

ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 316.3

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДА «АБИТУРИЕНТ – СТУДЕНТ» НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ ННГУ

© 2012 г. *В.М. Степанов¹, О.Ю. Трошин¹, Е.Л. Тихонова¹, М.Ф. Чурбанов²*¹ Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского² Институт химии высококичестных веществ РАН, Нижний Новгород

stvm@bk.ru

Поступила в редакцию 01.03.2012

Методами математической статистики изучаются результаты тестирования по химии и первой экзаменационной сессии студентов первого курса химического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского в сравнении с их успехами как абитуриентов при сдаче ЕГЭ.

Ключевые слова: тесты, моделирование, ЕГЭ, обработка тестовых исследований, оценка знаний.

При описании различных сложных проблем широкое применение нашли достаточно необычные, часто носящие эмпирический характер, законы математической статистики. В экономических задачах это законы В. Парето, принцип И. Юрана, в библиографических, лингвистических – законы Дж. Ципфа, С. Брэдфорда и т.д. Наиболее известный закон – закон Ф. Бенфорда (первой значащей цифры закон) – нашел применение при объяснении характеристик распределения различных физических величин по размерам и даже в аудиторских проверках в качестве детектора лжи [1]. В современной литературе в «массовом порядке» результаты статистических испытаний, как правило, ограничиваются представлением частотных характеристик (гистограмм). Такая «объективизация», отказ от использования соответствующих закономерностей приводят к малоинтересной и недостаточно адекватной трактовке полученных числовых результатов.

К настоящему времени наиболее часто при обработке разнообразных экспериментальных данных применяются нормальное распределение (Гаусса), распределение χ^2 (хи-квадрат), распределение Стьюдента [2]. Самой общей причиной распространенности распределения Гаусса является «устойчивость» его функционального вида к различным случайным факторам воздействия на соответствующие величины [2, 3]. При наличии детерминированных причин, влияющих на рассматриваемые величины (не последнюю роль играет заинтересованность в результатах события), удобно перейти к более

общему описанию закономерностей с помощью полиномиальных распределений.

Объект исследования

В данной работе опишем приложение биномиального распределения, частным случаем которого является нормальное распределение, к трактовке результатов проверки знаний у студентов 1-го курса химического факультета Нижегородского государственного национального исследовательского университета им. Н.И. Лобачевского в сравнении с их успехами как абитуриентов при сдаче ЕГЭ. Первичные данные 2011/12 года в представлении порядковой статистики приведены в табл. 1, 2, 3.

В последние годы преподаватели факультета отмечают увеличение трудностей в работе со студентами младших курсов, которые проявляются в снижении уровня и темпов усвоения учебного материала, росте количества неудовлетворительных экзаменационных оценок. Среди причин отмечают, безусловно, отличие системы вузовского образования от школьного обучения, характеризующегося урочной системой преподавания и постоянным контролем со стороны педагогов и родителей. Появляются ряд новых предметов и, что более существенно, новые формы обучения – лекции, семинарские и практические занятия, коллоквиумы. Резко возрастает количество получаемой информации, существенно увеличивается объем материала для самостоятельной проработки, усиливаются требования к усвоению материала (не

Таблица 1

Количество баллов, полученное абитуриентами при сдаче ЕГЭ по химии

№ п/п	Кол-во баллов ЕГЭ	Отн. оценка	№ п/п	Кол-во баллов ЕГЭ	Отн. оценка	№ п/п	Кол-во баллов ЕГЭ	Отн. оценка
1	47	0.47	30	65	0.65	59	74	0.74
2	51	0.51	31	66	0.66	60	75	0.75
3	52	0.52	32	66	0.66	61	75	0.75
4	52	0.52	33	66	0.66	62	76	0.76
5	53	0.52	34	66	0.66	63	76	0.76
6	54	0.54	35	67	0.67	64	76	0.76
7	55	0.55	36	68	0.68	65	76	0.76
8	55	0.55	37	68	0.68	66	76	0.76
9	56	0.56	38	69	0.69	67	76	0.76
10	56	0.56	39	69	0.69	68	76	0.76
11	56	0.56	40	69	0.69	69	76	0.76
12	59	0.59	41	69	0.69	70	77	0.77
13	59	0.59	42	70	0.70	71	77	0.77
14	59	0.59	43	70	0.70	72	78	0.78
15	62	0.62	44	70	0.70	73	78	0.78
16	63	0.63	45	71	0.71	74	80	0.80
17	63	0.63	46	71	0.71	75	80	0.80
18	63	0.63	47	72	0.72	76	86	0.86
19	63	0.63	48	72	0.72	77	86	0.86
20	63	0.63	49	72	0.72	78	86	0.86
21	64	0.64	50	73	0.73	79	87	0.87
22	64	0.64	51	73	0.73	80	88	0.88
23	64	0.64	52	73	0.73	81	89	0.89
24	64	0.64	53	73	0.73	82	89	0.89
25	64	0.64	54	73	0.73	83	89	0.89
26	64	0.64	55	73	0.73	84	92	0.92
27	64	0.64	56	73	0.73	85	92	0.92
28	64	0.64	57	74	0.74	86	95	0.95
29	65	0.65	58	74	0.74	87	98	0.98

Таблица 2

Количество баллов, полученное студентами в результате тестирования по химии

№ п/п	Кол-во баллов	Отн. оценка	№ п/п	Кол-во баллов	Отн. оценка	№ п/п	Кол-во баллов	Отн. оценка
1	0	0	34	10	0.33	67	16	0.53
2	2	0.07	35	10	0.33	68	16	0.53
3	2	0.07	36	10	0.33	69	16	0.53
4	3	0.10	37	11	0.37	70	16	0.53
5	3	0.10	38	11	0.37	71	16	0.53
6	4	0.13	39	11	0.37	72	17	0.57
7	4	0.13	40	11	0.37	73	17	0.57
8	4	0.13	41	11	0.37	74	17	0.57
9	5	0.17	42	11	0.37	75	17	0.57
10	5	0.17	43	11	0.37	76	18	0.60
11	5	0.17	44	11	0.37	77	18	0.60
12	6	0.20	45	11	0.37	78	18	0.60
13	7	0.23	46	12	0.40	79	19	0.63
14	7	0.23	47	12	0.40	80	19	0.63
15	7	0.23	48	12	0.40	81	19	0.63
16	7	0.23	49	12	0.40	82	20	0.67
17	7	0.23	50	12	0.40	83	20	0.67
18	7	0.23	51	12	0.40	84	20	0.67
19	7	0.23	52	12	0.40	85	21	0.70
20	7	0.23	53	13	0.43	86	21	0.70
21	8	0.27	54	13	0.43	87	21	0.70
22	8	0.27	55	13	0.43	88	23	0.77
23	8	0.27	56	13	0.43	89	23	0.77
24	8	0.27	57	13	0.43	90	24	0.80
25	9	0.33	58	13	0.43	91	24	0.80
26	9	0.33	59	14	0.47	92	25	0.83

Окончание таблицы 2

27	9	0.33	60	14	0.47	93	26	0.87
28	10	0.33	61	14	0.47	94	27	0.90
29	10	0.33	62	14	0.47	95	27	0.90
30	10	0.33	63	15	0.50	96	28	0.93
31	10	0.33	64	15	0.50	97	28	0.93
32	10	0.33	65	15	0.50	-	-	-
33	10	0.33	66	16	0.53	-	-	-

Таблица 3

Количество баллов, полученное студентами в первом семестре на экзамене по химии

№ п/п	Оценка	Кол-во баллов	№ п/п	Оценка	Кол-во баллов	№ п/п	Оценка	Кол-во баллов
1	неуд.	2	32	неуд.	23	63	удовл.	42
2	неуд.	3	33	неуд.	24	64	удовл.	42
3	неуд.	5	34	неуд.	24	65	удовл.	43
4	неуд.	5	35	неуд.	24	66	удовл.	43
5	неуд.	6	36	неуд.	25	67	удовл.	45
6	неуд.	7	37	неуд.	25	68	удовл.	46
7	неуд.	7	38	неуд.	25	69	удовл.	46
8	неуд.	7	39	неуд.	25	70	удовл.	48
9	неуд.	7	40	неуд.	25	71	удовл.	49
10	неуд.	8	41	неуд.	26	72	удовл.	49
11	неуд.	8	42	неуд.	26	73	удовл.	52
12	неуд.	11	43	неуд.	27	74	удовл.	52
13	неуд.	11	44	неуд.	27	75	хор.	52 (49)
14	неуд.	12	45	неуд.	27	76	хор.	52
15	неуд.	12	46	неуд.	31	77	хор.	53
16	неуд.	15	47	неуд.	32	78	хор.	55
17	неуд.	15	48	удовл.	31	79	хор.	56
18	неуд.	16	49	удовл.	31	80	хор.	57
19	неуд.	16	50	удовл.	33	81	хор.	58
20	неуд.	18	51	удовл.	34	82	хор.	61
21	неуд.	18	52	удовл.	34	83	хор.	64
22	неуд.	19	53	удовл.	35	84	хор.	64
23	неуд.	19	54	удовл.	37	85	хор.	64
24	неуд.	19	55	удовл.	37	86	хор.	67
25	неуд.	20	56	удовл.	37	87	хор.	67
26	неуд.	20	57	удовл.	37	88	хор.	68
27	неуд.	20	58	удовл.	37	89	отл.	69
28	неуд.	20	59	удовл.	38	90	отл.	74
29	неуд.	21	60	удовл.	39	91	отл.	76
30	неуд.	21	61	удовл.	40	92	отл.	85
31	неуд.	21	62	удовл.	40	-	-	-

только заучивание, но в первую очередь понимание). Изменяются критерии и формы контроля успеваемости и посещаемости занятий, причем оценка успеваемости проводится без учета прежних «школьных заслуг». Такие изменения требуют от студентов определенных навыков, причем не только технических (усидчивости в течение полутора часов вместо сорока пяти минут школьного урока, умения быстро конспектировать, способностей осуществлять самостоятельный поиск и систематизацию нужной информации), но также наличия внутренней мотивации на систематическую учебу, несмотря на отсутствие постоянного внешнего контроля, способностей к самоконтролю, умения грамот-

но распределять свое время, а если оно упущено – умения сконцентрироваться и в сжатые сроки усвоить материал. Также можно отметить необходимость адаптации студентов младших курсов к новому коллективу, к условиям проживания в общежитии или на частных квартирах (для иногородних студентов), к самостоятельности, в том числе финансовой, к новым формам внеучебной деятельности.

Многие преподаватели считают, что более серьезной причиной, чем сложности адаптации, является снижение общего уровня школьных знаний. В связи с этим кафедрой неорганической химии химического факультета ННГУ было инициировано проведение в начале 2011/12

учебного года тестового опроса по химии среди студентов первого курса. При разработке тестовых заданий за основу была принята школьная программа по курсу химии. При их составлении ориентировались на экзаменационные задания, предлагаемые абитуриентам при поступлении на химический факультет ННГУ в 1996 – 2008 годах. Разработанные варианты тестовых работ содержали по 6 заданий, включающих как написание уравнений химических превращений (характеризующих свойства различных веществ и лежащих в основе базовых химических производств), так и расчеты по основным закономерностям, используемым в курсе общей химии (расчеты по уравнениям химических реакций, составам смесей, использование термохимических законов). Задания полностью соответствовали школьной программе по курсу химии. Уровень сложности предлагаемых в тесте упражнений оценивался путем сравнения с экзаменационными заданиями, о которых было сказано выше. Во вступительных экзаменационных заданиях предлагались задачи разной степени сложности, отражаемые количеством баллов, которые мог получить абитуриент при верном решении. Задачи оценивались от 3 до 15 баллов, суммарная оценка за экзамен составляла 60 баллов. Предлагаемые в рамках тестового опроса задания по степени сложности соответствовали, на наш взгляд, уровню от 3 – 4 до 10 – 11 баллов, то есть позволяли провести дифференцирование знаний студентов. Максимальный для тестовых и экзаменационных заданий уровень сложности в полной степени не достигался (см. табл. 2, 3).

Статистическая модель оценки знаний

Обозначим через p вероятность (способность) учащегося решить предлагаемую задачу (задачи) на один балл из n возможных баллов. Тогда невозможность для него решения поставленной задачи будет равна $(1-p)$. Дифференциальная функция распределения (ФР), т.е. плотность вероятности получить r баллов, в этом случае определится биномиальным распределением (или распределением Бернулли) [2]

$$\rho(r) = C_n^r p^r (1-p)^{n-r}. \quad (1)$$

Интегральная ФР для числа учащихся N_r (N – общее число испытуемых)

$$N_r = N\rho(r). \quad (2)$$

«Содержательный» смысл такого распределения заключается в том, что испытуемые имеют различные способности (навыки), определяемые при относительно одинаковом объективном подходе параметром r .

При достаточно больших n приближением для формулы (1) будет нормальное распределение (или распределение Гаусса)

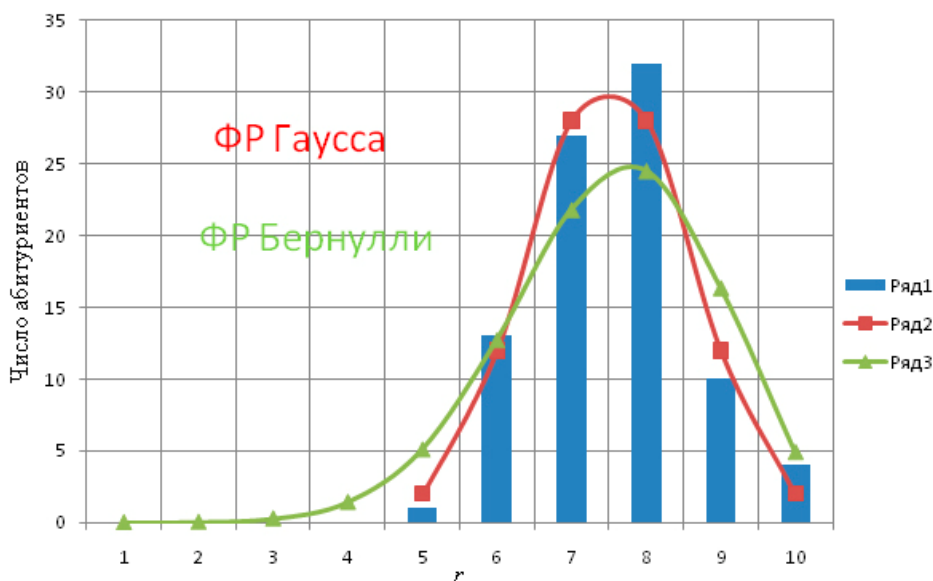
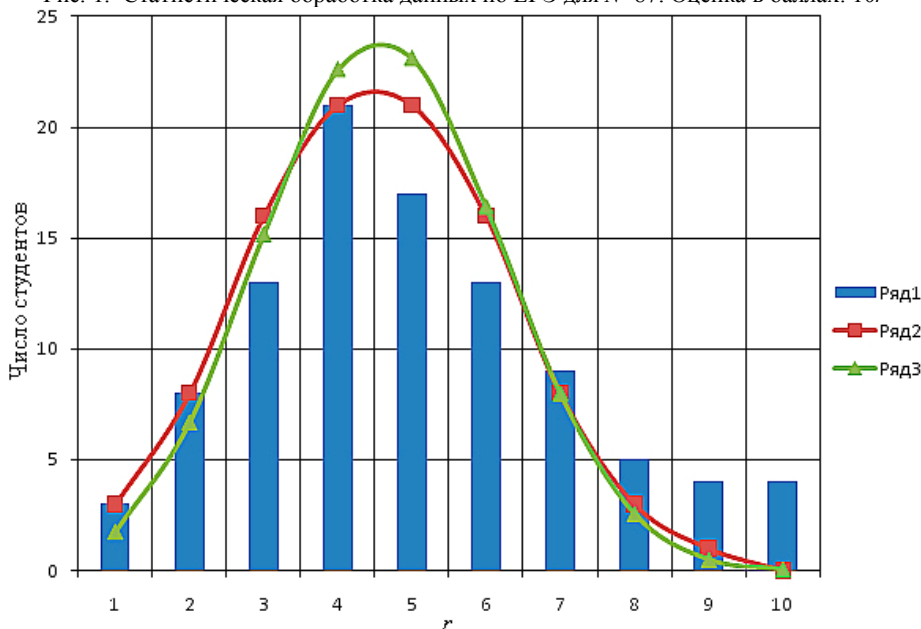
$$\rho(x) = (2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp[-(x-\mu)^2 / 2\sigma^2], \quad (3)$$

где $\mu = np$; $\sigma^2 = np(1-p)$ и при целых значениях $x = r$ расчет по (3) совпадает с (1). Рассматриваемое множество характеризуется в данном варианте иным «содержательным» смыслом – однородностью («одинаковостью») членов, определяемой средним значением μ и случайным отклонением от этого значения, которое описывается дисперсией σ^2 . Нормальное распределение, благодаря уже отмеченному выше свойству устойчивости, наиболее адекватно описывает неподверженное детерминистическому воздействию распределение рассматриваемой величины при её «объективной» однородности. Отсюда следует возможность установления в полученных «экспериментальных» величинах (гистограммах) наличия искусственных факторов влияния.

Обсуждение

Результаты ЕГЭ (см. рис.1) Поступили на химфак ННГУ учащиеся, набравшие не менее половины максимального числа баллов. ФР при объективных требованиях должна описываться симметричной кривой (3). Расчет параметра p через минимизацию критерия χ^2 (К. Пирсон, Р. Фишер [2]) дает следующий результат: $\mu = 7.4$; $\sigma = 1.1$; $\chi^2 = 6$. При числе степеней свободы $\nu = n-1-s$, где s – число параметров ФР, определяемых из данных гистограммы (в данном случае $s = 1$), т.е. при $\nu = 3$, табличное значение $\chi_{0.05}^2 = 7.5$. Таким образом, гипотеза о нормальном виде ФР для обычно принимаемого уровня значимости $p = 0.05$ значима (ряд 2). Из сравнения с гистограммой (т.е. графическим отображением непосредственно полученных данных – см. табл.1, 2, ряд 1) видно, что успехи абитуриентов при сдаче ЕГЭ подтягиваются до более высоких баллов.

Результаты расчета с использованием распределения Бернулли (1) (при $\nu = 7$ и $p = 0.77$ минимум $\chi^2 = 11$, а $\chi_{0.05}^2 = 14.1$) подтверждают статистическую значимость этого варианта модели. Из рис.1 при сравнении более общей, «реальной» (1) и упрощенной «идеализированной» (3) ФР, моделирующих результаты оценки знаний, также следует вывод о завышении по среднему значению оценок ЕГЭ (для ФР Гаусса $\mu = 7.4$, а для ФР Бернулли $\mu = 7.7$ – см. ряд 2 и 3 соответственно).


 Рис. 1. Статистическая обработка данных по ЕГЭ для $N=87$. Оценка в баллах: $10r$

 Рис. 2. Статистическая обработка данных по тесту для $N=97$. Оценка в баллах: $3r$

Результаты по тесту (см. рис. 2) Минимизация отклонения распределения (1) по критерию χ^2 дает следующий результат: $p = 0.46$; $\chi^2 = 7$. Для ФР (3) $\mu = 4.5$; $\sigma = 1.8$; $\chi^2 = 5$. Гипотезы при тех же условиях, что и в предыдущем случае, значимы, т.е. принимаются (см. ряды 3 и 2 соответственно). С отбрасыванием интервалов, содержащих статистически незначимые данные, т.е. при $r = 1, 9, 10$, имеем: $v = 6$, $\chi_{0.05}^2 = 12.6$ и $v = 5$, $\chi_{0.05}^2 = 11.1$ соответственно. Из сравнения двух ФР с гистограммой видим, что тестовые успехи в области средних баллов несколько занижены. Степень требовательности теста по μ значительно выше ЕГЭ ($7.5/4.6 \sim 1.6$ раза). Подобная оценка по одному из московских вузов составляет $8.5/6.8 \sim 1.3$ раза [4].

Результаты сдачи экзаменов в первом семестре (см. рис. 3) Минимизация отклонения распределения (1) по критерию χ^2 дает следующий результат: $p = 0.39$; $\chi^2 = 30$. Гипотеза при тех же условиях, что и в предыдущих случаях, незначима, т.е. не может быть принята (см. ряд 3). Для ФР (3) $\mu = 3.6$; $\sigma = 2.3$; $\chi^2 = 4.75$. При этих данных имеем: $v = 5$, $\chi_{0.05}^2 = 11.1$, т.е. гипотеза принимается. Из сравнения двух ФР с гистограммой видим, что успехи в области удовлетворительных оценок заметно занижены. Степень требовательности на экзаменах по μ весьма высока ($7.5/3.6 \sim 2.1$ раза, ср. с тест/ЕГЭ).

Отметим, что число отличников в среде студентов (данные теста и экзамена) превышает

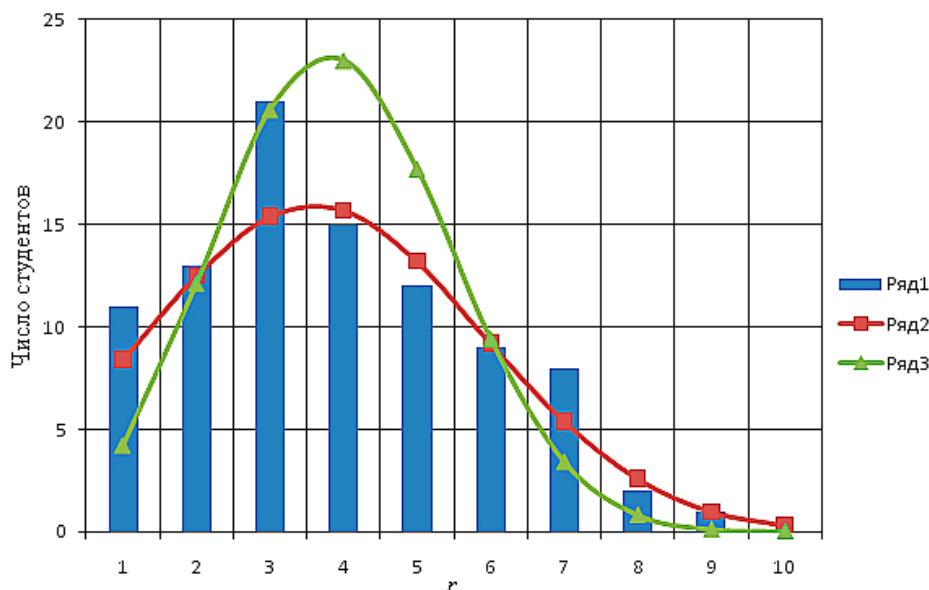


Рис. 3. Статистическая обработка данных по экзамену для $N = 92$. Оценка в баллах: $10r$

статистически предсказываемый результат. Этот «детерминированный» факт, возможно, следует интерпретировать как непроизвольную «положительную» реакцию преподавателей на относительно сильных студентов в основной среде довольно слабого контингента.

Благодарим за помощь при статистической обработке результатов С.А. Гаврина.

Список литературы

1. Труды конференции, посвященной 90-летию со дня рождения А.А. Ляпунова. Новосибирск: ОИИ СО РАН, 2001. С. 773 – 780. URL: <http://www.ict.nsc.ru/ws/Liap2001/2309/>
2. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1967. 242 с.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
4. Ивойлова И. ЕГЭ переоценили // Российская газета. 22.09.2009.

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE «UNIVERSITY ENTRANT – STUDENT» TRANSITION AT THE FACULTY OF CHEMISTRY OF THE STATE UNIVERSITY OF NIZHNI NOVGOROD

V.M. Stepanov, O.Yu. Troshin, E.L. Tikhonova, M.F. Churbanov

Using the methods of mathematical statistics, we study the results of the testing and of the first examination session of the first-year students of the Faculty of Chemistry at N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod in chemistry as compared with their achievements as school leavers while passing the USE.

Keywords: tests, modeling, USE, processing of test studies, assessment of knowledge.