

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЗНАЧИМОСТИ КАЧЕСТВА ЭЛИТНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Задорожный В.Н.

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: vzadoroj@tpu.ru

Проведен дисперсионный статистический анализ результатов семестрового экзаменационного (ЭКЗ) контроля знаний по дисциплинам математика, химия и начертательная геометрия, в котором участвовали студенты-очники первого курса шести институтов Томского политехнического университета. Выборка ЭКЗ каждой учебной группы разбита на ЭКЗ_{это} студентов, отделенных в подгруппу элитного технического образования, и подгруппу остальных ЭКЗ_{бэ}. Каждая из выборок ЭКЗ_{бэ} и ЭКЗ_{это} является однородной как по дисциплинам, так и по институтам (на уровне значимости $p > 0,05$). Различие результатов ЭКЗ_{бэ} и ЭКЗ_{это} (суммарные по дисциплинам и институтам) оценивается как высоко значимое ($p < 0,0005$) согласно различным параметрическим и непараметрическим критериям множественного сравнения. При этом результаты ЭКЗ_{бэ} и ЭКЗ_{это} различаются высоко значимо по каждой дисциплине и по трем из шести институтов. Результаты проведенного статистического анализа могут быть учтены при принятии управленческих решений в рамках проходящей реформы высшего образования.

Ключевые слова: дисперсионный анализ, элитное техническое образование, экзамен.

STATISTICAL ESTIMATION OF THE IMPORTANCE OF QUALITY ELITE TECHNICAL EDUCATION

Zadorozhnyj V.N.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin's avenue, 30), E-mail: vzadoroj@tpu.ru

ANOVA of outcomes semestrial examination (EX) control of knowledge on disciplines of the mathematician, chemistry and descriptive geometry in which students-resident students of the first course 6 institutes of Tomsk polytechnic university participated is spent. Sample EX of each educational group is divided on EX_{ETE} the students separated in a subgroup of elite technical education, and a subgroup remaining EX_{NE}. Each of выборок EX_{NE} and EX_{ETE} is homogeneous both on disciplines, and on institutes (on a significance level $p > 0,05$). Distinction of outcomes EX_{NE} and EX_{ETE} (summarised on disciplines and institutes) is estimated as highly significant ($p < 0,0005$) according to various parametrical and nonparametric criteria of plural comparison. Thus outcomes EX_{NE} and EX_{ETE} differ highly significantly on each discipline and on three of six institutes. Outcomes of the spent statistical analysis can be considered at acceptance of administrative solutions within the limits of passing reform of higher education

Keywords: ANOVA, elite technical education, examination.

В условиях перехода к инновационной модели экономического развития активно обсуждаются наиболее острые и актуальные проблемы модернизации отечественной системы инженерного образования, повышения его качества и оценки эффективности его реформирования [1; 4; 5], создания элитного сектора высшей школы после малоконтролируемого процесса университетизации 1990-х гг. [2; 6; 7; 10], в частности в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ) [3; 9], являющемся одним из ведущих конкурентоспособных российских вузов – получателей субсидий для повышения конкурентоспособности на мировой арене и реализующем систему элитного технического образования (ЭТО) с 2004 года. В настоящее время программа подготовки элитных специалистов в области техники и технологий в ТПУ развивается и

совершенствуется для повышения международной конкурентоспособности университета и его выпускников, в том числе с использованием опыта и лучших практик подготовки элитных специалистов в ведущих отечественных и зарубежных вузах, а также с учетом особенностей инженерной деятельности в постиндустриальном обществе, основанном на знании. В связи с этим представляет интерес статистический анализ оценивания значимости качества обучения в системе ЭТО на фоне системы стандартного базового обучения.

Исходная база данных представляет собой категориальные (количество в группе «Отл», «Хор», «Уд», «Неуд» и «Недоп») результаты суммарного осеннего семестрового экзаменационного (ЭКЗ) контроля знаний по дисциплинам математика (МАТ), химия (ХИМ), начертательная геометрия (НАЧ), в котором участвовали студенты-очники первого курса ТПУ набора 2013 г. шести институтов: кибернетики (ИК), природных ресурсов (ИПР), энергетического (ЭНИН), физики высоких технологий (ИФВТ), физико-технического (ФТИ) и неразрушающего контроля (ИНК). При этом выборка ЭКЗ каждой учебной группы разбита на подгруппу ЭКЗэто результатов контроля знаний студентов, отделенных в подгруппу ЭТО, и подгруппу остальных ЭКЗбэ. Заметим, что в случае ХИМ и НАЧ элитники учатся вместе с остальными, что позволяет провести корректное сравнение результатов ЭКЗэто и ЭКЗбэ, а в случае МАТ элитники учатся отдельно от остальных по усложненной программе. Таким образом, рассмотрение проводится в рамках 3-факторной модели результативного признака ЭКЗ: ЭЛИТ*ДИСЦ*ИНСТ (фактор ЭЛИТ с 3-мя уровнями ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто; фактор ДИСЦ с 3-мя уровнями МАТ, ХИМ и НАЧ; фактор ИНСТ с 6-ю уровнями ИК, ИПР, ЭНИН, ИФВТ, ФТИ и ИНК). Для каждой группы (подгруппы) было рассчитано значение выборочного среднего (m) по категориальной исходной базе данных (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент категориальной исходной базы данных выборок ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
1	ИНСТ	ДИСЦ	ЭЛИТ	ГР	N	Отл	Хор	Уд	Неуд	Недоп	m
2	ИК	ХИМ	ЭКЗ	8Е31	23	1	6	14	0	2	3,17
3	ИК	ХИМ	ЭКЗэто	8Е31	8	0	3	5	0	0	3,38
4	ИК	ХИМ	ЭКЗбэ	8Е31	15	1	3	9	0	2	3,07

Созданная таким образом в MS Excel база данных выборочного среднего (m) использовалась далее в пакете Statistica 6.1 [8] для статистического анализа результатов ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто.

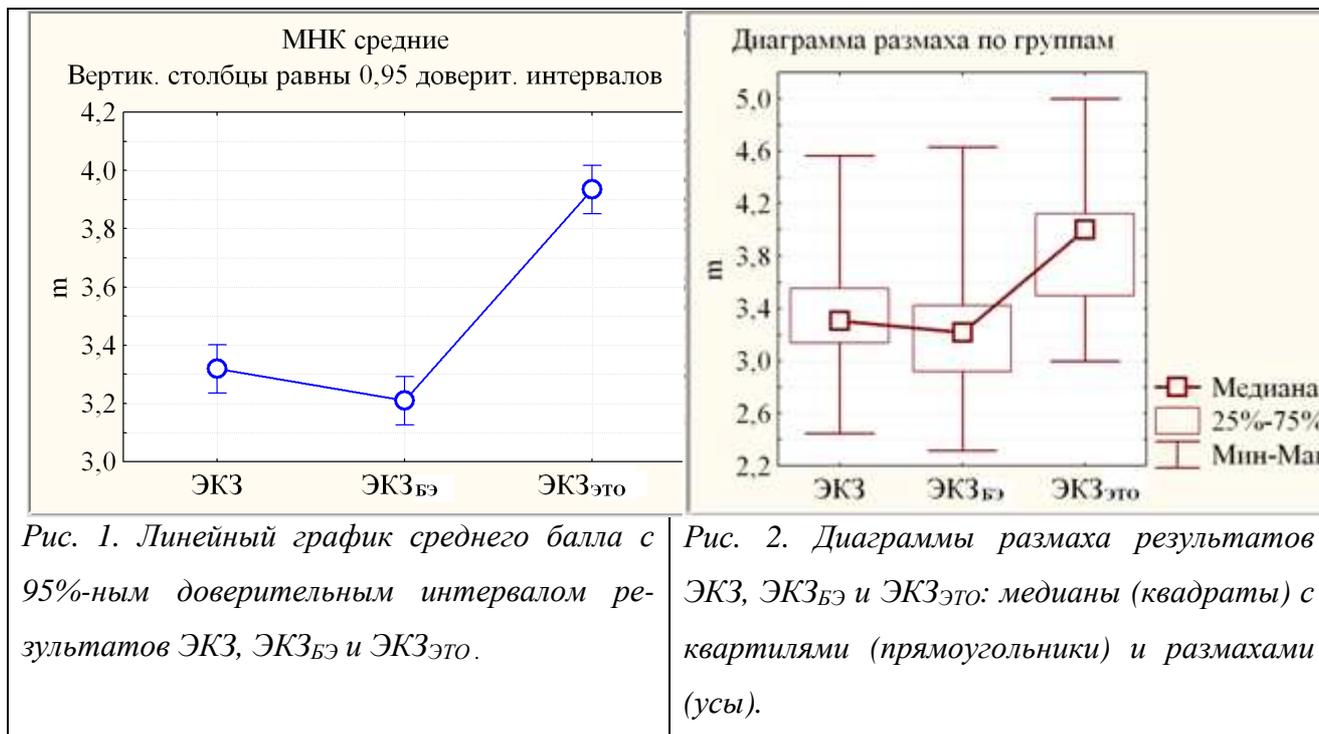
Числовые характеристики выборок ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто (среднее m , стандартная ошибка m , границы $\pm 95\%$ доверительного интервала m и объем выборки N - число учебных дисциплино-групп) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Числовые характеристики выборок ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто

N	ЭЛИТ	m				N
		Среднее	Стд. ош.	-95,00%	+95,00%	
1	ЭКЗ	3,319	0,042	3,236	3,401	117
2	ЭКЗБЭ	3,209	0,042	3,127	3,292	117
3	ЭКЗэто	3,935	0,042	3,852	4,017	117

Средний балл ЭКЗэто составил 3,935 по 5-балльной шкале, что почти на $\frac{3}{4}$ балла выше среднего балла 3,209 выборки ЭКЗБЭ. Графики числовых характеристик выборок ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто приведены на рис. 1 (параметрических) и рис. 2 (непараметрических).



Для наглядной оценки значимости отличия результатов ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто приведено также совместное распределение (гистограммы) их выборок (рис. 3) по 5-балльной равномерной шкале и показывающее наглядно существенные различия в распределениях ЭКЗБЭ и ЭКЗэто.

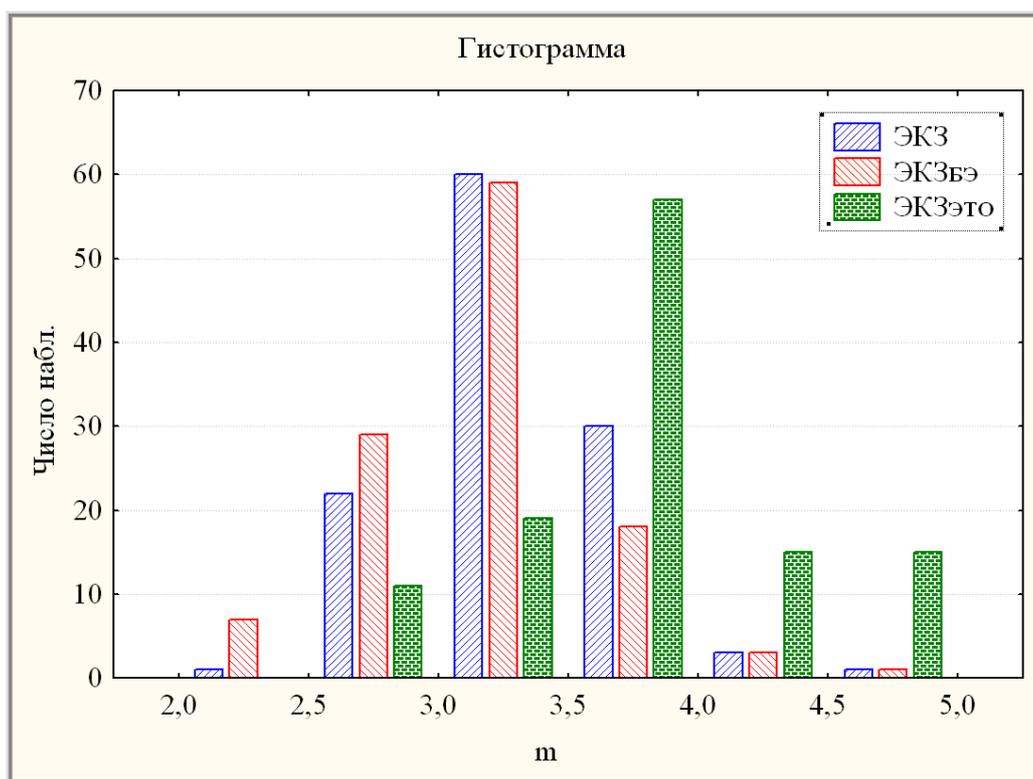


Рис. 3. Составная гистограмма результатов ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто ТПУ набора 2013 г.

В случае сравнения средних более чем двух выборок (ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто) применяется однофакторный (фактор элитности ЭЛИТ) дисперсионный анализ. В рассматриваемом случае (табл. 3) F -критерий показывает ($F \approx 17,89 / 0,21 \approx 86,94$), что различие между средними баллами m ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто высоко значимо (значимо на уровне $p < 0,0005$).

Таблица 3

Результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния фактора ЭЛИТ на переменную ЭКЗ на основе параметрического F -критерия

Эффект	SS	Степени свободы	MS	F	p
ЭЛИТ	35,784	2,000	17,892	86,937	0,000
Ошибка	71,621	348	0,206		

Дисперсионный анализ (параметрический F -критерий (табл. 3) и ранговый критерий Краскела-Уоллиса) оценивает различие по совокупности результатов ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто как высоко значимое (на уровне значимости $p < 0,0005$) за счет высоко значимого отличия результатов ЭКЗэто как от ЭКЗ, так и от ЭКЗБЭ согласно различным апостериорным критериям (параметрическим: наименьших значений разности (НЗР), Шеффе, Тьюки и непараметрическому: Краскела-Уоллиса) множественного сравнения, которые обычно применяют после установления неоднородности по совокупности результатов ЭКЗ, ЭКЗБЭ и ЭКЗэто. Все критерии множественного сравнения выборок единодушны в оценке высоко

значимого (на уровне значимости $p < 0,0005$) отличия результатов ЭКЗэто как от ЭКЗ, так и от ЭКЗбэ, но разнятся в оценке различия результатов ЭКЗ и ЭКЗбэ: слабо значимого ($0,050 < p = 0,066 < 0,100$) по НЗР и незначимого ($0,10 < p$) по остальным критериям. Здесь и в дальнейшем выберем промежуточный вариант – критерий Тьюки ДЗР, согласно которому ЭКЗ и ЭКЗбэ различаются не значимо, что объяснимо малым числом элитников, а ЭКЗэто и ЭКЗбэ различаются высоко значимо.

В случае сравнения средних выборок ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто (влияние фактора элитности ЭЛИТ на переменную ЭКЗ) по дисциплинам (фактор ДИСЦ с тремя уровнями: ХИМ, НАЧ и МАТ) применяется двухфакторный дисперсионный анализ, позволяющий исследовать взаимодействия между факторами и выявлять влияния различных сочетаний факторов друг с другом на результативный признак (переменную ЭКЗ). В общем случае взаимодействие между факторами описывается в виде изменения влияния одного фактора на результативный признак под воздействием другого.

Ниже рассмотрен один из простейших вариантов парного взаимодействия между факторами ЭЛИТ и ДИСЦ (рис. 4), описанный в виде изменения влияния фактора ЭЛИТ на результативный признак ЭКЗ (сравнения средних выборок ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто) под воздействием другого фактора ДИСЦ.

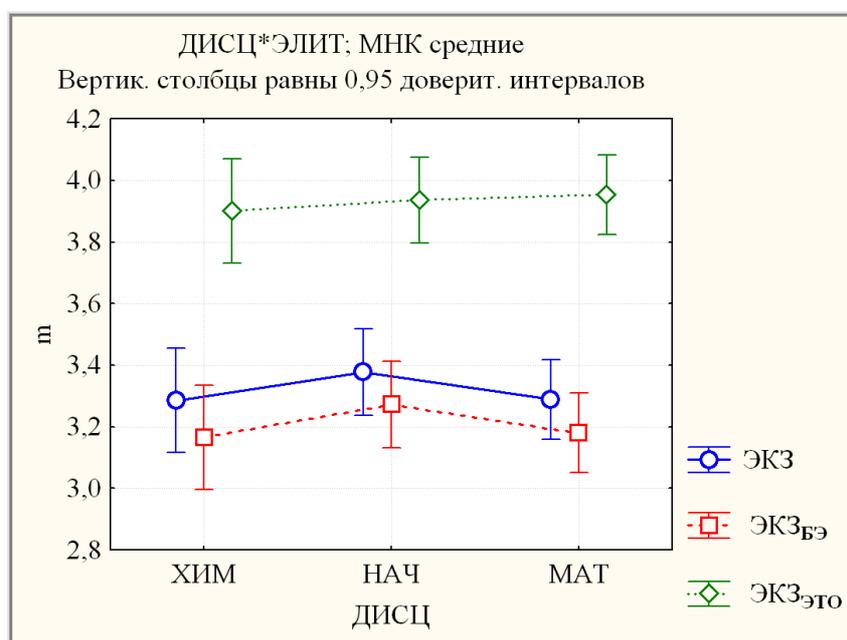


Рис. 4. Линейные графики среднего балла с 95%-ным доверительным интервалом результатов ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто по дисциплинам.

Согласно критерию Тьюки ДЗР выборки ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто являются однородными по дисциплинам, то есть результаты ЭКЗ, ЭКЗбэ и ЭКЗэто демонстрируют незначимое (на уровне $p > 0,99$) различие по дисциплинам. При этом результаты ЭКЗбэ и ЭКЗэто различаются высоко значимо ($p < 0,0005$) по каждой дисциплине: по ХИМ $m_{\text{ХИМ}^{\text{бэ}}}$

= 3,166 и $m_{\text{ХИМ*ЭТО}} = 3,901$; по НАЧ $m_{\text{НАЧ*БЭ}} = 3,273$ и $m_{\text{НАЧ*ЭТО}} = 3,936$; по МАТ $m_{\text{МАТ*БЭ}} = 3,180$ и $m_{\text{МАТ*ЭТО}} = 3,954$. Учитывая, что в случае ХИМ и НАЧ элитники учатся вместе с остальными, что позволяет сделать корректный вывод о высоко значимом различии $m_{\text{БЭ}}$ и $m_{\text{ЭТО}}$ по этим дисциплинам, а в случае МАТ элитники учатся отдельно от остальных по усложненной программе, то есть $m_{\text{МАТ*ЭТО}}$ является заниженным по сравнению с $m_{\text{МАТ*БЭ}}$, то по МАТ различие $m_{\text{БЭ}}$ и $m_{\text{ЭТО}}$ ожидаемо еще более высоко значимым в случае, если бы элитники учились вместе с остальными по одной программе.

Далее рассмотрен еще один простейший вариант парного взаимодействия между факторами ЭЛИТ и ИНСТ (рис. 5), описанный в виде изменения влияния фактора ЭЛИТ на результативный признак ЭКЗ (сравнения средних выборок ЭКЗ, ЭКЗ_{БЭ} и ЭКЗ_{ЭТО}) под воздействием другого фактора ИНСТ, то есть для разных институтов.

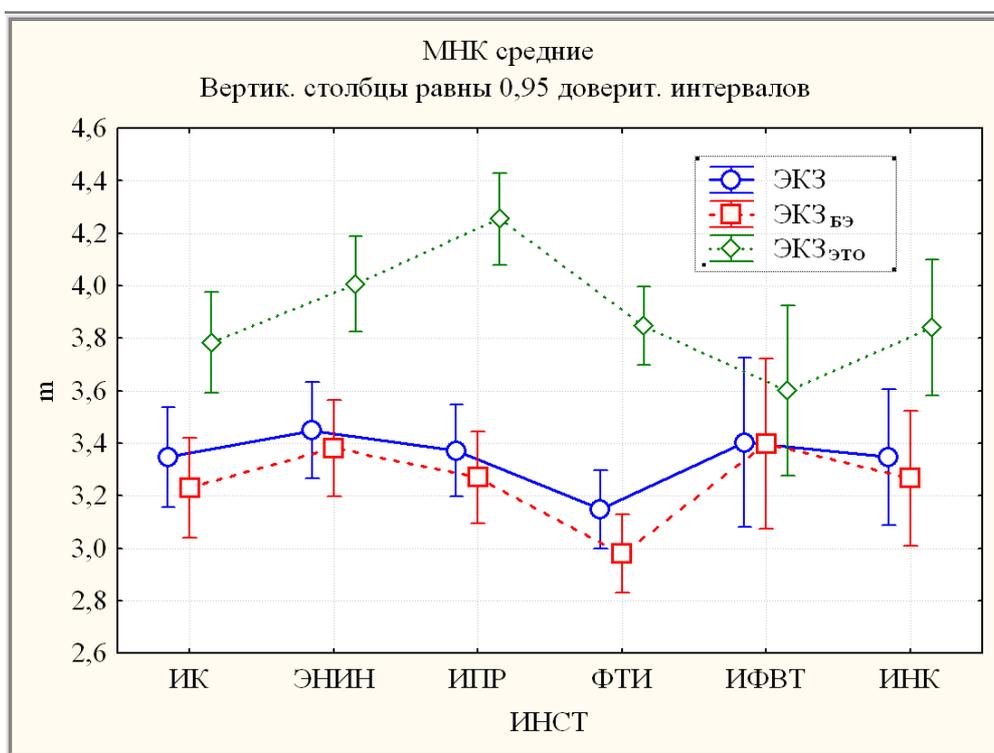


Рис. 5. Линейные графики среднего балла с 95%-ным доверительным интервалом результатов ЭКЗ, ЭКЗ_{БЭ} и ЭКЗ_{ЭТО} по институтам.

На рис. 5 ширина доверительного интервала, определяющая погрешность измерения среднего, обратно пропорциональна \sqrt{N} . Таким образом, более широкие доверительные интервалы m для ИНК ($N=11$) и, в большей степени, ИФВТ ($N=7$) объясняются в большей мере сравнительно малыми объемами этих выборок. Однородность независимых выборок ЭКЗ, ЭКЗ_{БЭ} и ЭКЗ_{ЭТО} по институтам была оценена посредством двухфакторного дисперсионного анализа применительно к выборке ЭКЗ. Применение F -критерия, обобщающего t -критерий на число выборок больше двух, привело к выводу о слабой неоднородности сравниваемых институтов. Значимость различий между средними m по

институтам оценивалась с помощью апостериорного критерия Тьюки ДЗР, согласно которому выборки ЭКЗ и ЭКЗБЭ являются однородными по институтам, то есть результаты ЭКЗ, ЭКЗБЭ демонстрируют незначимое (на уровне $p > 0,93$) различие по институтам, а выборка ЭКЗэто – слабо значимую неоднородность: $m_{ИК*ЭТО} = 3,784$ и $m_{ИПР*ЭТО} = 4,256$ различаются слабо значимо ($0,050 < p=0,061 < 0,100$).

Согласно критерию Тьюки результаты ЭКЗБЭ и ЭКЗэто различаются высоко значимо (на уровне значимости $p < 0,0005$) по ЭНИН, ИПР и ФТИ; статистически значимо ($0,005 < p=0,007 < 0,05$) по ИК; незначимо ($p > 0,10$) по ИНК и в большей степени по ИФВТ.

Результаты проведенного статистического анализа могут быть учтены при принятии управленческих решений в рамках проходящей реформы высшего образования, например дополнительного финансового стимулирования не только по входным результатам ЕГЭ и категории вуза, но и за текущую успешную учебу в вузе.

Выводы

1. Различие результатов ЭКЗБЭ (средний балл $m_{БЭ} = 3,209$) и ЭКЗэто ($m_{ЭТО} = 3,935$) по ТПУ (суммарные по дисциплинам и институтам) оценивается как высоко значимое (на уровне значимости $p < 0,0005$) согласно различным апостериорным критериям (параметрическим: наименьших значений разности (НЗР), Шеффе, Тьюки и непараметрическому: Краскела-Уоллиса) множественного сравнения.

2. Выборки ЭКЗБЭ и ЭКЗэто являются однородными по дисциплинам, то есть результаты ЭКЗБЭ ($m_{ХИМ*БЭ} = 3,166$; $m_{НАЧ*БЭ} = 3,273$; $m_{МАТ*БЭ} = 3,180$) и ЭКЗэто ($m_{ХИМ*ЭТО} = 3,901$; $m_{НАЧ*ЭТО} = 3,936$; $m_{МАТ*ЭТО} = 3,954$) демонстрируют незначимое (на уровне $p > 0,99$) различие по дисциплинам. Результаты ЭКЗБЭ и ЭКЗэто различаются высоко значимо (на уровне значимости $p < 0,0005$) по каждой дисциплине: по ХИМ $m_{ХИМ*БЭ} = 3,166$ и $m_{ХИМ*ЭТО} = 3,901$; по НАЧ $m_{НАЧ*БЭ} = 3,273$ и $m_{НАЧ*ЭТО} = 3,936$; по МАТ $m_{МАТ*БЭ} = 3,180$ и $m_{МАТ*ЭТО} = 3,954$.

3. Выборка ЭКЗБЭ является однородной по институтам, то есть демонстрирует незначимое (на уровне $p > 0,93$) различие по институтам, а выборка ЭКЗэто – слабо значимую неоднородность: $m_{ИК*ЭТО} = 3,784$ и $m_{ИПР*ЭТО} = 4,256$ различаются слабо значимо ($0,050 < p=0,061 < 0,100$). Результаты ЭКЗБЭ и ЭКЗэто различаются высоко значимо (на уровне значимости $p < 0,0005$) по ЭНИН, ИПР и ФТИ; статистически значимо ($0,005 < p=0,007 < 0,05$) по ИК; слабо незначимо (на уровне $p = 0,157 > 0,10$) по ИНК и в большей степени высоко незначимо (на уровне $p = 1,000 > 0,10$) по ИФВТ.

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

1. Акатьев В.А., Волкова Л.В. Инженерное образование в постиндустриальной России // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: www.science-education.ru/119-14671 (дата обращения: 08.02.2015).
2. Бутакова Е.С., Замятина О.М., Мозгалева П.И. К вопросу о подготовке элитных инженерных кадров: опыт России и мира // Высшее образование сегодня. - 2013. - № 1. - С. 20-25.
3. Образование в ТПУ: итоги 2012/13 учебного года / И.А. Абрашкина [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – 318 с.
4. Петросянц Д.В., Светцова А.С. Актуальные проблемы современного российского высшего образования // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2014. – № 4. - С. – 23-32.
5. Симоньянц Р.П. Проблемы инженерного образования и их решение с участием промышленности // Наука и образование : электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 3. –С. 394-419.
6. Таркин-Сапегин П.Е. Проблемы развития элитного образования в России // Профессиональное образование в современном мире. – 2013. – № 3 (10). – С. 55-62.
7. Федорова М.А., Постников Д.В. Реализация программы элитного технического образования // Высшее образование сегодня. - 2014. - № 3. - С. 58-63.
8. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. - М. : ООО «Бином-Пресс», 2008. – 512 с.
9. Чубик П.С., Чучалин А.И., Соловьев М.А., Замятина О.М. Подготовка элитных специалистов в области техники и технологий // Вопросы образования. – 2013. – № 2. – С. 188-208.
10. Шишкин В.Г. Формирование элитного высшего образования в России в начале XXI в. // Высшее образование в России. – 2014. – № 8-9. – С. 59-64.

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.