

УДК 008:002:311

Жаркова Г.А.

НЕСТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ

Ключевые слова: информационная культура, педагогический эксперимент, нестатистические методы, латентные факторы, индикатор педагогического эксперимента.

В педагогических экспериментах основным математическим методом исследования является статистический метод. Его основная посылка – представление о бесконечной генеральной совокупности. В математической статистике это понятие является абстракцией, отражающей представление, что эксперимент можно повторять бесконечно много раз. При этом предполагается, что относительная частота интересующего нас события обладает свойством статистической устойчивости, более того, при неограниченном возрастании объема выборки эта частота достигает некоторого «истинного» значения [2, с. 165]. Однако оба эти предположения именно в педагогических экспериментах вызывают обоснованную критику. Причина здесь даже не в весьма ограниченных объемах выборок, а в слабой воспроизводимости результатов педагогических экспериментов, имеющей место из-за «человеческой» природы как субъекта измерения, так и «прибора» измерения. Любому учителю-практику очевидно, что повторная контрольная работа даст результаты, совершенно отличные от первой.

Указанные обстоятельства иногда приводят исследователя к получению недостоверных результатов обработки данных, слабо обоснованных выводов, а то и к вульгаризации итогов исследования. Отсюда превалирование среди педагогов-исследователей качественных методов исследования, принципиальное неприятие вообще любых количественных методов.

На наш взгляд, это обстоятельство проистекает от незнания иных методов математического моделирования, применение которых возможно в педагогических экспериментах, а также от плохого проектирования самого эксперимента. Под этим понимается ситуа-

ция, когда экспериментатор не отдает себе отчет, какие предпосылки (гипотезы) он выдвигает в эксперименте, не заботится о проверке их выполнения, а статистические выводы подгоняются под заранее известный ответ.

В данной статье описываются методы обработки результатов педагогических экспериментов, в основу которых положены нестатистические гипотезы.

Как и в любом научном измерении, в педагогическом измерении следует выделять понятия: объект измерения, переменные (индикаторы, факторы) измерения, измерительная процедура, средства измерения и шкалы измерения. Объект измерения в педагогике – человек изучающий. В экспериментах это не абстрактное человеческое сообщество, а вполне конкретное множество людей, связанных одним учебным процессом, образованием, возрастом и т.п.

Среди бесконечного множества характеристик объекта – человека – нас будут интересовать только числовые переменные. Традиционно они подразделяются на индикаторы (их можно измерить непосредственно в ходе эксперимента) и латентные (скрытые, неявные) переменные, т.е. их невозможно измерить непосредственно [1]. Математической (иногда метрической) моделью эксперимента называется связь или выражение индикаторов через латентные переменные. Присвоение конкретных значений индикаторам производится в ходе специальной измерительной процедуры, в роли которой выступают: тестирование, экзамен, контрольная работа и т.п. При необходимости достичь высокого качества педагогических измерений к подобным процедурам необходимо предъявлять серьезные требования: объективность, полнота, воспроизводимость, непротиворечивость и

многие другие. В данной работе мы не будем на этом останавливаться подробно, подразумевая выполнение всех необходимых требований.

Важно отметить, что числовое значение, присвоенное индикатору, представляет собой отметку на определенной шкале. Широко известны номинальная, порядковая (ранговая), интервальная (количественная) шкалы, шкала отношений (или пропорциональная шкала). В отдельных случаях приходится конструировать нелинейные шкалы, наиболее подходящие для данного эксперимента.

Опишем типичный «педагогический эксперимент», чуть ли не ежедневно проводимый в практической педагогике для оценивания успешности обучения школьника (студента, слушателя). Латентная переменная здесь – уровень знаний испытуемого по данной теме. Предположим, что n школьникам в ходе контрольной работы (теста, школьного экзамена, ЕГЭ), например, по информатике предлагается m заданий по теме прошедшего цикла обучения. При проектировании задания автор (педагог) явно или неявно оценивает уровень трудности каждого задания, его валидность (способность отразить знания испытуемых), адекватность данной теме, творческую составляющую и т.п. Все эти оценки субъективны.

При решении каждого задания испытуемый пытается реализовать (отразить) достигнутый уровень знаний по данной теме, а также некоторые свои личностные характеристики (интеллект, способность мыслить нестандартно, творческие способности и т.п.). Результат выполнения задания (решение) рассматривается экспертом (преподавателем). Предположим, что его оценка представляет собой число x_{ij} (i -й школьник в списке, j -е задание в тесте, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, m < n$).

В большинстве случаев в педагогике x_{ij} представляет собой ранговую (порядковую) оценку успешности выполнения данного задания. Часто это дихотомичная оценка: $x_{ij} \in \{0; 1\}$ (т.е. задание либо выполнено, либо нет). В лучшем случае $x_{ij} \in \{0, 1, \dots, x_{\max}\}$, т.е. экспертом устанавливаются критерии выполнения задания на некоторой числовой шкале. Для опытного педагога, знающего определенные приемы, достичь при проектировании теста величины $x_{\max} = 5$ или даже $x_{\max} = 10$ не представляется непреодолимой трудностью. Очевидно, что чем больше x_{\max} , тем ближе мы приближаемся к количественной шкале оценивания выполнения задания, в которой только и можно достаточно надежно применять математические методы анализа данных.

Эта шкала представляется самой простой, но она не единственная. Введем величину u , которую назовем «уровнем компетентности ученика». Под этим термином (активно используемым в проекте ФГОС-2) мы будем понимать возможность ученика использовать (в ходе ЕГЭ или своей практической деятельности) содержание образования.

Статистический подход приводит к построению эмпирического распределения оценок, выделению интервалов, которым будет присвоена одинаковая итоговая оценка. При этом в исследованиях выдвигаются гипотезы о том или ином теоретическом распределении, которым якобы соответствуют полученные гистограммы, оцениваются параметры, проверяются критерии согласия и однородности, вычисляются доверительные вероятности и т.п. Все это так или иначе строится на предположении о статистической однородности результатов эксперимента и нормальности всех используемых

распределений. Как уже отмечалось, эти предположения вызывают обоснованную критику.

Тем самым неэффективной оказывается любая процедура установления зависимости, даже понимаемой в статистическом смысле, между наблюдаемыми индикаторами. Но тогда будет неэффективной и попытка определения латентной переменной через систему зависимостей индикаторов, например через величину статистической корреляционной связи между ними.

Более объективным и математически обоснованным является факторный анализ. Решая очередное задание теста или экзамена (например, по информатике и информационным технологиям для определения уровня его информационной культуры), ученик пытается отразить в решении свой уровень знаний и компетенций по рассматриваемой теме. Если j -е задание спроектировано «хорошо», выставленная экспертом оценка x_{ij} должна быть пропорциональна уровню знаний i -го ученика, возможно, с некоторой поправкой, которую можно объяснить как влиянием личностных факторов, так и просто ошибкой измерения.

Рассмотрим основную гипотезу. Можно предположить, что оценка, выставленная ученику за конкретное задание, будет иметь значение: $x_{ij} = f_i \times k_j$, где f_i – уровень знаний ученика по данной теме (скрытый фактор), k_j – уровень решаемости задачи (обратная величина к уровню трудности задания). В частности, если $k_j = 0$, то задача слишком сложна для всех испытуемых, если $k_j = \max$, то задание является самым простым из всех предложенных. Ясно, что при выполнении этой гипотезы величины f_i – прообразы итоговых оценок испытуемых, k_j – коэффициенты, обратные уровню трудности задания.

Если исследователь допускает, что на измерительную процедуру влияет не только один (главный) фактор знаний, но и ряд других личностных характеристик, то гипотезу следует усложнить:

$$x_{ij} = k_1^{(j)} f_1^{(i)} + \dots + k_m^{(j)} f_m^{(i)}. \quad (1)$$

Здесь $f_1^{(i)}, \dots, f_m^{(i)}$ – значения латентных факторов для i -го испытуемого; $k_1^{(j)}, \dots, k_m^{(j)}$ – факторные нагрузки j -го задания, которые не зависят от испытуемого. Обычно наборы $\{f_1^{(i)}\}, \{f_2^{(i)}\}, \dots, \{f_m^{(i)}\}$ накладывают дополнительные требования ортогональности (статистической независимости) и нормированности.

Уравнение (1) представляет собой линейную метрическую модель зависимости измеряемых индикаторов (оценок за задания) и некоторых латентных переменных. Оказывается, что при некоторых предположениях (обычно выполненных на практике) величины $\{f^{(i)}\}$ и $\{k^{(j)}\}$ однозначно определяются процедурой, называемой нестатистическим факторным анализом [3]. Опишем ее кратко.

Справедлива следующая теорема: матрица X может быть представлена в виде

$$X = \sqrt{\lambda_1} f^{(1)} k^{(1)T} + \sqrt{\lambda_2} f^{(2)} k^{(2)T} + \dots + \sqrt{\lambda_r} f^{(r)} k^{(r)T}. \quad (2)$$

Для единственности представления следует потребовать, чтобы все собственные числа матрицы $K = X^T X$ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$ были различны, что не является существенным ограничением в практических задачах. Каждое слагаемое в (2) называется фактором, влияющим на значения первичных оценок. Вектор $k^{(1)}$ называется вектором факторных нагрузок первого фактора на каждую из m переменных (заданий). Компоненты вектора $f^{(1)}$ характеризуют значение первого фактора у каждого испытуемого.

Среди свойств разложения (2) отметим, что все слагаемые в нем представляют собой одноранговые матрицы размерности $n \times m$, причем первое слагаемое является наилучшим (в смысле евклидовой нормы матриц) одноранговым приближением матрицы X .

Предположим, что при проектировании контрольной работы предусматривается основная цель: выделить главный фактор – оценку знаний каждого слушателя по теме экзамена или теста. Тем самым мы приходим к однофакторной модели, в которой основной гипотезой будет предположение, что для всех i, j $x_{ij} = u_i k_j$, где u_i – уровень знаний i -го испытуемого (искомый скрытый фактор), k_j – объективный параметр j -го задания, одинаковый для всех испытуемых и характеризующий его (задания) способность отразить истинный уровень знания испытуемого.

Если в разложении (2) получается более одного слагаемого, но справедливо, что $\lambda_1 \gg \lambda_2$, а также, что все компоненты векторов $f^{(1)}$ и $k^{(1)}$ положительны, то тогда первое слагаемое в (2) можно интерпретировать как ответ на вопрос гипотезы. При этом $u_i = \sqrt{\lambda_1} f_i^{(1)}$, т.е. компоненты вектора $f^{(1)}$ пропорциональны уровню знаний соответствующего испытуемого, компоненты вектора $k^{(1)}$ – это оценки возможности для соответствующей задачи отразить уровень знаний испытуемого.

Получив полное разложение (2), можно попытаться интерпретировать не только первое слагаемое – фактор уровня знаний по данной теме, но и второе, и последующие слагаемые. Для этого следует проанализировать структуру вектора $k^{(2)}$ и векторов, следующих за ним. Некоторые их компоненты положительны, некоторые – отрицательны, а некоторые столь малы, что представляются незначительными

(сами по себе знаки не принципиальны, их всегда можно все поменять на противоположные). Тем не менее различие в знаках характеризует определенные свойства заданий.

В качестве примера рассмотрим результаты ЕГЭ по информатике выпускников школ Ульяновской области 2010 г. Матрица первичных оценок представляет собой таблицу из 735 строк и 32 столбцов (по числу задач). Каждое значение этой таблицы представляет собой число – отметку на порядковой шкале. В данной статье нас будет интересовать характеристика современного человека, называемая «информационной культурой». Выдвинем гипотезу, что оценки ЕГЭ связаны уравнением (1) с некоторыми латентными факторами, которые являются составляющими информационной культуры человека.

Информационная культура является компонентом человеческой культуры в целом, связана с социальными структурами и является продуктом творческих способностей, т.е. информационная культура в широком смысле – это совокупность принципов и реальных механизмов, обеспечивающих позитивное взаимодействие этнических и национальных культур, их соединение в общий опыт человечества; в узком смысле слова – это оптимальные способы обращения с данными, информацией, выраженной в знаках, и предоставления их заинтересованному потребителю для решения теоретических и практических задач [4].

Исходя из структурных компонентов информационной культуры и основных задач учебно-познавательной деятельности, выделяют три критерия сформированности основ информационной культуры:

– овладение знаниями, способствующими деятельности в информаци-

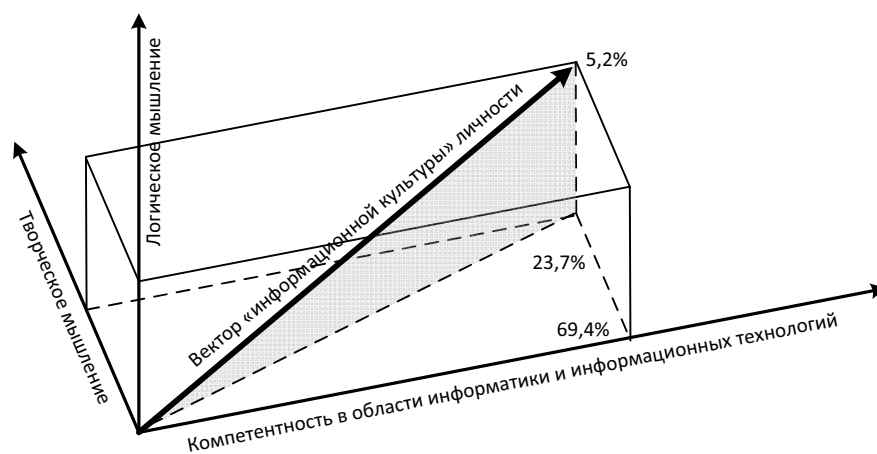
онном пространстве; его показателем можно взять уровень знаний;

- умение адекватно формулировать свою потребность в информации и эффективно осуществлять поиск нужной информации по всей совокупности информационных ресурсов для формирования мировоззрения, способности к информационному общению (уровень компьютерной компетенции); показателем этого критерия следует брать уровень практической деятельности по применению информационных технологий;
- умение адекватно отбирать, оценивать, осваивать, вырабатывать качественно новую информацию, описывать и создавать процессы обработки информации (уровень сформированности творческих умений); показателем, характеризующим этот критерий, является умение решать творческие задачи, используя математические алгоритмы и технологии программирования, т.е. перенос знаний в различные сферы деятельности.

В нашем примере мы хотели выделить те составляющие информационной культуры (понимаемой, конечно, в узком смысле) выпускника школы, которые наиболее значимо проявляются в условиях ЕГЭ.

Проделав процедуры описанного выше факторного анализа (для этого необходимо найти собственные значения и собственные векторы квадратной матрицы размерности 32), получим следующее:

- значимыми являются три фактора. Информационная мощность первого – 69,4%, второго – 23,7%, третьего – 5,2%;
- первый фактор назовем «уровнем компетентности» в области информационных технологий. Величи-



Составляющие вектора информационной культуры личности

ны $f_i^{(1)}$ неотрицательны и могут служить прообразами экзаменационных оценок. Одновременно получаем факторные нагрузки $k_i^{(1)}$, которые будут обратно пропорциональны коэффициентам трудности заданий. Примечателен факт, что отношение этих коэффициентов для самой трудной и самой легкой задачи более 70, т.е. экзамен представляет собой смешение чрезвычайно различных задач;

- второй фактор, исходя из анализа его факторных нагрузок $k_i^{(2)}$ и сопоставления их со свойствами задач, следует назвать фактором «нестандартного творческого мышления»;
- третий фактор по аналогичной причине назовем фактором «логики мышления».

Вектор «информационной культуры», состоящий из трех важнейших компонент, иллюстративно изображен на рисунке.

Напомним, что все эти факторы статистически попарно независимы, т.е. определяют независимые качества личности объекта эксперимента. Значения факторов представляют собой

числовые отметки на количественной шкале отношений, т.е. шкале более высокого уровня, чем исходные первичные данные. В частности, к этим данным можно применять с большей надежностью любые статистические и логические процедуры кластеризации участников эксперимента.

Подводя итоги, следует сказать, что в рассматриваемом личностном качестве человека «информационная культура» выделяются три важнейшие составляющие: уровень компетентности, способность к нестандартному мышлению и умение при решении задания мыслить логически.

Литература

1. Аванесов В.С. Педагогическое измерение латентных качеств // Педагогическая диагностика. 2003. № 4. С. 69–78.
2. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975.
3. Жарков А.В. Модель нестатистического факторного анализа // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 17, вып. 1. С. 105–106.
4. Жаркова Г.А. Прогностическая функция в педагогике // Проблема комплексного прогнозирования в образовании и науке: сб. материалов Всероссийской конф. М.: Ульяновск, 2008.