

УДК 378.146:519.23:004.9

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ВЕДУЩИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ НА ОСНОВЕ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ 2013 ГОДА

Арефьев В.П., Михальчук А.А.

*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: aamih@tpu.ru*

Проведен многомерный статистический анализ качества набора абитуриентов в российские ведущие конкурентоспособные вузы на основе результатов вступительных испытаний 2013 года, включающих *средний балл ЕГЭ* 2013, разность между средними баллами зачисленных по результатам ЕГЭ 2012–2013, количество студентов, зачисленных на бюджетные места, а также доленое количество студентов, принятых на бюджетные места по конкурсу баллов ЕГЭ, по олимпиадам и по целевому набору. Составляющими статистического метода исследования являются корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы. Выявлена высоко значимая отрицательная корреляционная зависимость между долевым *количеством* абитуриентов, принятых по конкурсу баллов ЕГЭ и по олимпиадам. С помощью факторного анализа построена 3-факторная модель показателей вступительных испытаний 2013. В построенном 3-мерном факторном пространстве вступительных испытаний проведена кластеризация ведущих российских вузов. Подробно рассмотрена 10-и кластерная высококачественная модель 17-ти ведущих вузов, позволяющая выделять группы вузов, однородных по совокупности показателей. Для каждого показателя выделены группы однородных кластеров. Результаты подобной кластеризации вузов могут быть учтены в рамках проходящей реформы высшего образования, например, при финансировании вузов или сокращении их количества.

Ключевые слова: корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы, вступительные испытания

CLUSTERING OF LEADING COMPETITIVE RUSSIAN HIGH SCHOOLS ON THE BASIS OF INTRODUCTORY TRIALS OF 2013

Arefyev V.P., Mihalchuk A.A.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, e-mail: aamih@tpu.ru

The many-dimensional statistical analysis of quality of a gang of entrants is spent to the Russian leading competitive high schools on the basis of outcomes of the introductory trials 2013 including a mean score of Unified State Examination 2013, a difference between mean scores enlisted by results of Unified State Examination 2013–2012, an amount of the students enlisted on budgetary places, and also a share amount of the students accepted on budgetary places on competition of points of Unified State Examination, on a olympiad and on a target gang. Components of a statistical method of research are correlative, factor, cluster and dispersing analyses. Highly significant negative correlative association between a share amount of the entrants accepted on competition of points of Unified State Examination and on a olympiad is revealed. By means of a component analysis 3 factor model of indicators of introductory trials 2013 is constructed. In constructed 3 measured factor space of introductory trials it is spent clustering of leading Russian high schools. Explicitly 10 cluster high-quality model 17 leading high schools is considered, allowing to select groups of the high schools homogeneous for a population of indicators. For each indicator groups of homogeneous clusters are selected. Outcomes similar clustering of high schools can be considered within the limits of passing reform of higher education, for example, at financing of high schools or reduction of their amount.

Keywords: correlative, factor, cluster and dispersing analyses, introductory trials

В результате реформирования современного российского высшего образования все вузы выстраиваются в своеобразную иерархическую пирамиду, вершиной которой являются два вуза-лидера (МГУ и СПбГУ), затем следуют федеральные (ФУ) и национальные исследовательские (НИУ) университеты и т.д. [9, 10, 13, 14]. В 2013 году был определен перечень ведущих конкурентоспособных российских вузов (ВКВУЗ) – получателей субсидий для повышения конкурентоспособности на мировой арене [1]. Одним из основных показателей оценки эффективности образовательной деятельности вузов является средний балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ [10, 12, 13]. При этом по совокупности показателей

оценки эффективности деятельности вузов формируется сводный показатель. В данной работе, аналогично [2–5, 8], проведен кластерный анализ российского элитного образования на основе вступительных испытаний 2013 г., в значительной степени опирающихся на результаты ЕГЭ как индикатор качества обучения [11]. Рейтинг вузов РФ по среднему баллу ЕГЭ ($m_{\text{ЕГЭ}}$) [7], показывающий уровень знаний абитуриентов 2013 года, поступивших на бюджетные места в государственные вузы страны, возглавляет МГИМО, у которого средний балл ЕГЭ – 95,6 по 100-балльной шкале. В табл. 1 для выборки ВКВУЗ, расширенной лидерами МГУ и СПбГУ, из показателей вступительных испытаний (ПВИ) кроме $m_{\text{ЕГЭ}}$ приведены также разность $m_{\text{ЕГЭ}}$

между 2013 и 2012 гг. (Dm), количество студентов, зачисленных на бюджетные места (N), а также количество студентов (в% к N),

принятых на бюджетные места по конкурсу баллов ЕГЭ ($N_{\text{ЕГЭ}}$), по олимпиадам (N_o) [6] и по целевому набору ($N_{\text{ц}}$).

Таблица 1

ПВИ 2013 г. ВКВУЗ

Ранг ВКВУЗ ($m_{\text{ЕГЭ}}$)	Ранг вузов ($m_{\text{ЕГЭ}}$)	ВКВУЗ	$m_{\text{ЕГЭ}}$ баллы	Стандартизированная шкала					
				$m_{\text{ЕГЭ}}$	Dm	$N_{\text{ЕГЭ}}$	N_o	$N_{\text{ц}}$	N
1	2	НИУ МФТИ	93,2	1,8	-1,1	0,6	-0,1	-0,5	-0,9
2	4	НИУ ВШЭ	89	1,3	-1,2	-3,3	3,4	-1,1	0,3
3	6	МГУ	88,1	1,2	-0,7	0,4	0,2	-1,0	2,3
4	7	СПбГУ	87,8	1,2	-0,1	0,3	0,1	-1,2	0,9
5	16	НИУ МИФИ	84,6	0,8	2,2	0,2	-0,5	0,8	-1,0
6	29	Новосиб. гос. НИУ	82,2	0,5	0,4	-0,1	0,8	-1,4	-0,9
7	47	НИУ СПб ИТМО	80,5	0,3	-0,1	-0,3	0,6	-0,3	-0,5
8	72	Казанский ФУ	76,8	-0,1	0,4	0,8	-0,7	-0,1	0,6
9	78	СПб политехн. НИУ	75,8	-0,3	-0,0	-0,4	-0,2	1,0	0,4
10	90	НИУ МИСиС	74,6	-0,4	1,4	1,4	-0,7	-0,7	-1,2
11	94	СПб ЛЭТИ	74,4	-0,4	1,1	-0,6	-0,5	2,1	-0,6
12	109	Нижегород. гос. НИУ	73	-0,6	-0,7	0,3	-0,4	0,0	-0,7
13	116	Томский политехн. НИУ	72,4	-0,7	0,6	-0,4	0,5	-0,0	-0,1
14	138	Самар. аэрокосм. НИУ	70,3	-0,9	0,1	0,1	-0,4	0,8	-0,7
15	154	Томский гос. НИУ	69,4	-1,0	-1,6	0,9	-0,7	-0,6	-0,3
16	156	Уральский ФУ	69,4	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	1,5	1,9
17	255	Дальневосточный ФУ	64,6	-1,6	0,2	0,4	-0,7	0,5	0,4

Составляющими статистического метода исследования являются корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы. Статистический анализ проводился в системе Statistica [15]. В силу разнородности ПВИ они были стандартизованы.

Результаты проверки ПВИ на корреляционную зависимость (матрица коэффициентов парных корреляций Пирсона r) приведены в табл. 2. Жирным шрифтом выделены

значимые корреляции: высоко значимая (на уровне значимости $p \approx 0,000016 < 0,0005$) отрицательная между $N_{\text{ЕГЭ}}$ и N_o ; статистически значимая ($0,005 < p \approx 0,029 < 0,05$) отрицательная между $m_{\text{ЕГЭ}}$ и $N_{\text{ц}}$; статистически значимая ($0,005 < p \approx 0,036 < 0,05$) положительная между $m_{\text{ЕГЭ}}$ и N_o ; слабо значимая ($0,005 < p \approx 0,057 < 0,05$) отрицательная между N_o и $N_{\text{ц}}$; слабо значимая ($0,005 < p \approx 0,093 < 0,05$) отрицательная между Dm и N .

Таблица 2

Матрица коэффициентов парных корреляций Пирсона r ПВИ

	$m_{\text{ЕГЭ}}$	Dm	$N_{\text{ЕГЭ}}$	N_o	$N_{\text{ц}}$	N
$m_{\text{ЕГЭ}}$	1,00	-0,08	-0,24	0,51	-0,53	0,03
Dm	-0,08	1,00	0,24	-0,31	0,30	-0,42
$N_{\text{ЕГЭ}}$	-0,24	0,24	1,00	-0,85	-0,04	-0,17
N_o	0,51	-0,31	-0,85	1,00	-0,47	0,08
$N_{\text{ц}}$	-0,53	0,30	-0,04	-0,47	1,00	0,02
N	0,03	-0,42	-0,17	0,08	0,02	1,00

Наличие корреляционной зависимости ПВИ предполагает использование факторного анализа, основанного на оценках корреляций (факторных нагрузок) между исходными показателями и факторами (или «новыми» показателями) в рамках выбран-

ной факторной модели и позволяет узнать значимость факторов. С помощью факторного анализа построена 3-факторная модель ПВИ ВКВУЗ 2013 года (табл. 3). В табл. 3 жирным шрифтом выделены наиболее значимые (основные) повернутые факторные

нагрузки (частные коэффициенты корреляции) показателей на факторы, что позволяет по совокупности этих показателей интерпретировать соответствующие факторы, приписывая им наиболее существенные черты значимых показателей. В нижней строке приведены доли объясненной данным фактором дисперсии исходных показателей, иными словами, весовые коэффициенты факторов. Накопленная дисперсия 3-мя факторами $\approx 80\%$.

Таблица 3

Матрица факторной структуры ПВИ
ВКВУЗ 2013 года

17-ПВИ	Ф1	Ф2	Ф3
$m_{\text{ЕГЭ}}$	0,762	0,074	0,324
Dm	-0,244	0,808	-0,159
$N_{\text{ЕГЭ}}$	0,079	0,112	-0,989
$N_{\text{О}}$	0,420	-0,079	0,886
$N_{\text{Ц}}$	-0,932	0,113	-0,015
N	-0,104	-0,848	0,081
Доля фактора	0,284	0,235	0,317

Согласно табл. 3, высокие факторные нагрузки ПВИ распределились по факторам следующим образом.

Фактор Ф1 – составной, характеризуется в основном $m_{\text{ЕГЭ}}$ и $N_{\text{Ц}}$, связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше $m_{\text{ЕГЭ}}$, тем меньше $N_{\text{Ц}}$) и дополнительно $m_{\text{ЕГЭ}}$ и $N_{\text{О}}$, связанных положительной корреляционной связью (чем больше $m_{\text{ЕГЭ}}$, тем больше $N_{\text{О}}$). Таким образом, положительная часть Ф1 интерпретируется в основном как $m_{\text{ЕГЭ}}$ и дополнительно $N_{\text{О}}$, а отрицательная – как $N_{\text{Ц}}$.

Фактор Ф2 – составной, характеризуется Dm и N , связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше Dm , тем меньше N). Таким образом, положительная часть Ф1 интерпретируется как Dm , а отрицательная – как N .

Фактор Ф3 – самый весомый (**0,317**), составной, характеризуется $N_{\text{О}}$ и $N_{\text{ЕГЭ}}$, связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше $N_{\text{О}}$, тем меньше $N_{\text{ЕГЭ}}$). Таким образом, положительная часть Ф3 интерпретируется как $N_{\text{О}}$, а отрицательная – как $N_{\text{ЕГЭ}}$.

В построенном 3-мерном факторном пространстве {Ф1, Ф2, Ф3} проведена кластеризацию ВКВУЗ. При этом в качестве меры близости выбрано евклидово расстояние

- $m_{\text{ЕГЭ}}$: {K1–K5}, {K5–K8}, {K6–K10}.
- Dm : {K4, K6, K7}, {K6, K7, K9, K5}, {K9, K5, K1, K8, K3, K10, K2}.
- $N_{\text{О}}$: {K2}, {K5, K3, K1}, {K3, K1, K9, K10, K4, K7, K8, K6}.
- $N_{\text{ЕГЭ}}$: {K6, K8}, {K8, K1, K3, K4, K9, K5, K10, K7}, {K2}.
- $N_{\text{Ц}}$: {K7, K10}, {K4, K9, K8}, {K8, K6, K1, K5, K3, K2}.
- N : {K3, K10}, {K2, K1, K9, K8, K7, K5, K4, K6}.

ние, а в качестве правила объединения двух кластеров использован метод Уорда. Методом древовидной кластеризации построено иерархическое дерево (рис. 1). В зависимости от выбора расстояния объединения можно получить соответствующее число кластеров. Так, например, расстоянию объединения, равного 1,5 (красная пунктирная горизонтальная прямая) соответствуют 10 кластеров (K1–K10), расстоянию объединения, равного 4 (зеленая пунктирная горизонтальная прямая), соответствуют 4 кластера (K1 + K3 + K8, K2, K4 + K5 + K6, K7 + K9 + K10). Таким образом, выбор значения связующего расстояния позволяет проводить кластеризацию на любом уровне, то есть строить кластерную модель с любым наперед заданным числом кластеров. При этом, увеличивая расстояния объединения, можно отслеживать динамику объединения кластеров по мере уменьшения степени их однородности. Например, сначала на уровне расстояния объединения 0,7 объединяются близкие по совокупности ПВИ вузы МФТИ и СПбГУ в кластер K1, а затем на уровне расстояния объединения 1,8 к ним присоединяется МГУ, отличающийся от них аномально большим значением N .

Наряду с методом древовидной кластеризации применен также метод K -средних, проводящий классификацию объектов (ВКВУЗ) по заданному количеству кластеров. Алгоритм метода K -средних, перемещающая объекты в разные кластеры с целью минимизации изменчивости внутри кластеров и максимизации изменчивости между кластерами, оценивает качество кластеризации ВКВУЗ по каждому фактору посредством параметрического дисперсионного анализа (табл. 3) как сильно значимое (на уровне значимости $0,0005 < p < 0,005$).

После оценки качества классификации рассчитываются средние значения показателей по каждому кластеру для оценивания значимости их различий между собой. Графики средних кластеров ВКВУЗ в исходном пространстве ПВИ представлены линейными графиками на рис. 2.

Для каждого ПВИ согласно апостериорному критерию наименьших значений разности (НЗР) выделены однородные (различающиеся незначимо, то есть на уровне значимости $p > 0,10$) иногда пересекающиеся группы кластеров (рис. 2), расположенные в порядке убывания средних:

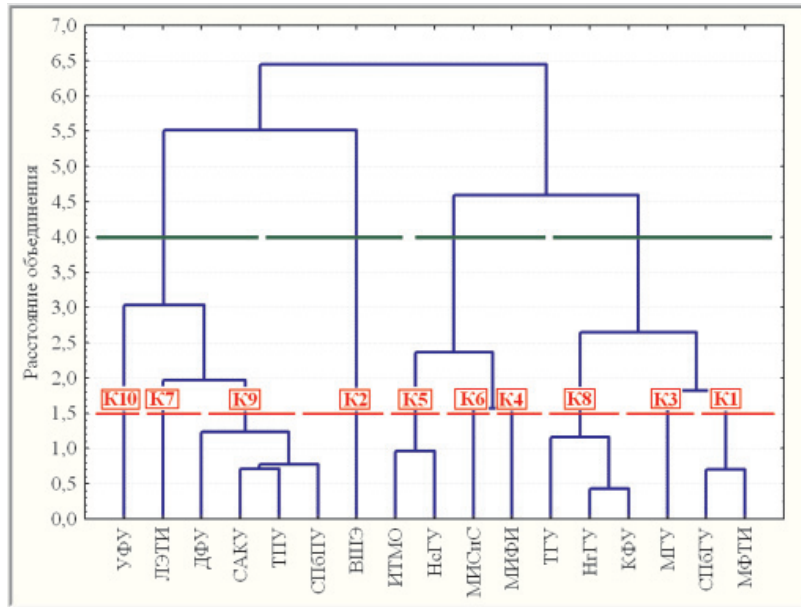


Рис. 1. Дендрограмма ВКУЗ в пространстве {Φ1, Φ2, Φ3}

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа кластеризации ВКУЗ по факторам

Факторы	Дисперсионный анализ					
	Между SS	сс	Внутри SS	сс	F	значим. p
Φ1	15,33	9	0,67	7	17,88	0,0005
Φ2	14,76	9	1,24	7	9,24	0,0039
Φ3	15,17	9	0,83	7	14,25	0,0010

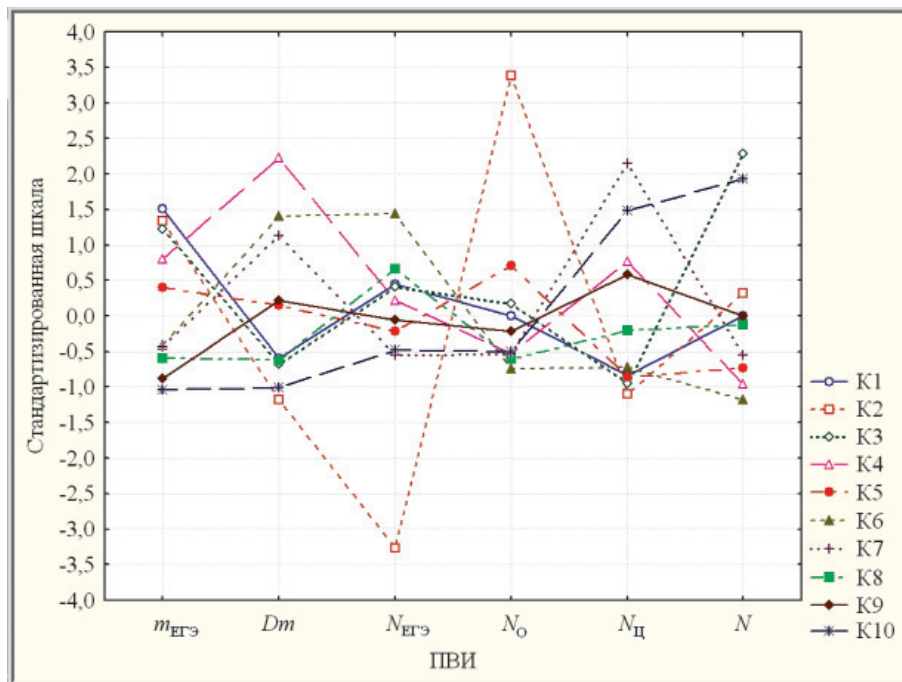


Рис. 2. Линейные графики кластерных средних ВКУЗ в пространстве ПВИ

Результаты кластерного анализа ВКВУЗ по совокупности показателей (рис. 2) позволяют провести качественную классификацию ВКВУЗ в номинальной шкале измерений, полагая в качестве уровня «Средний» – стандартизированный интервал $(-0,5; +0,5)$ для ПВИ. Аномально высокие значения $(> +2,0)$ определяют уровень «Лидер», а аномально низкие значения $(< -2,0)$ определяют уровень «Аутсайдер». Промежуточные значения между средними и аномальными определяют уровень «Выше среднего» и «Ниже среднего» соответственно. Монокластеры характеризуются аномальными значениями по некоторым показателям: К2 (ВШЭ) – Лидер по N_o и Аутсайдер по N_{EG} при уровне «Выше среднего» по m_{EG} , К3 (МГУ) – Лидер по N при уровне «Выше среднего» по m_{EG} , К4 (МИФИ) – Лидер по Dm , «Ниже среднего» по N при уровне «Выше среднего» по m_{EG} и N_{II} , К7 (ЛЭТИ) – Лидер по N_{II} при уровне «Выше среднего» по Dm , К6 (МИСиС) имеет уровень «Выше среднего» по Dm и N_{EG} , «Ниже среднего» по N , N_o и N_{II} при уровне «Средний» по m_{EG} , К10 (УФУ) имеет уровень «Выше среднего» по N и N_{II} при «Ниже среднего» по m_{EG} и Dm . Составные кластеры менее выразительны, но тем не менее имеют свои выразительные черты: К1 (МФТИ, СПбГУ) имеет уровень «Выше среднего» по m_{EG} , К5 (ИТМО, НсГУ) имеет уровень «Средний–Выше среднего» по m_{EG} и N_o при «Ниже среднего» по N и N_{II} , К8 (КФУ, НГГУ, ТГУ) имеет уровень «Выше среднего» по N_{EG} , «Ниже среднего» по m_{EG} и Dm при уровне «Средний–Ниже среднего» по N_o , К9 (ТПУ, САКУ, СПбПУ, ДФУ) имеет уровень «Средний–Ниже среднего» по m_{EG} за счет слабого звена ДФУ и уровень «Средний–Выше среднего» по N_{II} за счет слабого звена ТПУ.

Результаты подобной кластеризации вузов могут быть учтены в рамках проходящей реформы высшего образования, например, при финансировании вузов или сокращении их количества.

Выводы

1. На основании корреляционного анализа показателей вступительных испытаний в ведущие вузы выявлена высоко значимая наиболее сильная отрицательная корреляционная зависимость между *долевым количеством* абитуриентов, принятых по конкурсу баллов ЕГЭ и по олимпиадам.

2. В рамках кластерного анализа в 6-мерном пространстве ПВИ построена кластерная модель 17-и ведущих вузов, позволяющая проводить кластеризацию на любом уровне, т.е. строить кластерную модель с любым наперед заданным

числом кластеров, что дает возможность выделять группы вузов, однородных по совокупности ПВИ.

3. Подробно рассмотрена высоко значимая 10-кластерная модель. Для каждого показателя выделены группы однородных кластеров. На основе результатов кластеризации проведена качественная классификация ведущих вузов.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» № 1.604.2011 и поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по контрактам П691.

Список литературы

- 15 вузов стали победителями конкурса на получение субсидии для вхождения в мировые рейтинги университетов (8 июля 2013 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/новости/3503> (дата обращения: 12.10.13)
- Акерман Е.Н., Михальчук А.А., Трифонов А.Ю. Кластеризация социально-экономических вузов на основе рейтингов вступительных испытаний // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 367. – С. 100–104.
- Арефьев В.П. и др. Кластеризация классических университетов на основе вступительных испытаний // Открытое и дистанционное образование. – 2011. – № 3. – С. 20–31.
- Арефьев В.П., Михальчук А.А., Болтовский Д.В. Многомерный статистический анализ рейтингов педагогических университетов на основе вступительных испытаний // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2012. – Вып. 2 (117). – С. 46–52.
- Арефьев В.П., Михальчук А.А. Применение методов математической статистики для классификации рейтингов технических университетов на основе вступительных испытаний [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. – 2012. – Т. 4. – № 3. – С. 37–43. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/350> (дата обращения: 12.10.13).
- Гордеева Т.О. и др. Эффективность различных систем конкурсного отбора студентов // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2013. – № 1. – С. 38–54.
- Качество бюджетного приема в государственные вузы – 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hse.ru/ege/second_section2013/rating/2013/48994839/gos/ (дата обращения: 12.10.13).
- Михальчук А.А., Арефьев В.П. Кластерный анализ современного архитектурного образования на основе вступительных испытаний [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1–8. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7483> (дата обращения: 12.10.13).
- Национальные исследовательские университеты (26.04.2010) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.mon.gov.ru/pro/niu/> (дата обращения: 12.10.13).
- Национальный рейтинг университетов 2012/2013 г. (05/06/2013) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unirating.ru/txt.asp?rbr=29> (дата обращения: 12.10.13).
- Никифорова Е.П. Единый государственный экзамен как индикатор качества обучения // Теория и практика общественного развития. – 2013. – № 2. – С. 96–98.
- Показатели мониторинга деятельности федеральных государственных высших учебных заведений и их филиалов (24 декабря 2012 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/новости/2932> (дата обращения: 12.10.13).

13. Рейтинг ВУЗов России 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://raexpert.ru/rankings/vuz/vuz_rus_2013/ (дата обращения: 12.10.13).

14. Федеральные университеты (20/07/2011) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.mon.gov.ru/pro/pnpofed/> (дата обращения: 12.10.13).

15. Халафян А.А. *Statistica 6. Статистический анализ данных*. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2008. – 512 с.

References

1. *Minobrnauki* (2013) Available at: <http://minobrnauki.rf/novosti/3503> (accessed 12 October 2013).

2. Akerman E.N., Mihal'chuk A.A., Trifonov A.Ju. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 367, pp. 100–104.

3. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A., Boltovskij D.V. *Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie*, 2011, no. 3, pp. 20–31.

4. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A., Boltovskij D.V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2012, no. 2 (117), pp. 46–52.

5. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A. *Vestnik nauki Sibiri*, 2012, vol. 4, no. 3, pp. 37–43. – available at: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/350>.

6. Gordeeva T.O., Osin E.N., Kuzmenko N.E., Leontiev D.A., Ryzhova O.N. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 20: Pedagogicheskoe obrazovanie*, 2013, no. 1, pp. 38–54.

7. *Kachestvo bjudzhetnogo priema v gosudarstvennye vuzy* (2013) Available at: http://www.hse.ru/egge/second_section2013/rating/2013/48994839/gos/ (accessed 12 October 2013).

8. Mihal'chuk A.A., Aref'ev V.P. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2012, no. 6, available at: <http://www.science-education.ru/106-7483>.

9. *Nacional'nye issledovatel'skie universitety* (2010) Available at: <http://old.mon.gov.ru/pro/niu/> (accessed 12 October 2013).

10. *Nacional'nyj rejting universitetov 2012/2013* (2013) Available at: <http://unirating.ru/txt.asp?rbr=29> (accessed 12 October 2013).

11. Nikiforova E.P. *Teorija i praktika obshhestvennogo razvitiya*, 2013, no. 2, pp. 96–98.

12. *Minobrnauki* (2012) Available at: <http://minobrnauki.rf/novosti/2932> (accessed 12 October 2013).

13. *Rejting VUZov Rossii* (2013) Available at: http://raexpert.ru/rankings/vuz/vuz_rus_2013/ (accessed 12 October 2013).

14. *Federal'nye universitety* (2011) Available at: <http://old.mon.gov.ru/pro/pnpofed/> (accessed 12 October 2013).

15. Halafjan A.A. *Statistica 6. Statisticheskij analiz dannyh*. Moscow, Binom-Press, 2008. 512 p.

Рецензенты:

Трифонов А.Ю., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики и математической физики, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Арефьев К.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.