

УДК 519.6

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕСТОВ
НА ОСНОВЕ РЯДА ДАННЫХ
(НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА РЕАЛИЗАЦИИ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ
СИСТЕМЫ НА КАФЕДРЕ МАТЕМАТИКИ УГНТУ)**

**METHODS FOR ASSESSING RELIABLE TEST
BASED ON A NUMBER OF TEST DATA
(FOR EXAMPLE, THE EXPERIENCE OF THE IMPLEMENTATION
OF THE SCORE-RATING SYSTEM AT THE DEPARTMENT
OF MATHEMATICS USPTU)**

Глебов С. Г., Лазарев В. А., Хайбуллин Р. Я.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

S. G. Glebov, V. A. Lazarev, R. Y. Khaybullin

**FSBEI NPE «Ufa State Petroleum Technological University»,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: glebskie@gmail.com

Аннотация. Тестирование одной и той же группы студентов на протяжении некоторого, достаточно продолжительного времени дает возможность исследователю, как ставить и исследовать специфические тестологические задачи, так и искать новые подходы к решению традиционных задач. Данная статья посвящена вопросу оценивания надежности результатов тестирования, проводимого в качестве текущего и промежуточного контроля уровня освоения студентами пройденного материала в рамках балльно-рейтинговой системы (БРС). Очевидно, что результаты тестирования по своей природе являются величинами

случайными, однако, неудачно построенный тест способен сильно увеличить неустойчивость результатов, внести дополнительную (часто систематическую) ошибку, что может поставить под сомнение надежность результатов и адекватность последующих выводов. Имеющиеся теоретические методы не всегда реализуемы на практике, поскольку подразумевают, например, повторное тестирование той же группы студентов (ретестовый метод, метод параллельных форм).

Авторами рассматриваются подходы, основанные на анализе результатов нескольких последовательных тестов. Эти подходы используют аппарат математической статистики, прочно вошедший в обиход практикующих психологов и педагогов. Если в течение относительно короткого промежутка времени проводится несколько тестов на одном потоке (пусть и по разным разделам), то результаты, очевидно, должны быть достаточно сильно коррелированы. В основе этого тезиса лежит предположение о постоянстве латентных параметров высокого уровня, таких как базовая подготовка студента, свойства его личности, мотивация к обучению и т.д. Если тесты надежны, то более изменчивый фактор – уровень подготовки студентов к конкретному тесту, на этом фоне вносит в результаты относительно незначительную вариацию. В качестве меры тесноты статистической связи используется коэффициент корреляции и коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Также в статье обсуждаются ограничения в применении повторного тестирования и возможные приложения дисперсионного анализа к поставленной проблеме.

Abstract. Testing of the same group of students over a sufficiently long period of time allows the researcher to explore how to set and testological specific tasks and look for new approaches to solving traditional problems. This article is devoted to estimation of the reliability of test results, conducted as the current control and intermediate level students mastering the material covered in the framework of score-rating system (BRS). It is obvious that the test results

are inherently random variables, however, fail the test built able to greatly increase the instability of the results, make an extra (often systematic) errors that may call into question the reliability of the results and the adequacy of the following conclusions. Available theoretical methods are not always realizable in practice, since it implies, for example, re-test the same group of students (test-retest method, parallel forms).

The author examines the approaches based on the analysis of several consecutive tests. These approaches use the apparatus of mathematical statistics, firmly entered into the everyday life of practicing psychologists and educators. If within a relatively short period of time is carried out several tests on the same stream (albeit in different sections), the results must obviously be sufficiently strongly correlated. At the core of this thesis is the assumption of the constancy of the latent high-level parameters such as basic training of the student, the properties of his personality, motivation to learn, etc. If the tests are reliable, the more volatile factors - the level of preparation of students for a particular test, against this background that brings results in relatively minor variations. As a measure of statistical association tightness using correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient. The article also discusses the limitations in the use of re-testing and possible applications of analysis of variance to the stated problem.

Ключевые слова: надежность результатов тестирования, корреляционный анализ, ранговая корреляция, дисперсионный анализ.

Key words: test reliability, correlation analysis, range correlation, ANOVA.

Введение

Тестологические методы исследования свойств личности в отечественной системе образования за последние годы показали значительный прогресс, перейдя из разряда частного метода психологии в разряд эффективного средства педагогического измерения. И этот процесс еще далек от завершения. Однако самое главное заключается в том, что изменилось отношение к тестам. Если на начальном этапе тест воспринимался преподавателем как некий формальный инструмент оценки знаний учащегося, то сейчас всеми осознано, что качественный тест в педагогике – это комплексный инструмент для весьма точного диагностирования не только широкого спектра свойств личности человека, учащегося, студента, но также и самой модели преподавания, ее практической реализации во всех аспектах. Однако этот инструмент эффективен лишь тогда, когда он обладает определенными свойствами [1-4]. И одно из важнейших таких свойств – это надежность теста. Надежность теста характеризуется точным отражением свойств личности испытуемого, устойчивостью результатов тестирования, свободой от случайных погрешностей. Проще говоря, если тест провести дважды, то расхождения в результатах для одного и того же испытуемого должны быть минимальны. И хотя результаты тестирования сами по своей природе являются величинами случайными, неудачно построенный тест способен внести в результаты сильную погрешность, неустойчивость, что, конечно, поставит под сомнение адекватность последующих выводов, например, [6]. Особенно возрастают требования к качеству тестов при реализации БРС [7].

Кратко отметим источники, негативно влияющие на надежность педагогического теста. Например, если тестовые задания покрывают не весь пройденный материал, а только его малую часть, то возможна некоторая неустойчивость в результатах: хороший студент, недопонявший

именно этот раздел, получит заниженную оценку, а студент, для которого эта тема является «счастливой», будет оценен выше его реального уровня. Если они после этого напишут тест с другим набором заданий, то результаты будут заметно отличаться от предыдущих. Также задания с неудачной, «заумной» формулировкой, допускающие неоднозначную трактовку условия или вопроса делают ответ студента фактически случайным. И, наконец, невалидный тест в принципе не может быть надежным. Исправление теста, как видно из сказанного, требует содержательной переработки, однако корректировка директивных баллов за выполненные задания также может повысить надежность теста, как это делается, например, для интернет-олимпиад [5]. Однако эти аспекты мы не обсуждаем.

Оценить надежность тестовых результатов непросто. Самый естественный подход заключается в проведении повторного тестирования тех же студентов по тем же тестам. Близкий к единице коэффициент корреляции будет свидетельствовать о надежности теста. Однако не всегда практически возможно собрать ту же группу для повторного тестирования, причем чтобы были выполнены все методологические требования [4], которые достаточно противоречивы [2]. Кроме того, возможность дополнительно подготовиться к повторному тесту, запоминание ответов, мотивация или демотивация студентов перед переписыванием негативно сказываются на объективности при оценке надежности теста. Это будет проиллюстрировано ниже на конкретном примере.

В основе любого статистического исследования лежит предположение о наличии некоторого скрытого (латентного) качественного или количественного фактора, который проявляет себя неким случайным образом на разных объектах. В тестологии одним из главных таких параметров является уровень подготовки студентов к конкретному тесту. Однако в свою очередь он является зависимым от факторов более высокого уровня, таких как уровень базовой подготовки студента,

свойства личности, мотивация к обучению и получению хорошей оценки и т.д. Поэтому результаты тестирования для студента характеризуются достаточно сильно выраженной устойчивостью, что проявляется сильной их коррелированностью. Причем, если численное значение результатов теста может меняться в зависимости от внешних факторов, сложности заданий в тесте, то иерархия оценок внутри группы оказывается более независимой и устойчивой. То есть более «сильный» студент получает, как правило, оценки выше, чем более «слабый». Это и побуждает использовать ранговую корреляцию. В некоторых случаях он точнее отражает надежность теста в отличие от обычного коэффициента линейной корреляции, чувствительного к структуре теста. Существенное нарушение такой иерархии свидетельствует о повышении роли случайности в ответах, что и является признаком ненадежности тестовых результатов.

Отметим, что рассматриваемый вопрос о надежности тестовых данных является достаточно актуальным. Действительно, несмотря на наличие на каждой кафедре квалифицированного тестолога, практически каждому преподавателю приходится самостоятельно составлять тесты по читаемым дисциплинам. Кроме того, стандарты модифицируются достаточно часто, что приводит к переработке уже устоявшихся тестов. Так что даже апробированные в течение долгого времени тесты могут потерять свои качества.

В дополнение ко всему сказанному мы должны подчеркнуть, что предложенные методы имеют формальный характер – в каждом конкретном случае получаемые показатели служат лишь основанием для детального анализа и тестовых заданий, и используемой методики преподавания, и всевозможных аспектов учебного процесса.

Постановка проблемы и методы исследования

Будем считать, что проводится некоторая последовательность из N тестов среди одной и той же группы из K студентов (академическая студенческая группа, поток). Результаты проведенных тестов будем представлять в следующем виде (таблица 1).

Таблица 1. Начальное представление результатов тестов

Кол-во	Тест 1	Тест 2	...	Тест N
Студент 1	α_{11}	α_{12}	...	α_{1N}
Студент 2	α_{21}	α_{22}		α_{2N}
⋮				
Студент K	α_{K1}		...	α_{KN}

Здесь α_{ij} – итоговый результат i -го студента в j -м тесте, $\alpha_{ij} \leq W$, $i = 1, \dots, K$, $j = 1, \dots, N$, где $W = 20$ – максимальный балл за каждый из этих тестов. Для анализа нами использовались результаты пятидесяти студентов-первокурсников УГНТУ различных потоков ($K = 50$), полученные на четырех аттестационных тестированиях (АТ) ($N = 4$).

Важнейшим показателем зависимости между результатами является для нас коэффициент корреляции, вычисляемый по формуле:

$$r_{ij} = \frac{K \sum_{s=1}^K \alpha_{si} \alpha_{sj} - \left(\sum_{s=1}^K \alpha_{si} \right) \left(\sum_{s=1}^K \alpha_{sj} \right)}{\sqrt{K \cdot \sum_{s=1}^K (\alpha_{si})^2 - \left(\sum_{s=1}^K \alpha_{si} \right)^2} \sqrt{K \cdot \sum_{s=1}^K (\alpha_{sj})^2 - \left(\sum_{s=1}^K \alpha_{sj} \right)^2}}, \quad i, j = 1, \dots, N.$$

Степень параллелизма, соответствия между двумя результатами тестов мы будем также устанавливать с помощью коэффициента ранговой корреляции. Для этого составляем таблицу рангов (таблица 2).

Таблица 2. Ранги студентов

Количество	Тест 1	Тест 2	...	Тест N
Студент 1	ρ_{11}	ρ_{12}	...	ρ_{1N}
Студент 2	ρ_{21}	ρ_{22}		ρ_{2N}
⋮				
Студент K	ρ_{K1}		...	ρ_{KN}

Здесь ρ_{ij} – порядковый номер результата i -го студента в j -м тесте.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между тестами с номерами s и k вычисляем по формуле:

$$K_{sk} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (\rho_{is} - \rho_{ik})^2}{N(N^2 - 1)}.$$

Как было отмечено, в своем анализе мы исходим из предположения, что сила студентов (обозначим условно этот параметр через P_i , $i = 1, \dots, K$) остается постоянным во времени параметром. Кроме того, если для двух студентов $P_i \leq P_j$, то их результаты для любого теста должны удовлетворять тому же неравенству $\alpha_{is} \leq \alpha_{js}$, $\forall s = 1, \dots, N$. Однако, такое наблюдается не всегда. Причина, согласно нашей модели, заключается, в первую очередь, в использовании ненадежного теста и, во-вторых, в воздействии неучтенных случайных факторов (случайные ошибки, состояние студента на тесте, болезнь в период перед тестом, использование посторонней помощи и т.д.). При этом списывание и болезнь могут серьезно исказить картину (тем более, когда число наблюдений не так уж велико), поэтому мы всегда освобождаем данные от «выбросов», которые составляют около 10-15% от общего числа студентов. Этот процент хорошо соответствует реальности – при дальнейшем его увеличении коэффициенты корреляции практически не меняются.

Регрессионный анализ

О степени статистической зависимости обычно судят по корреляционной матрице. В нашем случае для четырех проведенных АТ она имеет вид:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0,728 & 0,697 & 0,612 \\ 0,728 & 1 & 0,723 & 0,629 \\ 0,697 & 0,723 & 1 & 0,587 \\ 0,612 & 0,629 & 0,587 & 1 \end{pmatrix}.$$

Сразу заметим ожидаемый результат – тесная корреляционная зависимость между результатами тестирования, особенно между соседними тестами первым и вторым и вторым и третьим. Это дает основание доверять полученным тестовым результатам. При рассмотрении остальных элементов матрицы можно выделить несколько тенденций. Во-первых, первые работы коррелированы сильнее, средние значения коэффициентов по каждому АТ такие: 0,679, 0,693, 0,669 и 0,609 соответственно. Это мы связываем с тем, что в течение первого курса студент определяется со своими интересами, приоритетами в обучении, то есть тем, что называется образовательной траекторией. И с течением времени, по мере расхождения этих траекторий, корреляция с предыдущими результатами будет убывать. И это естественное убывание, не связанное с качеством тестов, необходимо учитывать. Второй аспект, связан с тематической близостью разделов. Например, АТ № 2 «Начала математического анализа и дифференциальное исчисление» и АТ № 3 «Функции нескольких переменных» сходны по содержанию, методам, логике (коэффициент корреляции равен $r_{23} = 0,723$), а содержание АТ № 4 «Интегральное исчисление» по всем этим аспектам различается как с АТ № 1 «Линейная алгебра и аналитическая геометрия» ($r_{23} = 0,612$), так и с АТ № 3 ($r_{23} = 0,587$).

Матрица ранговых корреляций Спирмена

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0,744 & 0,705 & 0,673 \\ 0,744 & 1 & 0,604 & 0,589 \\ 0,705 & 0,604 & 1 & 0,525 \\ 0,673 & 0,589 & 0,525 & 1 \end{pmatrix}$$

подтверждает отмеченные выше тенденции. Последовательность средних значений убывает: 0,707, 0,645, 0,611 и 0,595. Сходство или различие тематик тестов также проявляется в коэффициентах ранговых корреляций. Тем не менее, несмотря на эти тенденции, относительно небольшие значения корреляции обоих видов для АТ № 4 заставляют обратить внимание на этот тест. Оказалось, что среднее значение студенческих баллов для АТ № 4 ниже на 14%, чем среднее по всем тестам. При ближайшем рассмотрении заданий выяснилось, что тест действительно несколько более труден, чем остальные тесты за счет насыщенности многоэтапными вычислительными подзадачами, требующими большего времени для их выполнения, проверки, исправления ошибок.

Стоит отметить, что ранговая корреляция Спирмена хорошо работает, только если дисперсия результатов тестов достаточно большая, то есть разброс студентов по уровню подготовки в группе довольно широкий, что мы обычно и имеем на практике. Если же все студенты имеют одинаковый уровень подготовки, то математическое ожидание ранговой корреляции равно нулю.

Анализ повторных тестирований

При проведении повторного тестирования мы в первую очередь обращаем внимание на коэффициент корреляции между итоговыми баллами за первую (переменная X) и вторую (переменная Y) попытки. Коэффициент корреляции, равный одному свидетельствует о точной линейной зависимости между результатами тестирований. В этом случае тест считается абсолютно надежным. При коэффициенте корреляции свыше 0,75 надежность теста считается вполне приемлемой. Другой

предельный случай, когда коэффициент корреляции равен нулю, свидетельствует о случайном характере даваемых ответов. Тест в этом случае абсолютно ненадежный. Такие результаты получаются, в частности, если тест не является валидным (необходимое условие надежности), но этот аспект мы не рассматриваем, считая тесты валидными.

Нами было проведено переписывание АТ № 4. К сожалению, проявились все минусы этого подхода, описанные во введении. Коэффициент корреляции оказался равным 0,51, ранговый коэффициент Спирмена – 0,54. При этом заметно увеличилась средняя оценка на повторном тесте (+20%), причем особенно заметно у тех студентов, кто написал первый тест хуже. Студентам было обещано, что в зачет пойдет лучшая оценка, так что часть студентов оказалась демотивирована (те, кто написал хорошо с первого раза), а другая часть – наоборот, имела стимул подготовиться лучше.

Коэффициент корреляции результатов переписывания АТ № 4 с АТ № 1 – АТ № 3 принял значения от 0,49, 0,55, 0,35, что гораздо ниже, чем соответствующие коэффициенты для первого написания АТ № 4 (0,612, 0,629, 0,587 соответственно). Это подтверждает, что переписывание теста дает менее адекватные результаты. Быть может, в «лабораторных» условиях повторное тестирование способно дать сведения о надежности теста, но на практике наложение всех прочих факторов сильно искажает статистику и делает такой анализ невозможным.

Роль дисперсионного анализа

Результаты тестирования отражают не только знания и навыки студентов, но и напрямую зависят от качественного фактора – конкретного набора тестовых заданий, теста. Разумеется, качественный тест не должен статистически значимо влиять на оценку исследуемого параметра – уровень подготовки студента. Так что, если через $m_i, i = 1, \dots, N$ мы

обозначим средний балл студентов в i -м тесте ($m_i = \frac{1}{K} \sum_{s=1}^K \alpha_{si}$), то разумно проверить гипотезу $H_0 : m_1 = m_2 = \dots = m_N$ о равенстве всех средних. Напомним, что максимальный балл у всех тестов одинаков, $W = 20$. Однофакторный дисперсионный анализ [8] на экспериментальном материале дал следующий результат. Для гипотезы H_0 о равенстве средних по всем четырем тестам наблюдаемое значение F – критерия оказалось равным 1,87 при критическом значении $F_{кр} = 2,68$ (уровень значимости $\alpha = 0,05$), что не дает оснований отвергать гипотезу H_0 и считать, что среди тестов есть существенно более трудные или более легкие, чем остальные.

Другое применение дисперсионного анализа, также имеющее отношение к оценке надежности теста, заключается в рассмотрении каждого варианта теста как уровня качественного фактора. Если влияние этого фактора окажется значимым (средние значения суммарных баллов будут значимо отличаться друг от друга), то это однозначно будет свидетельствовать о ненадежности тестовых результатов. Для каждого теста был проведен такой анализ, который не выявил статистически значимых расхождений в средних. При этом надо понимать, что дисперсионный анализ оказывается довольно грубым, нечувствительным и плохо работающим инструментом, если разброс в уровне подготовке студентов очень большой и, как следствие, дисперсия оценок достаточно велика. А такая ситуация типична для большинства студенческих групп.

Выводы

Основные результаты сформулированы в разделах статьи. Дополнительно можно отметить, что проведенный анализ в целом показал достаточно высокий уровень надежности тестов, применяемых на кафедре математики. Во многом это обуславливается большой базой тестовых

заданий различного уровня, точным соответствием между пройденным материалом и содержанием тестов, ежегодной их корректировкой, адекватности по времени выполнения работы в 1-2 семестрах 2015-16 учебного года.

Список используемых источников

- 1 Гуревич К. М. Борисова Е. М. Психологическая диагностика. М.: Изд-во УРАО, 1997. 182 с.
- 2 Анастаси А. Психологическое тестирование / Под ред. К. М. Гуревича, В. И. Лубовского. М.: Педагогика. 1982. Кн. 1-2.
- 3 Аванесов В. С. Научные основы тестового контроля знаний. М.: Исследовательский центр, 1994. 135 с.
- 4 Чельшкова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов. М.: Логос, 2002. 432 с.
- 5 Лазарев В. А., Хайбуллин Р. Я. Метод статистической оценки относительной сложности олимпиадных и тестовых задач // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2014. № 5. С. 420-430.
- 6 Бахтизин Р. Н., Фаткуллин Н. Ю., Шамшович В. Ф. Балльно-рейтинговая система оценки успеваемости студентов по математике в Уфимском государственном нефтяном техническом университете // Педагогические и информационные технологии в образовании. 2009. № 8. С. 2.
- 7 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2002. 479 с.
- 8 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 1. Линейная и векторная алгебра. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 118 с.
- 9 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 2. Аналитическая геометрия. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 113 с.

10 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 3. Введение в математический анализ. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 140 с.

11 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 4. Дифференциальное исчисление функции одной переменной. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 120 с.

12 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 5. Дифференциальное исчисление функции нескольких переменных. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 130 с.

13 Учебно-методический комплекс дисциплины "Математика". Раздел 6. Интегральное исчисление функции одной переменной. Уфа: Издательство УГНТУ, 2007. 205 с.

References

1 Gurevich K. M. Borisova E. M. Psihologicheskaja diagnostika. M.: Izdvo URAO. 1997. 182 s. [in Russian].

2 Anastazi A. Psihologicheskoe testirovanie / Pod red. K. M. Gurevicha, V. I. Lubovskogo. M.: Pedagogika. 1982. Kn. 1-2. [in Russian].

3 Avanesov V. S. Nauchnye osnovy testovogo kontrolja znaniy. M.: Issledovatel'skij centr. 1994. 135 s. [in Russian].

4 Chelyshkova M. B. Teorija i praktika konstruirovanija pedagogicheskikh testov. M.: Logos, 2002. 432 s. [in Russian].

5 Lazarev V. A., Hajbullin R. Ja. Metod statisticheskoj ocenki odnositel'noj slozhnosti olimpiadnyh i testovyh zadach // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn.. 2014. № 5. S. 420-430. [in Russian].

6 Bahtizin R. N., Fatkullin N. Ju., Shamshovich V. F. Ball'no-rejtingovaja sistema ocenki uspevaemosti studentov po matematike v Ufimskom gosudarstvennom neftjanom tehničeskom universitete // Pedagogicheskie i informacionnye tehnologii v obrazovanii. 2009. № 8. S. 2. [in Russian].

7 Gmurman V. E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. M.: Vysshaja shkola. 2002. 479 s. [in Russian].

8 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 1. Linejnaja i vektornaja algebra. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 118 s. [in Russian].

9 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 2. Analiticheskaja geometrija. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 113 s. [in Russian].

10 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 3. Vvedenie v matematicheskij analiz. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 140 s. [in Russian].

11 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 4. Differencial'noe ischislenie funkicii odnoj peremennoj. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 120 s. [in Russian].

12 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 5. Differencial'noe ischislenie funkicii neskol'kih peremennyh. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 130 s. [in Russian].

13 Uchebno-metodicheskij kompleks discipliny "Matematika". Razdel 6. Integral'noe ischislenie funkicii odnoj peremennoj. Ufa: Izdatel'stvo UGNTU. 2007. 205 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Глебов С. Г., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

S. G. Glebov, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of the Chair «Chemical Cybernetics», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: glebskie@gmail.com

Лазарев В. А., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Математика»,
ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. A. Lazarev, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor
of the Chair «Mathematics», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation
e-mail: lazva@mail.ru

Хайбуллин Р. Я., канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика»,
ФГБОУ ВПО УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация

R. Y. Khaybullin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
of the Chair «Mathematics», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation
e-mail: khayrya@mail.ru