

# ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИННОВАЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Лавренова Е.В., Смольникова И.А.\* (Россия, г. Москва)

***Аннотация.** С целью оценки влияния инноваций на успеваемость сформулированы типовые гипотезы для статистической обработки результатов обучения. Предложены соответствующие статистические критерии и примеры для подтверждения или опровержения гипотез на уровне статистической значимости для возможного переноса результатов с конкретной выборки на всю генеральную совокупность. Дано сравнение критериев и программ, алгоритм их применения. Статистически значимые выводы являются обоснованием для последующего внедрения новшества и моделирования корректирующих воздействий с целью повышения результативности обучения. Технологию сравнения можно использовать не только в образовательном процессе, но и в аналогичных социально-экономических акциях.*

Развитию познавательной, поведенческой и конструктивной компетентности учащегося и компонентам профессиональной деятельности педагога, методиста и администратора для 3-х типов ориентации педагогического процесса в условиях информатизации посвящена работа [1]. Современные и перспективные достижения автоматизации посредством информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) учебного процесса рассмотрены в [1]. Большинство преподавателей разрабатывает (или адаптирует готовые) электронные образовательные ресурсы.

Для практикума управленцев по ИКТ автором разработан набор компьютерных моделей по различным аспектам менеджмента, а также тиражируемая методика обучения их совершенствованию для практического использования в дальнейшей работе менеджеров [4]. Профессиональные информационные и коммуникационные инструменты менеджера и их освоение при обучении рассмотрены в [5]. Методические материалы (в том числе, методика разработки электронных учебно-методических комплексов, конструктор для самообучающих лекционных тестов [2] и инструкция для разработки Интернет-теста и его автоматической проверки для контроля готовности [3]) автора доступны всем преподавателям.

Но до внедрения новшества (программы новых курсов, новые учебно-методические материалы, инновационные технологии обучения) проводят их апробацию. При проведении педагогического эксперимента (ПЭ) необходимо показать, что, будучи примененными к объекту (например – к группе обучаемых), новые методики, средства, способы обучения дают лучшие результаты, чем применение традиционных педагогических воздействий [6; 7].

При апробации новых средств и методов обучения надо следовать теории педагогического эксперимента. Для объективности выводов о результатах педагогических новаций необходимо корректное сравнение результатов использования традиционных и инновационных методик. Оно возможно лишь в рамках специально поставленного ПЭ. Этапы современного педагогического исследования рассмотрены в [6–8]. Последуем им (см. п. I ниже) как в предшествующем эксперименте [10]. Взяты те же данные (табл. 1 ниже), но в [10] они были обработаны без использования статистических программ, а теперь – с их применением.

---

\* Лавренова Екатерина Владимировна, кандидат наук, доцент, факультет государственного управления МГУ имени М.В.Ломоносова; Смольникова Ирина Алексеевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математических методов и информационных технологий в управлении, факультет государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова.

## I. Педагогический эксперимент

### 1. Две группы

Из учебного потока или его части (например, специализации) выделяются *экспериментальная* (училась по инновационной методике) и *контрольная* (обучалась традиционными средствами) группы обучаемых. Были фиксированы аналогичные группы прошлого (контрольная) и нынешнего (экспериментальная) года (вел один преподаватель), а также группы 2-х специализаций (контрольная и экспериментальная) нынешнего года (параллельно вели 2 преподавателя). Проведенные входные тесты дали снижение экзаменационных оценок предшествующего близкого курса за счет разрыва во времени и, как следствия, забывания знаний и снижения нужных умений (левые столбцы групп в табл. 1 ниже).

### 2. Измерительная шкала

Выбор методов обработки результатов зависит от того, в какой измерительной шкале производились измерения [7, 8]. *Измерительная шкала* – это числовая система, в которой отношения между различными свойствами изучаемых явлений, процессов переведены в свойства множества, удобнее – чисел. В педагогике используются два типа шкал – порядковая (ранговая, например, «зачет» – «незачет» или традиционные оценки «2» – «5») и шкала отношений (баллы от 0 до максимально возможного, например, 100 – на ЕГЭ). Для сохранения степени различия групп, учитывая *мощность* (см. табл. 2 в [10]) *шкалы измерения*, лучше не спускаться («отношения» > «порядка» > «наименований») на нижний уровень до группировки в интервалы и категории. Но т.к. входные тесты оценивались традиционными оценками, то пришлось и бальную систему курса в итоге округить до оценок «2» – «5».

Результаты входного и выходного тестов приведены в табл. 1 (табл. 5 в [10]):

Таблица 1

Оценки групп студентов, участвующих в ПЭ

| №<br>испытуемых | оценки экспериментальной |            |     | контрольной группы |          |
|-----------------|--------------------------|------------|-----|--------------------|----------|
|                 | входное                  | / выходное | //  | входное            | выходное |
| 1.              | 3                        | 4          | 5,2 | 2                  | 3        |
| 2.              | 3                        | 5          | 6,5 | 5                  | 5        |
| 3.              | 3                        | 3          | 3,9 | 3                  | 4        |
| 4.              | 2                        | 5          | 6,5 | 2                  | 5        |
| 5.              | 4                        | 4          | 5,2 | 4                  | 4        |
| 6.              | 3                        | 5          | 6,5 | 5                  | 4        |
| 7.              | 3                        | 5          | 6,5 | 3                  | 3        |
| 8.              | 3                        | 4          | 5,2 | 3                  | 4        |
| 9.              | 3                        | 3          | 3,9 | 4                  | 4        |
| 10.             | 4                        | 5          | 6,5 | 3                  | 5        |
| 11.             | 3                        | 5          | 6,5 | 3                  | 4        |
| 12.             | 3                        | 4          | 5,2 | 3                  | 3        |
| 13.             | 2                        | 3          | 3,9 | 3                  | 4        |
| 14.             | 3                        | 5          | 6,5 | 2                  | 4        |
| 15.             | 3                        | 4          | 5,2 | 5                  | 5        |

|              |          |          |         |          |          |
|--------------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 16.          | 4        | 5        | 6,5     | 3        | 5        |
| 17.          | 2        | 5        | 6,5     | 5        | 4        |
| 18.          | 3        | 2        | 2,6     | 3        | 5        |
| 19.          | 4        | 4        | 5,2     | 4        | 3        |
| 20.          | 3        | 4        | 5,2     | 3        | 5        |
| 21.          | 2        | 4        | 5,2     | 2        | 3        |
| 22.          | 3        | 5        | 6,5     | 3        | 4        |
| 23.          | 4        | 4        | 5,2     | 4        | 4        |
| 24.          | 3        | 5        | 6,5     | 2        | 5        |
| 25.          | 4        | 3        | 3,9     | 2        | 4        |
| 26.          | 3        | 4        | 5,2     | 4        | 3        |
| 27.          | 3        | 4        | 5,2     | 3        | 5        |
| 28.          | 3        | 3        | 3,9     | 5        | 4        |
| 29.          | 5        | 4        | 5,2     | 2        | 4        |
| Кол-во       | 29       | 3 «—»    |         | 29       | 5 «—»    |
| Среднее      | 3,137931 | 4,137931 | 5,37931 | 3,275862 | 4,103448 |
| отклонение s | 0,693034 | 0,833415 |         | 1,031523 | 0,724314 |
| асимметрия   | 0,502    | 0,671    |         | 0,445    | 0,161    |
| эксцесс      | 0,880    | 0,107    |         | 0,842    | 0,985    |

Сравним (п. 3–6 ниже) оценки 2-х групп учащихся – 5 столбцов числовых результатов:

- 1) экспериментальная (по новому курсу, технологиям и методике) и
- 2) контрольная (по традиционному курсу, технологиям и методике) по
  - а) входным (до начала обучения) и
  - б) выходным (по итогам обучения – традиционно I и с повышающим коэффициентом II).

### 3. Описательная статистика и визуальная разведка

При обработке результатов ПЭ используются обобщающие статистические показатели выборки (столбца оценок конкретных учащихся): среднее значение и стандартное отклонение  $\sigma$ , асимметрия и эксцесс – см. в 4-х нижних строках табл. 1.

Вычислять показатели можно и вручную, но в ПО Statistica они выдаются вместе с удобной визуализацией. Эти показатели используются для наглядного представления и первичного анализа результатов измерений экспериментальной и контрольной групп. Каждому столбцу соответствует свой «ящик с усами» – разброс данных относительно медианы или средне группового значения.

Но сначала проверим нормальность распределения частот одинаковых оценок (сводная таблица) по их гистограмме: везде 1 горб в центре – см. рис. 1:

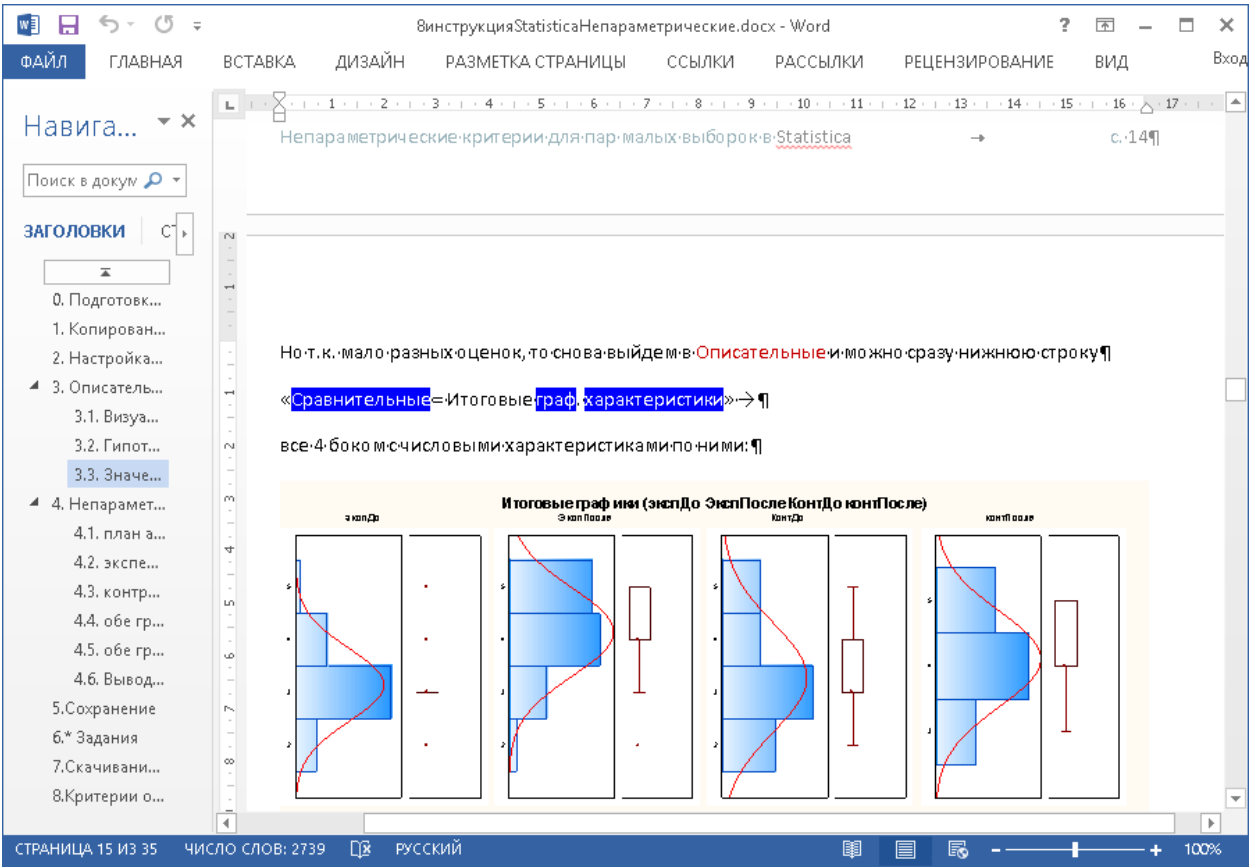


Рис. 1. Отклонения гистограмм от нормального распределения

Далее, т.к. асимметрия и эксцесс (см. последние строки табл. 1) по модулю  $<1$  (из допустимых 3), то отклонения гистограмм от нормального распределения незначительные и возможно в дальнейшем использование статистических критериев для сравнения (см. п.5 ниже).

Сначала сравним средние значения (точки в середине) и отклонения от них – см. рис. 2:

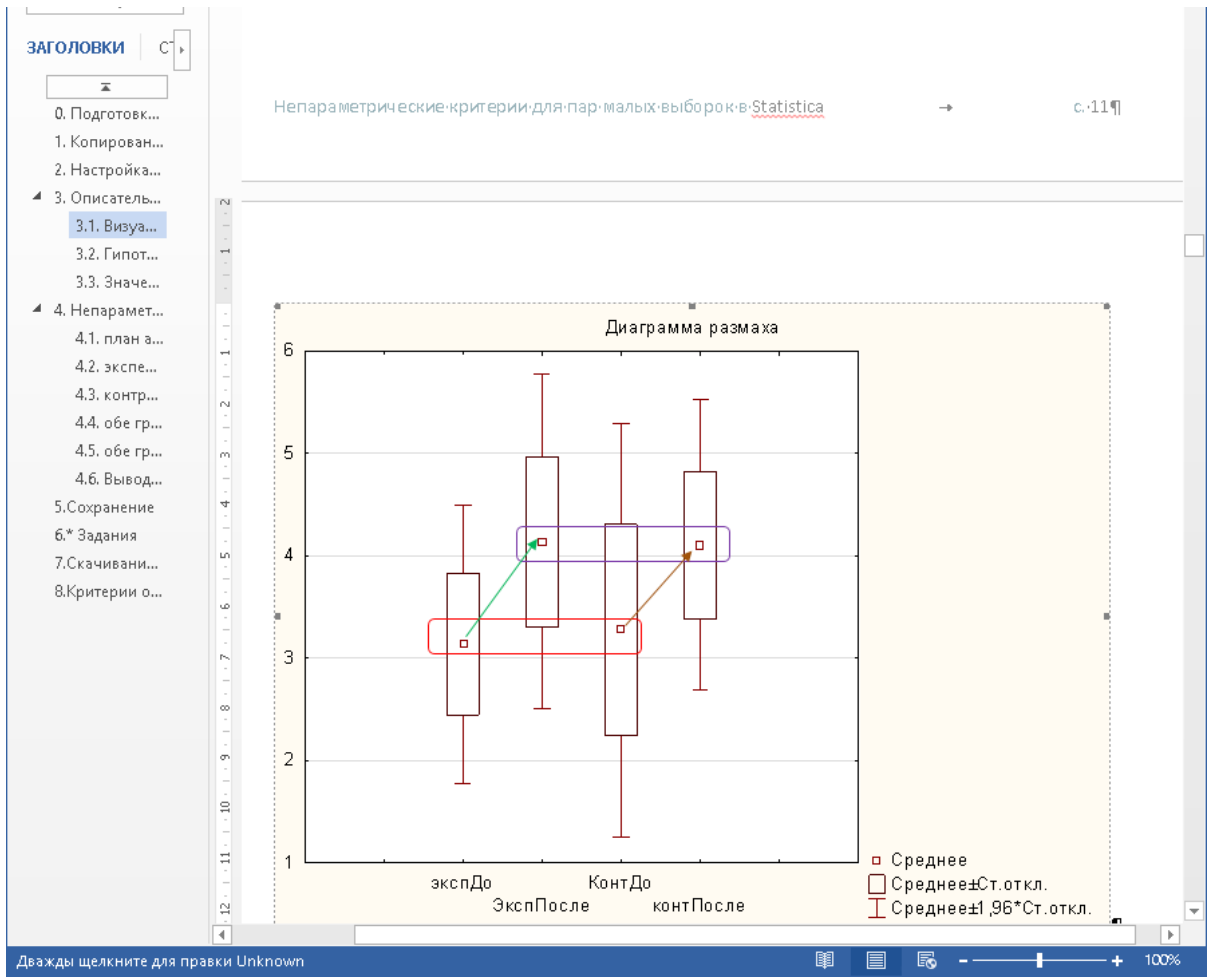


Рис. 2. Сравнение средних значений и отклонения от них

В отличие от средних (см. рис. 2) медианы (см. рис. 1) располагаются внизу ящика, но соотношения между ними одинаково.

4. Гипотезы

По п.3 выдвигаются гипотезы. Видим для средних результатов конкретных учащихся – см. на рис. 2 (выше):

- 1) примерно равный уровень групповых средних на входе «до» (1 и 3-я), что значит равные стартовые условия эксперимента;

- 2) в обеих группах «до» ниже (меньше), чем на выходе «после» (1 и 2-я) и (3 и 4-я), что значит улучшение в каждой группе «после»;
- 3) но расстояние (длина стрелки) **в экспериментальной больше**, чем **в контрольной**:

из 4-й снизу строки таблицы 1 (выше): разность средних «до» и «после» в экспериментальной = 1 – это больше, чем в контрольной = 0,83 → **улучшение в экспериментальной значительнее**, да и разброс (стандартное отклонение) невелик.

Так как объектом ПЭ являются люди и количество случайных факторов, влияющих на результаты обучения, велико, то о *различии характеристик* групп судят на основе *вероятностных заключений*. Задача анализа первичных данных ПЭ – определение *степени достоверности совпадений и различий интегральных характеристик* экспериментальной и контрольной группы. После обучения результаты *групп* должны быть односторонне различными, а до обучения *входные* – *схожими*.

Для этого формулируется *нулевая гипотеза*  $H_0$  – считается, что на заданном уровне значимости  $\alpha$  значения *сравниваемых столбцов* *совпадают* (с вероятностью  $1-\alpha$ ). Если  $H_0$  *статистически* не значима ( $\alpha > 0,05$ ), то рассматривается альтернативная гипотеза  $H_1$  о значимости различий (с вероятностью  $1-p$ ) – см. пример ниже.

### 5. Статистические критерии

Для принятия решений о том, какую из гипотез следует принять, используют *статистические критерии*. По *формуле* выбранного критерия на основе результатов наблюдений *вычисляется* число, называемое *эмпирическим значением критерия*. Это число *сравнивается* с *известным* (заданным таблично) числом, называемым *критическим значением критерия* для фиксированного  $\alpha \leq 0.05$ . Если полученное *эмпирическое* значение критерия оказывается *меньше или равно критическому*, то *принимается*  $H_0$ . В противном случае, если *эмпирическое* значение критерия оказывается *больше критического*, то нулевая гипотеза отвергается и *принимается альтернативная гипотеза*  $H_1$  о значимости различий *характеристик* с  $1-p$ .

По результатам сравнения (знак неравенства) либо принимается  $H_0$  на уровне значимости  $\alpha$  (вероятности ошибки отбрасывания верной гипотезы  $H_0$ ), либо  $H_1$  с достоверностью  $1-p$ . Для односторонних различий (не просто « $\neq$ », а « $>$ ») надо проверять неравенство с модулем вычисленного (эмпирического) значения – см. примеры в I ниже. При этом надо учесть зависимость либо независимость выборок:

- 1) зависимые – результаты входного и выходного тестирования одних и тех же учащихся
- 2) независимые – результаты однотипного тестирования учащихся разных групп.

Обзор *назначения критериев* статистической обработки результатов обучения дан в [6–8 и 10]. Но т.к. длина выборок  $N = 29 < 50$ , то правомерны только *непараметрические критерии*.

Таблица 2

Сводная таблица вероятностей  $1-p$  соответствующих критериев в Statistica

| Критерий \ пара выборок | знаков                   | Вилкоксона        | Вальда-Вольфовица     | Колмогорова-Смирнова | U критерий Манна-Уитни |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| Эксперим-я До и После   | 0,999150773              | <b>0,99962704</b> | нельзя т.к. зависимые |                      |                        |
| Контрольная До и После  | 0,980983525              | <b>0,99772486</b> |                       |                      |                        |
| Обе До                  | нельзя, т.к. независимые |                   | <b>0,3228912</b>      | <0,9                 | 0,244949               |
| Обе После               |                          |                   | 0,304951              | <0,9                 | <b>0,611588</b>        |

Сводная таблица параметров критериев с гипотезой и ее вероятностью по более чувствительному критерию (жирным выделено максимальное значение в строке):

Вилкоксона – для 2-х первых строк, а для 2-х последних строк соответственно Вальда-Вольфовица – для 3-й и Манна-Уитни – для 4-й:

Таблица 3

Сводная таблица с гипотезой и ее большей вероятностью из таблицы 2

| № вывода | Переменная 1     | средние | гипотеза → знания             | Переменная 2      | с вероятностью     |
|----------|------------------|---------|-------------------------------|-------------------|--------------------|
| 1        | Эксперим-я До    | <       | $\neq \rightarrow$ хуже, чем  | эксперим-я После  | 0,9996 > 0,95      |
| 2        | Контрольная До   | <       | $\neq \rightarrow$ хуже, чем  | контрольная После | 0,9977 > 0,95      |
| 3        | Эксперим-я До    | <       | $= \rightarrow$ не лучше, чем | контрольная До    | 0,323 < 0,5 < 0,95 |
| 4        | Эксперим-я После | >       | $= \rightarrow$ не хуже, чем  | контрольная После | 0,5 < 0,612 < 0,95 |

## 6. Интерпретация выводов

Можно ли результаты конкретных учащихся пар сравниваемых групп *перенести* на всех учащихся в аналогичных условиях? По табл. 3:

1. Отличие пары уровней средних до (3-я строка) статистически не значимы (<0,95), поэтому считаем, что входной уровень статистически «схож», что означает равные условия начала эксперимента.
2. В обеих группах до обучения уровень ниже (меньше), чем после (1 –я и 2-я строки), что значит улучшение после, причем в каждой группе улучшение статистически значимо (с вероятностью более 0,99);
3. Хотя улучшение в экспериментальной группе больше, чем в контрольной, но отличия средних после (4-я строка) велико, но статистически не значимо, т.е. утверждать, что экспериментальная методика даст улучшение и для других учащихся в аналогичных условиях нельзя.

**Итог:** Несмотря на «чистоту» эксперимента (п.1) и его положительные результаты (п.4) гипотеза о значительном улучшении знаний с использованием экспериментальных методик по табл. 3 не подтвердилась.

Однако, если учесть увеличившееся на 4 из 15 количество изученных вопросов и технологий, а также выросшую сложность итогового задания (т.е. 5 из 15), и применив получившийся вес (\*1,3) к столбцу I табл. 1 (выше) для учета этих факторов, то баллы экспериментальной группы после обучения увеличатся (столбец II) и прирост успеваемости в экспериментальной группе станет значимо выше, чем в контрольной. Теперь гипотеза (3') о значительном улучшении уровня знаниево-деятельностной компоненты готовности экспериментальной группы по сравнению с контрольной после ПЭ *подтвердилась статистически значимо* (с вероятностью более 0,98).

Для оперативности и массовости проверки знаний использованы тесты:

в лекционной презентации на основе конструктора [2],

в Googl-форме на сайте на основе инструкции [3].

В будущем в качестве наилучших измерений следует применять задания со свободным конструированием ответа при применении автоматизированного контроля, используя для этого многомерную вероятностную модель процесса решения задачи, а также факторный анализ [7].

## II. Сравнение критериев

1. Критерий знаков: ручной в [10] (см. в табл. 4 ниже) и автоматический в ПО «Statistica» (см. в табл. 2 выше).

Вычисляются только знаки и их количество (в 5-й снизу строке табл. 1) или сами «сдвиги» и суммы нулевых, положительных и отрицательных сдвигов экспериментальной и контрольной групп. С помощью табл. 7 в [10] оценивался уровень различий входного и выходного тестирования. Результат для экспериментальной группы усилился: улучшение с вероятностью не 99%, а 99,9%.

А для контрольной группы результат уточнился: общий положительный сдвиг *статистически не достоверен* с вероятностью 95% (при грубом ручном оценивании), но *достоверен* с вероятностью 77% (при точном автоматическом оценивании).

2. В Statistica (см. ниже) реализован критерий Манна-Уитни, но не реализован вариант, уточненный Вилкоксоном (ВМУ). А результаты по ним различны: критерий Манна-Уитни дал повышение итоговых результатов в экспериментальной группе только на 37,6% по сравнению с контрольной, а ВМУ, рассчитанный вручную в [10] – 95%.

Т.о., с достоверностью не ниже 95% значение результатов выполнения тестовых заданий для исследования знаниевой компоненты профессиональных компетенций в экспериментальной группе (даже без повышающего коэффициента) будет *выше*, чем в контрольной группе студентов, обучающихся в сходных с нашими студентами условиях.

Видим, что ручной критерий знаков груб, а ВМУ более чувствительный. Сравним вероятности, полученные параметрическими методами в Excel:

Таблица 4

Продолжение таблицы 3 для параметрических методов и их вероятностей

| №<br>в. | с большей вероятностью 1 – p по строке → |           |             |                  |          | диапазон                             | чувств.<br>критерий |
|---------|------------------------------------------|-----------|-------------|------------------|----------|--------------------------------------|---------------------|
| 1       | 0,99                                     | 0,8326440 | 1           | 1                | 1,00     | 0,95; 1                              | z                   |
| 2       | 0,94                                     | 0,9667952 | 1           | 1                | 1        | 0,95; 1                              | z                   |
| 3       | нельзя<br>независимые                    | 0,9802759 | 0,875011    | 0,72360689       | 0,772213 | 0,5; 0,95                            | F                   |
| 4       |                                          | 0,7687232 | 0,509076    | 0,56646874       | 0,508754 | 0,5; 0,95                            | F                   |
| №<br>кр | 3 знаков<br>ручной [9]                   | 4 F       | 5 t средних | 6 t<br>дисперсий | 7 z      | параметрические критерии<br>из Excel |                     |

### Выводы по критериям сравнения пар выборок:

Т.к. длины выборок < 50, то параметрические критерии не правомерны. Непараметрические критерии (табл. 2 выше) дали ожидаемо худший результат (меньшую вероятность даже для самого чувствительного критерия), но для имеющихся данных выводы в части принятия или отклонения гипотезы H0 совпадают.

В рассмотренном примере данные критичны: попытка сблизить результаты экспериментальной и контрольной групп при сохранении различия средних баллов не дадут статистически достоверных различий.

### Выводы по технологиям обработки результатов эксперимента:

Если длины пары выборок < 50, то нужно сразу использовать непараметрические критерии в Statistica, причем выбирать самый чувствительный:

Вилкоксона – для 2-х зависимых выборок, и любой (Вальда-Вольфовица или Манна-Уитни) – для 2-х независимых выборок, можно даже разной длины.

Если сумма объемов выборок  $>100$ , то нужно сразу использовать параметрические критерии (табл. 4 выше), причем для зависимых выборок лучше использовать z-критерий, а для независимых – F-критерий.

Выводы будут статистически значимы при  $1 - p > 0,95$ ; поэтому нужно начать с  $\alpha = 0,05$ . Далее:

- 1) в случае статистической значимости  $H_0$  попробовать уменьшить  $\alpha$ . Остановиться в случае статистической значимости  $H_0$  на самом маленьком  $\alpha$ .
- 2) в случае статистической незначимости  $H_0$  попробовать увеличить  $\alpha$ . Остановиться в случае статистической значимости  $H_0$  при самом маленьком  $\alpha < 0.5$ . Если  $p < 0.5$ , то принять  $H_1$  с вероятностью  $1 - p$ . Если  $p < 0.05$ , то  $H_1$  статистически значима.

Именно для распространения выводов с конкретных студентов на всех обучающихся в схожих условиях (генеральная совокупность) и применяют продемонстрированный аппарат математической статистики.

Отметим, что использование статистических методов требует планировать педагогический эксперимент на стадии его подготовки, оценивать необходимый объем выборок, их зависимость или независимость, шкалу измерений и другие важные параметры.

### III. Статистические компьютерные программы для автоматизации расчетов

Для описательной статистики можно использовать бесплатную программу WolframAlpha с ручным вводом данных. Для педагогических экспериментов можно использовать бесплатную программу PedStat ([www.mtas.ru/uploads/stst.zip](http://www.mtas.ru/uploads/stst.zip)) [8].

Для начала сравнения выборок (в виде столбца) достаточно возможностей модуля анализа пространственной универсальной программы MS Excel – описательная статистика, которая при выделении выборок сразу выдаст их индивидуальные характеристики: среднее, стандартная ошибка, медиана, мода, стандартное отклонение, дисперсия выборки, эксцесс, асимметричность, интервал, минимум, максимум, сумма, счет (количество), уровень надежности (для 95,0%).

Но в широко распространенной MS Excel пока выше названные непараметрические критерии не реализованы, а реализованы только параметрические методы.

Следует заметить, что реализованный (в аналитическом модуле MS Excel) критерий « $\chi^2$  согласия» отличается от рекомендованного « $\chi^2$  однородности», поэтому следует набрать формулы самостоятельно или пользоваться:

- 1) бесплатными настройками к Excel в Интернете: Megastat, XLStat
- 2) более мощными, но дорогими и непростыми в освоении профессиональными статистическими пакетами: SPSS, STATGraphics, Statistica (русифицирована).

Работа в Statistica, Genehunter, FuzzyXl с примерами для экономических и социологических исследований, когда число факторов велико, в том числе, с разбором неправильного применения и неверными выводами, рассмотрена в [8].

Непараметрические критерии реализованы только в Statistica, хотя без более чувствительного критерия Вилкоксона-Манна-Уитни (ВМУ).

## Вывод

Большие возможности и далекие перспективы использования ИКТ требуют не только готовности всего коллектива создавать информационные ресурсы и использовать информационную среду, но и оперативной обратной связи, анализа результатов для повышения эффективности образовательной, профессиональной, научной и административной деятельности. Для обработки экспериментальных данных в МГУ для научно-педагогических работников проводятся межфакультетские курсы по закупленной специализированной статистической и Data Mining – программе Statistica, но пока без педагогической составляющей. Для представленного способа доказательства статистической значимости инновации авторами разработана подробная инструкция для обработки первичных педагогических данных в модуле анализа MS Excel и Statistica. Поэтому желающие смогут получить поддержку как очно, так и дистанционно. Предъявленный способ доказательства может быть распространен на данные социально-педагогических экспериментов в интервальной шкале (см. п.2 в I).

## Список литературы

- [1] Смольникова И.А. Развитие информационных и коммуникационных систем обучения. // Гос. управление в XXI веке: традиции и инновации: Матер. 8-й междунар. конференции. – ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. Ч. 1. – С.739–746.
- [2] Смольникова И.А. Разработка интерактивной тестирующей презентации (сайта) на основе конструктора (шаблона) // Информатика и образование, 2008. №8. – С. 25–29 (2009. №2. С. 63–68).
- [3] Смольникова И.А. Конструирование обучающе-контролирующего google – сайта и методика его использования. // Применение новых педагогических технологий: Матер. 26-й Межд. конференции-выставки. – М.: Троицк, 2015. Секция 1. – С. 132–133.  
URL: <http://ito.mosedu.ru/files/materials.pdf> (29.05.2016).
- [4] Смольникова И.А., Мартынов Ю.В. Интеграция компьютерного моделирования управления для обучения и практического использования. // Гос. управление в XXI веке: традиции и инновации: Матер. 7-й междунар. конференции. ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009. Ч. 3. – С. 647–656.
- [5] Смольникова И.А., Мартынов Ю.В. Информационные и коммуникационные инструменты менеджера и их освоение при обучении. // Гос. управление в XXI веке: традиции и инновации: Матер. 7-й междунар. конференции. ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009. Ч. 3. – С. 656–666.
- [6] Смольникова И.А. Планирование педагогического эксперимента и статистическая обработка результатов посредством ИТ // Дистанционное образование: проблемы, перспективы развития – М: ФИРО, 2007. – С. 143–159.
- [7] Грабарь М.И. Измерение и оценка результатов обучения. – М.: ИОСО РАО, 2000. – 93 с.
- [8] Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях. – М: МЗ-Пресс, 2004. – 67 с.  
URL: [www.mtas.ru/pedstat.pdf](http://www.mtas.ru/pedstat.pdf) (29.05.2017).
- [9] Петрунин Ю.Ю. Информационные технологии анализа данных. Data Analysis: учебное пособие. – М.: КДУ, 2008. – 292 с.
- [10] Лавренова Е.В., Смольникова И.А. Статистические критерии социально-педагогических исследований. // Гос. управление в современном мире: Матер.13-й междунар. конференции. ФГУ МГУ имени М.В. Ломоносова, 2015, секц.VII, с.62–70.  
URL: [http://spa.msu.ru/uploads/files/knigi/conf\\_2015\\_7.pdf](http://spa.msu.ru/uploads/files/knigi/conf_2015_7.pdf).