦОР) показали одинаковую результативность. Но так, очевидно, может быть не всегда, и может определяться как работой преподавателя, так и особенностями ЦОР.

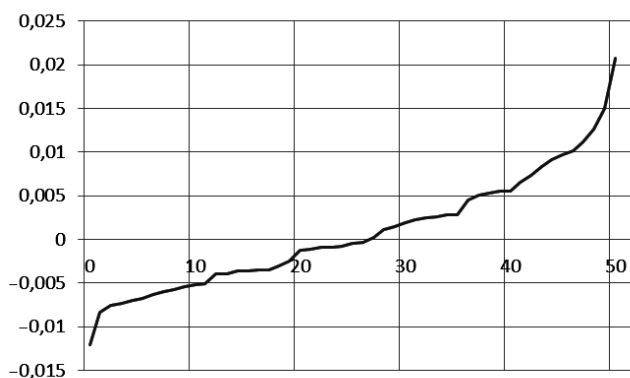
На следующем этапе мы проверили, насколько набранные баллы в тесте коррелируют с баллами, набранными студентами ранее в рамках накопительной системы оценивания работы. В обоих случаях был подсчитан коэффициент корреляции Спирмена. Он оказался близок к 0,5 в обоих случаях, что подтверждает предположе-

ния о том, что текущая успеваемость и накопленная успеваемость коррелируют и дают основания для успеха в вероятностном предсказании результатов тестирования. Этот результат можно было визуально заметить на построенных графиках. Небольшие отличия в угловых коэффициентах прямых, которые были получены, объясняются имеющей место асимметрией распределений в области небольших значений эмпирических данных, которые соответствуют данным для слабых студентов.

Следующее, что было сделано, – это подсчет информационной меры KL для одной и другой групп. Численные значения оказались следующие: $D_{KL}(P_1||Q_1) = 0,038$, $D_{KL}(P_2||Q_2) = 0,083$. Величина D_{KL} указывает на меру успешности или неуспешности усвоения материала в сравнении с ожидаемой с учетом потенциальных возможностей обучаемых. Напомним, что расходимость всегда положительна и не содержит знака «эффекта». Чтобы судить о том, сильным или нет является различие в числовых данных информационной меры D_{KL} для двух групп с определенными количественными данными для случайных событий = количеством студентов, нужно обращаться к соответствующим статистическим таблицам. К сожалению, их обнаружить не удалось. Такие таблицы могли бы характеризовать успешность или неуспешность работы с использованием разных средств обучения, методов, использованных приемов и т. д. С помощью таких таблиц можно пытаться выявлять роль различных латентных переменных в учебном процессе.

Более значимой оказывается информация, содержащаяся в отдельных слагаемых, входящих в информационную меру KL . Эти слагаемые отсортированы по возрастанию и построены графики их значений в зависимости от ранга. Каждая точка репрезентирует студента. Иллюстрация представлена на рисунке. Она соответствует мере KL для экспериментальной группы. Для контрольной группы график не отличается на качественном уровне от приведенного.

По горизонтальной оси отложен ранг, по вертикальной – значения слагаемых из мер D_{KL} . Видно, что значения могут быть как положительными, так и отрицательными, но в дискретном случае сумма значений (или площадь под кривой в континуальном случае) всегда положительна. Это довольно легко объясняется в исследовательской задаче. Правая часть графика описывает тех обучаемых, для которых $P(i) > Q(i)$, это те, кто не оправдал возлагавшихся на них надежд, плохо выполнил тестовые задания, хуже своих потенциальных возможностей.



Ранговое распределение слагаемых из информационной меры D_{KL} для группы 1

Левая часть графика, наоборот, описывает тех, кто при тестировании показал более высокие результаты, чем это делал на предыдущих этапах обучения, их значения $P(i) < Q(i)$. Поддерживать постоянно высокий уровень достижений сложнее, чем «взявшись в определенный момент за ум», начать показывать более высокие результаты, экономисты говорят, что у кого высокая «начальная база», тому сложнее показывать более высокие результаты и их прирост. Из графика видно, что наибольший вклад в информационную меру дают плохо предсказанные события, т. е. «непредсказуемость», «неожиданность в поведении». Как здесь не вспомнить концепцию «Черного лебедя» Нассима Талеба. Таким образом, отдельные слагаемые в информационной мере KL хорошо выявляют тех, на кого имеет смысл обратить более пристальное внимание и попытаться понять, в чем у них были проблемы на конкретном занятии.

Рисунок и аналогичный ему для другой группы студентов дают также возможность более детально анализировать результаты, задавая такие вопросы: что происходит со «средним классом» (середина графика)? как интенсивно в этой области идет дифференцировка обучаемых по достижениям в обучении (угол наклона сглаженной кривой)? не слишком ли сложными оказались задания в тесте? кому при критериальном оценивании результатов тестирования можно было бы добавить бонусные баллы, а с кого снять?

Обратим внимание на то, что величины слагаемых из информационных мер D_{KL} в нашем случае породили два ранговых распределения, которые можно сравнить между собой. Это либо ранги студентов групп 1 и 2, но могут быть ранги студентов одной и той же группы, полученные в двух разных тестированиях. Однако если в рамках классической теории тестирования [8] ранги (соответствующие событиям = студентам) приписывались на основании использования, как

правило, целочисленных данных (это набранные баллы в тесте), то сейчас мы имеем набор вещественных величин, полученных при удвоенном «разнообразии» использованных величин (P и Q). Это улучшает точность процедуры сравнения двух студенческих групп, в частности улучшает результаты применения критерия Манна – Уитни. Дело в следующем. В некоторых пособиях по прикладной статистике указывается, что в статистических алгоритмах среди сравниваемых данных не должно быть много совпадающих значений (желательно иметь все числа разные) или таких совпадений должно быть очень мало, пишут, что пороговое значение для повторов должно быть меньше или равно 10. В нашем случае даже при столбальной системе оценивания и таком количестве участвовавших в тестировании повторы неизбежны, тем более их много при сравнении результатов текущего тестирования в двух группах (у нас было всего 15 заданий в тесте). Авторы нашли обоснование ограничения на число повторов в рангах для метода Манна – Уитни в одной из работ [24]. Проверка с помощью численных расчетов с использованием метода Монте-Карло в этой работе показала, что: 1) повторы значений в выборках, которые наблюдаются тем чаще, чем меньшее количество возможных значений имеет случайная величина (это совершенно очевидно); 2) приводят к завышению вероятности ошибки первого рода и занижению достоверности вывода критерием Манна – Уитни (это результат моделирования из цитируемой работы).

При сравнении индивидуальных слагаемых из мер D_{KL} по методу Манна – Уитни получилась величина $U_{\text{эмп}} = 1326$, что по-прежнему выше $U_{\text{кр}0,05} = 1098$. В соответствии со сказанным в [24] действительно получен менее завышенный результат. Это можно расценить как дополнительный положительный результат, на который авторы данной статьи изначально не рассчитывали. Все результаты сравнений групп и их результатов в настоящей работе оказались согласованы между собой.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе продемонстрирована возможность использования информационной меры KL в педагогике, в частности в тестологии. Показана непротиворечивость полученных результатов другим статистическим критериям. В то же время при изложении материала были отмечены открытые вопросы, которые требуют дальнейших исследований. Некоторые исследования могут быть проведены с использованием компьютерного моделирования.

Другие можно осуществлять, проводя опытно-экспериментальную работу.

В педагогических исследованиях (диссертациях) авторы часто анонсируют поиск организационно-педагогических условий, способствующих достижению поставленных в работах целей. Предлагаемая к использованию в расчетах мера KL может оказаться полезной в такого рода задачах, если только корректно контролировать эти условия и корректно измерять последствия, можно даже контролируемо изменять условия и также фиксировать результаты. Соответствующие организационно-педагогические условия являются, как правило, латентными переменными, а мера KL дает возможность, не измеряя их количественно, отслеживать эффективность работы. Организационно-педагогические условия выступают в качестве «контекста» или «фона» для образовательного процесса.

Мера KL может выступать в качестве индикатора, описывающего переход обучающегося коллектива от одного «образовательного состояния» к другому. Необходимо при этом конкретизировать понятие «состояния» и выбрать такие его характеристики, которые можно измерить. Важно иметь операционально определенные стохастически меняющиеся во времени переменные состояния. Использование терминов «предыдущий», «последующий», которые мы использовали в тексте, применительно к мерам P и Q , явно указывает на то, что такая цепочка во времени может быть продолжена, но при этом нужно хорошо понимать, что $P_{\text{последующее}}$ должно быть сложным образом пересчитано и связано как с P , так и с Q , отвечающим предыдущей(им) итерации(ям) или предыдущему измерению(ям). При этом нужно иметь в виду, что как P , так и Q нормированы на единицу. Нормировки при пересче-

те должны сохраняться и выполняться. При пересчете возникает множество возможностей по учету роли старых состояний в текущем образовательном процессе и способам моделирования эредитарности процесса обучения. Можно также учитывать сложность отдельных уроков, изучаемых тем. Очевидно, что это может быть связано также с логикой и методикой подачи материала, его сложностью, метапредметностью, способами реализации индивидуальных маршрутов по «семантическому полю учебного предмета» или по его онтологическому описанию с использованием игровых механик и другими особенностями организации педагогического процесса.

Проиллюстрируем в качестве примера одну из возможностей приложения разработанного авторами подхода к оценке результативности опытно-экспериментального преподавания. Одним из способов вовлечения в учебную деятельность, которая обсуждается в последнее время как зарубежными, так и отечественными педагогами и методистами, является геймификация образовательного процесса [25, 26]. В работах по геймификации совершенно справедливо утверждается, что к настоящему моменту не созданы методы и инструменты, которые могли бы оценить эффект от реализации занятий со встроенными в них игровыми механиками. Например, в работе М.Г. Болтышева говорится, что «на текущий момент нет общепринятой модели оценки эффективности геймифицированных обучающих систем в цифровой среде» [27, с. 33].

Представленную на суд читателя измерительную процедуру можно позиционировать как относящуюся к направлению Learning Analytics, разрабатываемому как в зарубежной, так и отечественной литературе.

Список источников

1. Кульбак С. Теория информации и статистика. М.: Наука, 1976. 409 с.
2. Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency // The Annals of Mathematical Statistics. 1951. Vol. 22, № 1. P. 79–86.
3. Звонников В.И. Современные средства оценивания результатов обучения. Москва: Академия, 2007. 224 с.
4. Агальцов В.П. Контроль знаний – доминирующая составляющая образовательного процесса // Информатика и образование. 2005. № 2. С. 94–96.
5. Bloom B.S., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R. Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals. NYC: David McKay Company, 1956. 216 с.
6. Anderson L.W., Krathwohl D.R. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Addison Wesley Longman, 2001. 333 p.
7. Handbook of Polytomous Item Response Theory Models / Edited by M.L. Nering, R.Ostini. Routledge, 2010. 307 p.
8. Крокер Л., Алгина Дж. Введение в классическую и современную теорию тестов. М.: Логос, 2010. 668 с.
9. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Chicago: University of Chicago Press, 1980. 199 p.

10. Uchaikin V.V. Fractional Derivatives for Physicists and Engineers. Vol. I : Background and Theory. Springer, 2013. 400 p.
11. Reckase M.D. The difficulty of test items that measure more than one dimension // *Applied Psychological Measurement*. 1985. № 9. P. 401–412.
12. Handbook of Item Response Theory: Statistical Tools. Vol. 2 / Edited by Wim J. van der Linden. CRC Press, 2016. 442 p.
13. Wind S., Hua C. Rasch Measurement Theory Analysis in R. New York: Chapman and Hal. 2022. 323 p.
14. D’Elia A., Piccolo D. A mixture model for preferences data analysis // *Computational Statistics & Data Analysis*. 2005. № 49. P. 917–934. URL: <https://www.labstat.it/home/wp-content/uploads/2015/10/0deec526a04cff09db000000-1.pdf> (accessed 10 January 2025).
15. Corduas M. A statistical procedure for clustering ordinal data / *Quaderni di statistica*. 2008; 10. P. 177–189. URL: https://www.labstat.it/home/wp-content/uploads/2015/03/Corduas_2008.pdf (дата обращения: 10.01.2025)
16. Bini M., Monari P., Piccolo D., Salmaso L. Statistical methods for the evaluation of educational services and quality of products. 2009. 243 p.
17. Алябышева Ю.А., Антонов А.Ю., Веряев А.А. Цифровизация тезаурусного подхода в образовании // *Информатика и образование*. 2020. № 1. С. 51–58.
18. Бокова О.А., Веряев А.А. Субъективное восприятие неравенства и несправедливости школьниками и студенческой молодежью // *Перспективы науки и образования*. 2022. № 2 (56). С. 381–407.
19. Samawi H.M., Yin J., Zhang X., Yu L., Rochani H. et al. Kullback-Leibler Divergence for Medical Diagnostics Accuracy and Cut-point Selection Criterion: How it is related to the Youden Index // *J Appl Bioinforma Comput Biol*. 2020, Vol. 9, Issue 2. URL: https://www.scitechnol.com/peer-review/kullbackleibler-divergence-for-medical-diagnostics-accuracy-and-cutpoint-selection-criterion-how-it-is-related-to-the-youden-index-zT5p.php?article_id=11036 (дата обращения: 10.01.2025)
20. Clim A., Zota R., Tinica G. Procedia. The Kullback-Leibler Divergence Used in Machine Learning Algorithms for Health Care Applications and Hypertension Prediction: A Literature Review // *Computer Science*. 2018. Vol. 141. P. 448–453.
21. Applications of Information Theory to Epidemiology. URL: https://www.mdpi.com/journal/entropy/special_issues/epidemic (дата обращения: 10.01.2025)
22. Алябышева Ю.А., Веряев А.А., Лозыченко Ю.Э. Технология пролонгированного оценивания учебных достижений студентов при использовании информационной меры Кульбака – Лейблера // *Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: материалы VIII Междунар. науч. конф. Красноярск, 24–27 сентября 2024 г. Красноярск: КГПУ им. В.П. Астафьева, 2024. Ч. 1. С. 16–19.*
23. Кричевец А.Н., Корнеев А.А., Рассказова Е.И. Основы статистики для психологов. М.: Акрополь, 2019. 286 с.
24. Корнеев А.А., Кричевец А.Н. Условия применимости критериев Стьюдента и Манна – Уитни // *Психологический журнал*. 2011. 32. № 1. С. 97–110.
25. Алябышева Ю.А. Баракина Т.В., Бейлин М.В. и др. Геймификация в контексте восприятия и формирования представлений о неравенстве и несправедливости. Барнаул: Изд-во АлтГПУ, 2022. 212 с.
26. Кларин М.В. Инновационные модели обучения: Исследование мирового опыта. М.: Луч, 2016. 632 с.
27. Болтышев М. Г. Геймификация цифрового обучения: актуальные проблемы // *Информатика и образование*. 2022. Т. 37, № 3. С. 28–34.

References

1. Kullback S. *Teoriya informatsii i statistika* [Information theory and statistics]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 409 p. (in Russian).
2. Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1951, no. 22 (1), pp. 79–86.
3. Zvonnikov V.I. *Sovremennye sredstva otsenivaniya rezul'tatov obucheniya* [Modern means of assessing learning outcomes] Moscow, Akademiya Publ., 2007. 224 p. (in Russian).
4. Agal'tsov V.P. Kontrol' znaniy – dominiruyushchaya sostavlyayushchaya obrazovatel'nogo protsesssa [Knowledge control is a dominant component of the educational process]. *Informatika i obrazovaniye*, 2005, no. 2, pp. 94–96 (in Russian).
5. Bloom B.S., Engelhart M.D., Furst E.J., Hill W.H., Krathwohl D.R. *Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals*. NYC, David McKay Company, 1956. 216 p.
6. Anderson L.W., Krathwohl D.R. *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York, Addison Wesley Longman, 2001. 333 p.
7. *Handbook of Polytomous Item Response Theory Models*. Edited by Michael L. Nering, Remo Ostini. Routledge, 2010. 307 p.

8. Kroker L., Algina Dzh. *Vvedeniye v klassicheskuyu i sovremennuyu teoriyu testov* [An introduction to classical and modern test theory]. Moscow, Logos Publ., 2010. 668 p. (in Russian).
9. Rasch G. *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago: University of Chicago Press, 1980. 199 p.
10. Uchaikin V.V. *Fractional Derivatives for Physicists and Engineers*. Volume I: Background and Theory. Springer, 2013. 400 p.
11. Reckase M.D. The difficulty of test items that measure more than one dimension. *Applied Psychological Measurement*, 1985, no. 9, pp. 401–412.
12. *Handbook of Item Response Theory: Statistical Tools*. Vol. 2 Edited by Wim J. van der Linden. CRC Press, 2016. 442 p.
13. Wind S., Hua C. *Rasch Measurement Theory Analysis in R*. New York: Chapman and Hal, 2022. 323 p.
14. D'Elia A., Piccolo D. A mixture model for preferences data analysis. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2005, no. 49, pp. 917–934. URL: <https://www.labstat.it/home/wp-content/uploads/2015/10/0deec526a04cff09db000000-1.pdf> (accessed 10 January 2025).
15. Corduas M. A statistical procedure for clustering ordinal data. *Quaderni di statistica*, 2008, no. 10, pp. 177–189. URL: https://www.labstat.it/home/wp-content/uploads/2015/03/Corduas_2008.pdf (accessed 10 January 2025).
16. Bini M., Monari P., Piccolo D., Salmaso L. *Statistical methods for the evaluation of educational services and quality of products*, 2009. 243 p.
17. Alyabysheva Yu.A., Antonov A.Yu., Veryaev A.A. Tsifrovizatsiya tezaurusnogo podkhoda v obrazovanii [Digitalisation of the thesaurus approach in education]. *Informatika i obrazovaniye*, 2020, no. 1, pp. 51–58 (in Russian).
18. Bokova O.A., Veryaev A.A. Sub'ektivnoye vospriyatiye neravenstva i nespravedlivosti shkol'nikami i studencheskoy molodezh'yu [Subjective perception of inequality and injustice by school and university students]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Perspectives of Science and Education*, 2022; no. 2 (56), pp. 381–407 (in Russian).
19. Samawi H.M., Yin J., Zhang X., Yu L., Rochani H. et al. Kullback-Leibler Divergence for Medical Diagnostics Accuracy and Cut-point Selection Criterion: How it is related to the Youden Index. *J Appl Bioinforma Comput Biol*, 2020, vol. 9, no. 2. URL: https://www.scitechnol.com/peer-review/kullbackleibler-divergence-for-medical-diagnostics-accuracy-and-cutpoint-selection-criterion-how-it-is-related-to-the-youden-index-zT5p.php?article_id=11036 (accessed 10 January 2025).
20. Clim A., Zota R., Tinica G. Procedia. The Kullback-Leibler Divergence Used in Machine Learning Algorithms for Health Care Applications and Hypertension Prediction: A Literature Review. *Computer Science*, 2018, vol. 141, pp. 448–453.
21. *Applications of Information Theory to Epidemiology*. URL: https://www.mdpi.com/journal/entropy/special_issues/epidemic (accessed 10 January 2025).
22. Alyabysheva Yu.A., Veryaev A.A., Lozychenko Yu.E. Tekhnologiya prolongirovannogo otsenivaniya uchebnykh dostizheniy studentov pri ispol'ovanii informatsionnoy mery Kul'baka – Leyblera [Technology of prolonged assessment of students' learning achievements using the Kulbak-Leibler information measure]. *Informatizatsiya obrazovaniya i metodika elektronnoy obucheniya: tsifrovyte tekhnologii v obrazovanii: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Krasnoyarsk, 24–27 sentyabrya 2024 g.: Chast' 1 [Informatization of education and methods of e-learning: digital technologies in education: materials of the VIII International scientific conference Krasnoyarsk, September 24–27, 2024]. Krasnoyarsk, KSPU named after V.P. Astafyev Publ., 2024. Pp. 16–19 (in Russian).
23. Krichevets A.N., Korneev A.A., Rasskazova E.I. *Osnovy statistiki dlya psikhologov* [Fundamentals of statistics for psychologists]. Moscow, Akropol' Publ., 2019. p. 286. (in Russian).
24. Korneev A.A., Krichevets A.N. Usloviya primenimosti kriteriev St'yudenta i Manna – Uitni [Conditions of applicability of Student's and Mann–Whitney criteria]. *Psikhologicheskiy zhurnal – Psychological Journal*, 2011, vol. 32, no. 1, pp. 97–110 (in Russian).
25. Alyabysheva Yu.A., Barakina T.V., Beylin M.V. et al. Geymifikatsiya v kontekste vospriyatiya i formirovaniya predstavleniy o neravenstve i nespravedlivosti [Gamification in the context of perceptions and perceptions of inequality and injustice]. Barnaul, AltGPU Publ., 2022. 212 p. (in Russian).
26. Klarin M.V. *Innovatsionnye modeli obucheniya: Issledovaniye mirovogo opyta* [Innovative Models of Learning: A Study of Global Experiences]. Moscow, Luch Publ., 2016. 632 p. (in Russian).
27. Boltyshev M.G. Geymifikatsiya tsifrovogo obucheniya: aktual'nye problemy [Gamification of digital learning: current issues]. *Informatika i obrazovaniye*, 2022, no. 37 (3), pp. 28–34 (in Russian).

Информация об авторах

Алябышева Ю.А., кандидат педагогических наук, доцент, Алтайский государственный педагогический университет (ул. Молодежная, 55, Барнаул, Россия, 656031).

E-mail: alyabysheva_y@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0619-9984>; SPIN-код: 6039-3970, AuthorID: 797659

Веряев А.А., доктор педагогических наук, профессор, Алтайский государственный педагогический университет (ул. Молодежная, 55, Барнаул, Россия, 656031).

E-mail: veryaev_aa@mail.ru; ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4338-0811>;

Профиль в Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7801339311>;

Профиль в WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/U-8586-2017>;

SPIN-код: 8344-3280; AuthorID: 117346

Лозыченко Ю.Э., старший преподаватель, Филиал Российского государственного социального университета (ул. Тургенева, 26, Анапа, Россия, 353440).

E-mail: uliya_l@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6602-1158>; SPIN-code: 6106-2761, AuthorID: 710458

Information about the authors

Alyabysheva Yu.A., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Altai State Pedagogical University (ul. Molodezhnaya, 55, Barnaul, Russian Federation, 656031).

E-mail: alyabysheva_y@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0619-9984>; SPIN-code: 6039-3970, AuthorID: 797659

Veryaev A.A., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Altai State Pedagogical (ul. Molodezhnaya, 55, Barnaul, Russian Federation, 656031).

E-mail: veryaev_aa@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4338-0811>,

Scopus Profile: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7801339311>;

Web of Science Profile: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/U-8586-2017>;

SPIN Code: 8344-3280; AuthorID: 117346

Lozychenko Yu.E., Senior Lecturer, Branch of the Russian State Social University

(ul. Turgeneva, 26, Anapa, Russian Federation, 353440).

E-mail: uliya_l@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6602-1158>; SPIN-code: 6106-2761, AuthorID: 710458

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; принята к публикации 31.07.2025

The article was submitted 13.01.2025; accepted for publication 31.07.2025