УДК: 001.51: 167.6

РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ ВАЛИДНОСТИ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ

Р. В. Гурина

Ульяновский государственный университет
Ульяновск, Российская Федерация
e-mail: roza-gurina@yandex.ru

Е. В. Морозова

Ульяновский государственный университет
Ульяновск, Российская Федерация
e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru

В. В. Кошева

Ульяновский государственный университет
Ульяновск, Российская Федерация
e-mail: vilenabedash@yandex.ru

Аннотация. Ранговый анализ (ценологический подход), опирающийся на строгий математический аппарат, позволяет на научной объективной основе проводить диагностику состояния образовательных систем и процессов. В основе рангового анализа – применение закона гиперболического рангового распределения объектов в системах-ценозах, являющегося уточнённым законом Парето 20/80 (закон Парето-Кудрина). На примере использования рангового анализа в оценке валидности олимпиадных заданий всероссийской многопрофильной инженерной олимпиады «Звезда» показана необходимость внедрения рангового анализа в практику управления качеством образования. Показано, этот закон важно и целесообразно применять в управлении качеством образования. Оптимизация образовательных систем и процессов с помощью рангового анализа заключается в устранении аномальных отклонений от гиперболического закона, что возможно лишь при графической визуализации рангового распределения и его аппроксимации. График рангового распределения обеспечивает наглядность и представление о характере рангового убывания. Недочёты в содержании олимпиадных (а также тестовых) заданий, дающие ухудшение их валидности и надёжности, проявляются в виде искажений гиперболического графика (горбы, впадины, хвосты, вырождение гиперболы в другие зависимости). Проводимый на научной основе, ранговый анализ позволяет объективно выделять несколько уровней валидности олимпиадных или тестовых заданий. Приведены графики ранговых распределений, иллюстрирующие примеры высокой (естественно-научное направление) и ниже средней (история) валидностей олимпиадных заданий. Образовательные системы являются ценозами, объекты ранжирования в них – учащиеся, классы, школы и т.д., а их ранжируемые параметры – это успеваемость, рейтинг в баллах, показатели эффективности и т.п. Применение несложного математического аппарата рангового анализа и компьютерных программ выводят технологии оценки качества образования на более высокий уровень, отвечающий вызовам времени.

Ключевые слова: ранговое распределение, ценоз, ценологический подход, управление качеством образования.

Для цитаты: Гурина Р. В., Морозова Е. В., Кошева В. В. Ранговый анализ в оценке валидности олимпиадных заданий // Профессиональное образование в современном мире. 2020. Т. 10, №4. С. 4302–4309. DOI: <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2020-4-3112-3120>

DOI: 10.20913/2618-7515-2020-4-14

RANK ANALYSIS IN EVALUATING THE VALIDITY OF OLYMPIAD TASKS

Gurina, R. V.

Ulyanovsk State University
Ulyanovsk, Russian Federation
e-mail: roza-gurina@yandex.ru

Morozova, E. V.

Ulyanovsk State University
Ulyanovsk, Russian Federation
e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru

Kosheva, V. V.

Ulyanovsk State University
Ulyanovsk, Russian Federation
e-mail: vilenabedash@yandex.ru

Abstract. *The rank analysis (cenological approach) based on a strict mathematical apparatus allows diagnosing the state of educational systems and processes on a scientific objective basis. The rank analysis base is applying the law of hyperbolic rank distribution of objects in systems-cenoses, which is a refined Pareto law 20/80 (Pareto-Kudrin law). Using of rank analysis to evaluate the validity of the olympiad tasks of the all-Russian Multidisciplinary Engineering Olympiad «Star», the authors demonstrate the necessity of implementing rank analysis in the practice of education quality management. They show that this law is important and appropriate to apply in the education quality management. Optimization of educational systems and processes using rank analysis consists in eliminating anomalous deviations from the hyperbolic law, which is possible only with graphical visualization of the rank distribution and its approximation. The rank distribution graph provides visibility and insight into the nature of the rank decrease. Shortcomings in the content of olympiad tasks (as well as tests), leading to a deterioration of their validity and reliability, are shown the form of distortions of the hyperbolic graph (humps, depressions, tails, degeneration of the hyperbola into other dependencies). The rank analysis allows identifying objectively several levels of validity of olympiad or test tasks carrying on a scientific basis. The paper demonstrates graphs of run distributions illustrating examples of high (natural science) and below the average (history) validity of olympiad tasks. Educational systems are cenoses, ranking objects in them are students, classes, schools, etc., and their ranked parameters are academic performance, rating in points, performance indicators, etc. Using simple mathematical tools of rank analysis and computer software bring the technologies to assess the education quality to a higher level meeting the challenges of the time.*

Keywords: *rank distribution, cenosis, cenological approach, quality management of education.*

For quote: *Gurina, R. V., Morozova, E. V., Kosheva, V. V. [Rank analysis in evaluating the validity of olympiad tasks]. Professional education in the modern world, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 4302–4309. DOI: <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2020-4-3112-3120>*

Введение. Одним из методов, широко применяемых в управлении качеством образования (УКО), является метод ранжирования – приведения значений параметра объектов системы в соответствие рангу (номеру объекта ранжирования) в порядке убывания этого параметра и представление результатов в виде табулированного рангового распределения (РР) или рейтинга (то есть в виде набранной суммы баллов, очков, интегративных показателей и т. д.). Однако этот метод не объективен, так как верхние и нижние границы оценки эффективности систем по рейтинговым таблицам устанавливаются, как правило, субъективным решением судей: по договоренности выделяются численные показатели, делящие систему на несколько качественных уровней и далее проводится черта, ниже которой система объявляется неэффективной и требующей оптимизации.

В отличие от описанного выше метода ранжирования, **ранговый анализ (или ценологический подход)** [1–7] опирается на строгий математический аппарат и доказательность. Теория рангового анализа (РА) была разработана профессором МЭИ Б.И. Кудриным в сфере техники (www.kudrinbi.ru) более

30 лет назад и в последующие годы перенесена его последователями на другие области знаний, в том числе на область образования (www.gurinarv.ulsu.ru).

Однако РА до сих пор не рассматривается в сфере УКО как метод улучшения образовательных процессов и систем и оценки их эффективности. В настоящей статье приводится методика применения РА в сфере УКО как способа оценки качества олимпиадных заданий на примере всероссийской инженерной олимпиады школьников «Звезда», проводимой Ульяновским госуниверситетом (УлГУ) в 2019 г. для школьников Ульяновского региона.

УлГУ как опорный вуз региона на протяжении четырех лет является соорганизатором многопрофильной инженерной школьной олимпиады «Звезда» в регионе – самой масштабной олимпиады, проводимой Минобрнауки РФ. В 2019/2020 учебном году она объединила учащихся более 70 общеобразовательных учреждений Ульяновска и Ульяновской области и проводилась по направлениям «Русский язык», «Обществознание», «История», «Естественные науки», «Техника и технологии» и по профилям «Авиационная и ракетно-космическая техника», «Технологии материалов», «Техника и технологии наземного транспорта». Общее количество участников отборочного этапа составило 12 462 человека.

Методика исследования. Ранговый анализ, или ценологический подход. *Ранговый анализ, или ценологический подход*, рассматривает образовательные системы как социальные ранговые системы-ценозы, для которых справедлив гиперболический закон РР. Ценоз – (от греческого *koinos* – общий) сообщество. Однако не любое сообщество – ценоз. Система является *ценозом*, если РР объектов в нем подчиняется гиперболическому закону:

$$W = \frac{A}{r^\beta}, \quad (1)$$

где W – ранжируемый параметр системы, r – ранговый номер элемента (особи) в ней (1, 2, 3...), A – максимальное значение параметра W с рангом $r=1$, b

Рис. 1. ГРР участников отборочного тура олимпиады «Звезда» по направлению «Естественные науки» в Ульяновском регионе (ноябрь 2019 г.) без учета 0-балльников. W – количество баллов, r – ранговый номер учащегося. Показатель кривизны гиперболы $\beta=0,63$

Fig. 1. Hyperbolic rank distribution of participants in the qualifying round of «Star» Olympiad in natural sciences, Ulyanovsk region (November 2019), excluding 0-point scores. W – number of points, r – the student's ranking number. The hyperbola curvature index $\beta = 0.63$.

Общее число участников 2500. Часть участников (около 500) получили 0 баллов (сдали пустые листы). График ГРР построен без учёта этих 0-балльников. Из графика видно: 300 лучших или 15% участников получили от 50 до 96 баллов. Учащиеся с наихудшими результатами, получившие от 0 до 10 баллов, образуют на графике точки заваливающегося резко вниз хвоста гиперболы («маргинальный хвост» по терминологии РА). Такой завал хвоста на графике ГРР в техноценозе обозначает кластер отработанной техники, металлолом; в учебной группе учреждений профессионального образования – это неуспевающие, кандидаты на отчисление.

Из графика (рис. 1) видно, что эмпирические точки хорошо ложатся на аппроксимационную сплошную линию: квадрат коэффициента регрессии R^2 равен 0,655. Следовательно, коэффициент регрессии $R = 0,81$ показывает довольно высокую степень приближения эмпирических точек к теоретической гиперболе.

Если отбросить на графике точки «маргинального хвоста» и построить новое ГРР с аппроксимацией, совпадение эмпирических точек с теоретической гиперболой существенно увеличивается – коэффициент регрессии R становится равным 0,93. С учётом же 0-балльников, график рис. 1 аппроксимируется с более низким коэффициентом регрессии: $R^2 = 0,5487$, $R = 0,73$ (графики не приводятся). 300 лучших или 15% участников отборочного тура (без учёта 0-балльников), получивших от 50 до 96 баллов были допущены ко второму, заключительному туру. Для них график ГРР представлен на рис. 2.

Рис. 2. ГРР участников заключительного тура олимпиады «Звезда» по направлению «Естественные науки» в Ульяновском регионе (ноябрь 2019 г.) W – количество баллов, r – ранговый номер учащегося. Показатель кривизны гиперболы $\beta=0,91$. Количество участников, выделенное из первого тура – 300.

Fig. 2. Hyperbolic rank distribution of participants of the final round of «Star» Olympiad in natural sciences, Ulyanovsk Region (November 2019). W – number of points, r – student's rank number. The hyperbola curvature index $\beta = 0.91$. The number of participants selected of the first round is 300.

Лучшие из лучших, или 7% из 300 участников на этом туре получили от 65 до 100 баллов. Эта когорта школьников представляет собой интеллектуальный потенциал региона в сфере естественных наук. Эмпирические точки хорошо ложатся на аппроксимационную кривую – квадрат коэффициента регрессии $R^2 = 0,655$, следовательно коэффициент регрессии $R = 0,81$. По известному закону Парето 20/80 [8] количество элитных образцов («лучших из лучших») в любой системе (в том числе, ценозе) составляют около 10%, но не более, чем 20%. Гиперболический закон рангового распределения – это уточненный закон Парето, и его по праву называют законом Парето – Кудрина [1–3]. РА, примененный к оценке качества заданий олимпиады «Звезда» позволяет выделить интеллектуальную элиту подрастающего поколения Ульяновского региона в естественно-научной области.

Однако управленцам образования следует учесть, что не следует направлять на олимпиаду слишком большое количество участников по принципу «чем больше, тем лучше», включая совсем не подготовленных (0-балльники) и слабо подготовленных учащихся, из которых формируется в рассматриваемом формате на данном конкретном мероприятии кластер, образующий на графике ГРР завал хвоста гиперболы.

Не секрет, что в системе образования сформировалась практика, согласно которой директора школ вынуждены сгонять учащихся на олимпиады и другие мероприятия по квоте, спущенной сверху из регионального Министерства образования. При этом вполне очевидно, что чиновники не задумываются, как чувствует себя ученик (и его наставник, учитель), получивший низкий балл, тем более, 0 баллов. Чиновникам Управления образования следует быть внимательными и, конечно, учитывать при планировании олимпиадных мероприятий, конкурсов и составлении заданий к ним закон Парето – Кудрина.

Оптимизация заключается в устранении аномальных отклонений от закона ГРР (1), что можно зафиксировать лишь при графической визуализации РР (табулированное РР показывает лишь факт убывания). Графический вид РР и его аппроксимация к зависимости (1) обеспечивает не только наглядность, но и научный уровень представления знания о характере рангового убывания.

Как было сказано выше, кластер элитных объектов (или «ноева каста» по терминологии Б.И. Кудрина) в любом реальном ценозе (в том числе образовательном) согласно ГРР (1) составляет меньшинство, но не более 20%. Такая асимметрия заложена от микро- до мегауровня во всей живой и неживой природе, технике, экономике, социуме, в том числе педагогике – это универсальный закон. Как известно, асимметричное ГРР относится к негауссовым распределениям, для которых не имеет смысла понятие среднего. Если рейтинг баллов в РР убывает не по гиперболе, а, например, линейно, то число лучших, средних и слабых учащихся составляет – по 1/3 (то есть поровну) в каждом кластере и понятие среднего уже применимо к данному виду РР.

Любые недочеты в содержании олимпиадных (а также тестовых) заданий дают ухудшение их валидности и надежности, а в графическом РР – искажения в форме выпадение точек из теоретической аппроксимированной кривой, горбы, хвосты, изломы, отступление РР от гиперболы и вырождение ее в другие виды зависимостей. Графики (рис. 3 а, б) иллюстрируют примеры вырождения ГРР в линейные.

Рис. 3. Линейное РР участников олимпиады «Звезда» по истории в Ульяновском регионе (ноябрь 2019 г.). W – количество баллов, r – ранговый номер учащего; а) отборочный тур: количество участников – 2404; б) заключительный тур: количество участников – 196.

Fig. 3. Linear rank distribution of participants of «Star» Olympiad in history, Ulyanovsk Region (November 2019). W – number of points, r – rank number of the student; а) qualifying round: amount of participants – 2404; б) final round: amount of participants – 196

Рисунок 3а иллюстрирует РР отборочного тура участников всероссийской олимпиады «Звезда» по истории в Ульяновском регионе (число участников – 2404). РР аппроксимируется к линейной зависимости с очень высокой точностью – коэффициент регрессии близок к единице $R^2 = 0,98$, $R = 0,99$. (аппроксимация к гиперболе показала гораздо низкие коэффициенты регрессии: $R^2 = 0,55$, $R = 0,74$).

Из участников отборочного тура субъективным решением судей было отобрано 196 или 8,2% учащихся для участия в заключительном туре, что формально отвечает закону Парето.

На рисунке 3б представлен график РР участников олимпиады по истории заключительного тура. РР также с высокой точностью аппроксимируется линейной зависимостью ($R^2 = 0,97$, $R = 0,98$), хотя и имеет некоторую нелинейность – загиб вверх части точек над прямой.

Из линейной аппроксимации графиков РР (рис. 3 а, б) следует, что олимпиадные баллы распределены равномерно, следовательно, участники исторической олимпиады разделились поровну на сильных, средних и слабых, что не соответствует универсальному закону Парето 20/80 и ГРР (1). Содержание олимпиадных заданий по истории не позволяет объективно выделить элитный кластер из отборочного тура (рис. 3а) и сформировать из них команду участников второго отборочного тура. Линейный график (рис. 3б) заключительного тура не позволяет выделить элитный кластер учащихся «лучших из лучших».

Из графиков (рис. 3 а, б) следует: система заданий была недостаточно валидной и в будущем ее надо оптимизировать. Для увеличения валидности заданий обоих туров надо было ввести специально подобранные вопросы повышенной сложности и креативности.

Однако более тщательный РА ГРР (рис. 3б) позволяет разделить это ГРР на две подсистемы – слабо выраженную гиперболу малой крутизны $\beta = 0,19$ и с ранговыми номерами от $r = 1$ до $r = 80$ (рис. 4а) и линейное РР от $r = 81$ до $r = 196$ (рис. 4б). Эта гипербола имеет следующие параметры: квадрат коэффициента регрессии $R^2 = 0,94$, коэффициент регрессии $R = 0,97$. Из этого ГРР легко выделяются паретовские «лучшие из лучших» – 16 участников или 20% из 80, имеющие самые высокие баллы – от 75 до 100.

Рис. 4. Подсистемы рангового распределения участников заключительного этапа олимпиады «Звезда» по истории в Ульяновском регионе (ноябрь 2019 г.) W – количество баллов, r – ранговый номер учащего; а) гиперболическое РР от $r = 1$ до $r = 80$; б) линейное РР от $r = 81$ до $r = 196$
Fig. 4. Subsystems of the rank distribution of participants at the final stage of «Star» Olympiad in history, Ulyanovsk Region (November 2019). W – number of points, r-student's rank number; а) hyperbolic rank distribution from $r = 1$ to $r = 80$; б) linear rank distribution from $r = 81$ to $r = 196$

Из вышесказанного следует: в целях соблюдения принципа научности необходимо привлекать РА в УКО, в частности – при составлении олимпиадных и тестовых заданий (в том числе ЕГЭ).

В целом РА позволяет вычленив несколько (3–5) уровней валидности. Определяющим параметром является крутизна гиперболы β . Например, шкала четырех уровней валидности выделяет:

- *высокий уровень* валидности; на графике выражается гиперболой с высоким ранговым коэффициентом β (около 0,8–1) и высоким уровнем аппроксимации зависимостью (1) – графики на рисунке 2;
- *средний уровень* (удовлетворительная валидность) – РР представляет собой гиперболу с невысоким ранговым коэффициентом β (около 0,5) и, как правило, невысоким коэффициентом регрессии (рис. 1); однако аппроксимация может быть и высокой (рис. 4а);
- *ниже среднего* – гипербола вырождена в другие графические зависимости, например, линейную (рис. 3 а, б) или гипербола сильно искажена;
- *0-валидность*, при этом графики РР – это прямые, параллельные оси рангов с $W = 100\%$ – все победители (задания слишком легкие) или $W = 0$ (задания слишком трудные – никто не справился, все в маргинальном кластере).

Из всего вышесказанного следует, что олимпиадные задания по естественно-научному направлению отвечают более высокому уровню валидности, чем задания по истории. Можно предположить, что совокупность заданий по истории ориентирована на среднего ученика и не отвечают принципу системности, то есть не представляют собой иерархическую систему – очень сложные, сложные, средние

задания (легких не должно быть). Вторым фактором может быть специфический тип мышления гуманитариев по сравнению с естественниками, что требует дополнительного исследования.

В заключение отметим, что график ГРР – это визуализированный в графическом исполнении закон необходимого разнообразия Эшби (1959), а закон ГРР (1) – его математическая форма [1]. В настоящее время разнообразие признано одним из основополагающих характеристик системы и этому закону придается статус универсального, так как он справедлив и для других систем – технических, естественно-научных, социальных. С уменьшением β в (1), график ГРР вырождается в линейный, то есть в РР с равномерным убыванием параметра W – состоянию с максимальным разнообразием. Значение понятия «необходимое разнообразие» – это разнообразие параметров системы, которое в РР образует гиперболу, а закон необходимого разнообразия – это, по сути, «закон необходимости гиперболического разнообразия».

Российские олимпиады – наиболее масштабные мероприятия, финансируемые государством, ключевой целью которых является отбор, формирование и поддержка интеллектуальной элиты общества – ведущего актива нации.

По общепризнанной концепции выдающегося российского мыслителя А.А. Любичева актив нации, или элита – ведущая часть общества – совокупность генетически и идеологически наиболее полноценных его членов, играет ведущую роль в прогрессивном развитии той или иной нации или всего человечества: если элита вырождается или исчезает, нация вступает на путь стагнации или упадка. Любичев называет «наиболее полезный для развития цивилизации актив – ученые, философы, основатели религиозных течений» [9, с. 36–37].

Выводы. Среди многих задач, которые решает управление качеством (УК), в том числе в сфере образования, наиболее важными являются задачи *результативности* (достигнут ли запланированный результат), *эффективности* (какой ценой достигнут результат), *оптимизации* (способы улучшения системы или процесса). Успешное решение этих задач в сфере организации олимпиад определяется в большой степени валидностью заданий.

Результаты свидетельствуют о необходимости организации и проведении олимпиад, тестов на строго научной основе с учетом ценологического подхода – с использованием РА. Знание закона (1) и обязательная визуализация его в виде построения графических РР рейтинга успеваемости учащихся класса (группы, курса) необходимы для управления образовательным процессом и его прогнозирования. Наличие РР в виде списка не даёт информации о характере убывания. Только графическое изображение РР дает знание о характере реального рангового убывания и информацию о путях улучшения образовательного процесса.

Применение РА в УКО может быть осуществлено:

- в оптимизации образовательного процесса, сущность которого заключается в устранении аномальных отклонений в графике РР («хвостов», «горбов», «впадин», вырождении гиперболы в другие виды зависимостей);
- в технологиях оценки и контроля качества образования в образовательных учреждениях, в том числе для оценки валидности олимпиадных, контрольных и тестовых заданий;
- в прогнозировании результатов обучения (например, количество медалистов в классе, количество двоек или отличных оценок на группу на любом экзамене, должно составлять не более 20% от общего числа оценок).

Закон (1) как уточненный закон Парето обосновывает закономерности функционирования учебной группы как ранговой системы: отсеб неуспевающих, малое число олимпиадников, медалистов.

РА позволяет определять адекватность рейтинговых систем оценки знаний учащихся, эффективно функционирующая учебных заведений, что составляет его практическую значимость в УКО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурина Р.В., Евсеев Д.А. Ранговый анализ, или ценологический подход, в методологии прикладных исследований. Ульяновск: УлГУ, 2018. 287 с.
2. Гурина Р.В. Ранговый анализ образовательных систем (ценологический подход): метод. рекомендации для работников образования. Москва: Технетика, 2006. 40 с.
3. Гурина Р.В. Ценологические исследования педагогических образовательных систем // Ползуновский вестник. 2004. №3. С. 133–138.
4. Гурина Р.В. Метод рангового анализа и закон разнообразия в педагогике // Педагогический журнал Башкортостана. 2013, №3/4. С. 111–122.
5. Гурина Р.В., Бедаш В.В. Метод рангового анализа в управлении качеством образования // Международный журнал экспериментального образования. 2014. №7. С. 108–111.
6. Гурина Р.В., Бедаш В.В. Законы социальной сферы // Евразийский Союз учёных. 2014. №8. С. 16–20.
7. Гурина Р.В., Морозова Е.В. Ценология – учение о ценозах разной природы // Образовательные технологии. 2020. №1. С. 40–49.

8. Кох Р. Закон Парето или принцип 80/20 // Общая и прикладная ценология. 2007. №4. С. 76–79.
9. Любичев А. А. Расцвет и упадок цивилизаций (предварительный набросок). Ульяновск; Самара, 1993. 131 с.

REFERENCES

1. Gurina R. V., Evseev D. A. Rank analysis, or cenological approach, in the methodology of applied research. Ulyanovsk. UISU, 2018, 287 p. (In Russ.)
2. Gurina R. V. Rank analysis of educational systems (cenological approach): methodological recommendations for educators. Moscow, Technetika, 2006, 40 p. (In Russ.)
3. Gurina R. V. Cenological research of pedagogical educational systems. *Polzunovsky Bulletin*, 2004, no. 3, pp. 133–138. (In Russ.)
4. Gurina R. V. Rank analysis method and the law of diversity in pedagogy. *Pedagogical Journal of Bashkortostan*, 2013, no. 3/4, pp. 111–122. (In Russ.)
5. Gurina R. V., Bedash V. V. Rank analysis method in education quality management. *International Journal of Experimental Education*, 2014, no. 7, pp. 108–111. (In Russ.)
6. Gurina R. V., Bedash V. V. Laws of the social sphere. *Eurasian Union of Scientists*, 2014, no. 8, pp. 16–20. (In Russ.)
7. Gurina R. V., Morozova E. V. Cenology is the doctrine of cenoses of different nature. *Educational Technologies*, 2020, no. 1, pp. 40–49. (In Russ.)
8. Koch R. Pareto's law or 80/20 principle. *General and Applied Cenology*, 2007, no. 4, pp. 76–79. (In Russ.)
9. Lyubishev A. A. *Rise and fall of civilizations: (a preliminary sketch)*. Ulyanovsk, Samara, 1993, 131 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Гурина Роза Викторовна – доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры физических методов в прикладных исследованиях, инженерно-физический факультет высоких технологий, Ульяновский государственный университет (Российская Федерация, 432 000, Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, e-mail: roza-gurina@yandex.ru).

Морозова Екатерина Владимировна – кандидат физико-математических наук, кафедра физических методов в прикладных исследованиях, инженерно-физический факультет высоких технологий, Ульяновский государственный университет (Российская Федерация, 432 000, Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru).

Кошева Вилена Вячеславовна – аспирант кафедры физического материаловедения, инженерно-физический факультет высоких технологий, Ульяновский государственный университет (Российская Федерация, 432 000, Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, e-mail: vilenabedash@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 01.09.20

После доработки 10.11.20

Принята к публикации 13.11.20

Information about the authors

Rose V. Gurina – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor, Department of Physical Methods in Applied Research, Faculty of Engineering and Physics of High Technologies, Ulyanovsk State University (42 L. Tolstoy Str., Ulyanovsk, 432 000, Russian Federation, e-mail: roza-gurina@yandex.ru).

Ekaterina V. Morozova – Candidate of Physical-Mathematical Science, Department of Physical Methods in Applied Research, Faculty of Engineering and Physics of High Technologies, Ulyanovsk State University (42 L. Tolstoy Str., Ulyanovsk, 432 000, Russian Federation, e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru).

Kosheva V. Vilena – postgraduate student, Department of Physical Materials Science, Faculty of Engineering and Physics of High Technologies, Ulyanovsk State University (42 L. Tolstoy Str., Ulyanovsk, 432 000, Russian Federation, e-mail: vilenabedash@yandex.ru).

The paper was submitted 01.09.20

Received after reworking 10.11.20

Accepted for publication 13.11.20