

# Актуальні питання навчання

УДК 007:519.81:378

Н.С. Бакуменко

*Національний аерокосмічний університет імені Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

*В данной статье рассматривается возможность применения регрессионных методов анализа для оценки эффективности обучения в высших учебных заведениях (вузах). Для оценивания уровня подготовки специалистов абсолютных оценок может быть недостаточно, поскольку они не отражают вклад учебного заведения в процесс обучения. Важным является оценивание уровня знаний и умений как на входе, при поступлении в вуз, так и по окончании учебы. Оценивание динамики изменений показателей учебных достижений и сравнение с данными других вузов позволяет сделать выводы об уровне подготовки специалистов. В работе предлагается использовать модель, которая базируется на методе регрессионного анализа.*

**Ключевые слова:** *регрессионный анализ, модель добавочной оценочной стоимости (VMA), эффективность функционирования, процесс обучения, высшие учебные заведения.*

### Введение

Оценивание эффективности обучения в вузах является актуальной задачей, поскольку часто рейтинговые показатели [1] не отображают реальной картины учебного процесса в вузе. Если при поступлении абитуриенты имели высокий средний балл, и при выпуске имеют те же показатели, что в вузе, где средний балл абитуриентов был достаточно низким, то не корректно судить об уровне подготовке в вузе.

В настоящее время оцениванию эффективности обучения в средних и высших учебных заведениях уделяется много внимания. Разработано ряд методов и моделей, которые базируются как на статистических подходах, так интеллектуальных методах анализа данных. Однако, большинство методов не учитывают множества факторов и не дают достоверных оценок о качестве учебного процесса. Поэтому, актуальной является задача поиска и разработка таких методов, которые позволят оценить эффективность процесса обучения и получить сравнительную оценку высших учебных заведений.

**Целью данной работы** является анализ методов и моделей, применяемых для оценивания эффективности функционирования высших учебных заведений и обоснования возможности применение методов регрессионного анализа для решения данной задачи.

### 1. Анализ методов и моделей оценки эффективности процесса обучения

Эффективность, наряду с результативностью, является одним из показателей качества процесса. Согласно стандарту ИСО 9001-2001 эффективность процесса отражается в соотношении достигнутых результатов к используемым ресурсам [2]. Существуют различные эконометрические методы оценки эффективности [3], которые широко используются в производственном менеджменте и оценке организационных структур управления. Данные методы основаны на оценивании границы эффективности, которая рассчитывается исходя из производственной функции [4]. Методы анализа эффективности делятся на параметрические и непараметрические.

В параметрических методах граница эффективности задается изначально на основе эталонных показателей, определенных экспертным путем. Недостатком данного метода является то, что заданная предварительно производственная функция может не отображать реальных экономических условий. Например, оценить эталонные значения работы вуза в постоянно-изменяющихся рыночных условиях, при условии, что большинство параметров деятельности вуза отображаются в категориальных (качественных) шкалах, является достаточно проблематичным. К параметрическим методам относятся методы стохастической (SFA – stochastic frontier approach) и толстой границы (TFA – thick frontier approach), а

также метод свободного распределения (DFA – distribution-free approach). Эти методы получили широкое распространение в экономике, но применение их для оценивания образовательных учреждений не является эффективным.

В непараметрических методах показатели эффективности определяются методами линейного программирования. Граница эффективности строится на основе различных моделей метода обволакивающей поверхности (DEA – data envelopment analysis). Метод DEA в последнее время получил широкое применение для анализа эффективности функционирования вузов, в частности для построения рейтинга без использования мнений экспертов при оценивании важности показателей деятельности вуза; для анализа эффективности работы преподавателей; для ранжирования студентов по уровню их учебных достижений и др. [5, 6]. Достоинства этого подхода заключаются в одновременном учете всех затрат и результатов, а также возможности построения эффективной границы, которая точно соответствует имеющимся данным. Однако данный метод чувствителен к выбросам; существует необходимость анализа большого количества объектов для получения устойчивых результатов.

При оценивании эффективности обучения применяют ряд подходов, основанных на использовании Байесовских сетей (BKT – Bayesian Knowledge Tracing, Bayesian network) [7] и факторных моделей (AFM – Additive Factor Models, PFM – Performance Factor Models) [8, 9]. Данные подходы позволяют построить модель обучаемого и оценить эффективность процесса обучения индивидуально для каждого студента. Однако, эти модели не учитывают ряд факторов, отражающих среду обучения. Например, структура байесовской сети отражает структуру знаний студентов, и является инструментом, с помощью которого можно выносить суждения и оценки относительно уровня готовности студентов. Для таких же целей служат модели AFM и PFM, которые позволяют делать выводы о повышении уровня подготовки обучаемых, но не дают ответ на вопрос об эффективности процесса обучения.

Интересным является опыт использования различных моделей линейной регрессии при оценивании добавочной образовательной стоимости (VAM – value-added measure) для оценивания эффективности обучения в средних школах Польши. Концепция VAM заключается в том, что для каждого выпускника вычисляется разница между реальной итоговой оценкой по результатам обучения и соответствующей ей ожидаемой оценкой. Ожидаемый результат для каждого обучающегося рассчитывается как средний результат всех итоговых оценок выпускников, которые имели одинаковые баллы при поступлении. Показатель VAM каждого обучающегося за

период обучения является основой для оценивания добавочной образовательной стоимости класса, группы или учебного заведения в целом. Можно сказать, что в основе оценивания эффективности функционирования учебного заведения лежит прогресс каждого обучающегося.

Следует отметить, что показатель VAM является относительной оценкой и не позволяет в полной мере оценить качество подготовки специалиста в вузе. Показатель VAM необходимо использовать вместе с абсолютными показателями учебных достижений, а также отслеживать динамику их изменения. Также следует учесть, что данный метод дает большую погрешность при оценивании эффективности малых групп или при большом интервале разброса показателей учебных достижений, поскольку расчетные модели строятся на основе параметрических методов регрессионного анализа, которые требуют соблюдения условий большой численности популяций и нормальности законов распределения случайных величин. Также для получения достоверных оценок требуются «чистые» исходные данные, т.е. оценивание уровня учебных достижений по предметам следует проводить в виде независимых тестирований (например, ВНО – внешнего независимого оценивания).

Несмотря на указанные недостатки, результаты использования метода VAM для оценивания эффективности функционирования учебных заведений в Польше показали свою эффективность [10, 11]. В процессе проведения исследований с 2002 по 2011 год были рассчитаны показатели эффективности функционирования лицеев, гимназий и техникумов, которые дали много полезной информации как для руководителей учебных заведений, так и для общественности.

## 2. Регрессионные модели относительного уровня подготовки

Перед рассмотрением применения метода VAM следует отметить тот факт, что применение данного метода должно ограничиваться популяцией обучающихся только по схожим направлениям, например, не следует сравнивать между собой студентов медицинских, гуманитарных и технических вузов. Они имеют изначально разный уровень подготовки даже по схожим направлениям и значительно отличается содержательная часть дисциплин подготовки и итоговых экзаменов.

Поэтому, все рассуждения касаются схожих направлений обучения, например, студентов, обучающихся по направлению компьютерные науки или программная инженерия, направлению социология или философия и т.д.

Рассмотрим математическую модель относительного повышения уровня знаний студентов вуза

по аналогии с моделью VAM, предложенной в [10], но с учетом факторов, оказывающих влияние на студентов высшего учебного заведения

Для каждой группы  $C_{jg}$  учащихся  $j$ -го учебного заведения в период обучения  $g$ , показатель добавочной образовательной стоимости VAM  $\theta$  можно представить как разность между текущим  $q_{ijg}$  и прогнозируемым значением

$$P(q_{ijg} | q_{ijg-r}, x_{ijg}, s_j)$$

уровня знаний  $i$ -го ученика:

$$\theta_{C_{jg}} = \frac{1}{n_C} \sum_{i \in C_{jg}} [q_{ijg} - P(q_{ijg} | q_{ijg-1}, S_{ijg}, R_C)],$$

где  $P(q_{ijg} | q_{ijg-1}, S_{ijg}, R_j)$  – предсказанная оценка каждого  $i$ -го студента;

$q_{ijg}$  – значение уровня подготовки  $i$ -го студента  $j$ -го учебного заведения за весь период обучения  $g$ , с учетом достижения данным студентом определенного уровня знаний на предыдущем этапе обучения  $q_{ijg-1}$ ;

$S_{ijg}$  – вектор характеристик студента, которые оказывают существенное влияние на образовательный процесс (значимые факторы, которые можно определить используя известные статистические методы);

$R_C$  – вектор переменных, определяющий условия обучения, расходы на образования, социальную среду обучающихся в данной группе.

Для расчета показателя VAM применяется метод основанный на линейной регрессионной модели. Данная модель является наиболее изученной в эконометрике. В основе регрессионного анализа лежит предположение о том, что зависимость между значением факторного признака ( $x$ ) и средним значением результативного ( $\tilde{y}$ ) может быть представлена в виде функции  $\tilde{y} = f(x)$ . В предложенном методе рассматривается зависимость между входными и выходными значениями – измеренными знаниями студентов, полученными в определенный промежуток времени.

Предсказанная оценка  $q_{ijg}$  основана на информации об учебных достижениях учащегося на более ранней стадии образовательного процесса  $q_{ijg-1}$  и других факторах  $S_{ijg}$ , которые считаются значимыми в разрезе подготовки студентов в вузе (к этим факторам можно отнести личные, демографические, гендерные и др. факторы).

Выделим два внутренних фактора – характеристики ученика, основанные на биометрических и

психометрических данных и один внешний – влияние материально-технического обеспечения вуза.

Таким образом, уровень подготовки учащегося представляется в виде следующей зависимости:

$$q_{ij} = \alpha + \beta S_{1ij} + \gamma S_{2ij} + R_j + \varepsilon_{ij},$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – постоянные параметры;

$i = 1, \dots, n_j$ , где  $n_j$  – количество студентов в

рассматриваемой группе;

$j = 1, \dots, m$ , где  $m$  – количество групп.

В данной модели не будем рассматривать внешний фактор как фиксированный эффект. Если количество учащихся в выборке становится достаточно большим, то для получения надежных оценок параметров представляет интерес выразить данный фактор в виде линейной функции от переменной: уровень материально-технического обеспечения будет равен  $\delta R_j$  плюс погрешность уровня  $\zeta_j$ .

Тогда мы получим следующий вид модели:

$$q_{ij} = \alpha + \beta S_{1ij} + \gamma S_{2ij} + \delta R_j + \zeta_j + \varepsilon_{ij},$$

где  $\zeta_j$  – случайная величина с нормальным законом распределения, с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $\sigma_\zeta^2 > 0$ , не коррелирующая с  $\varepsilon_{ij}$ .

С помощью данной формулы можно показать существование положительной ковариации  $\sigma_\zeta^2$  и, как следствие, положительной корреляции показателей  $q_{ij}$  в пределах одного вуза.

Основной проблемой является оценка параметров модели  $\alpha, \beta, \gamma$ , который чаще всего вычисляются с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Существование положительной корреляции между остатками в пределах одного вуза нарушает второе предположение стандартной модели регрессии МНК, а именно, что существует нулевая корреляция между ошибками  $\varepsilon_{ij}$ , которые соответствуют разным значениям объясняющих переменных. Поэтому для оценки параметров МНК может быть неэффективным.

Ещё одним методом оценки параметров регрессионной модели, является обобщенный метод наименьших квадратов (GLS – Generalised Least Squares). ОМНК применяют, когда неизвестна ковариационная матрица случайных ошибок, т.е. на практике вместо ковариационной матрицы используется её некоторая оценка.

Для решения данной регрессионной модели можно использовать итерационный ОМНК (Iterative Generalised Least Squares IGLS) [12].

Основные допущения модели:

– однородность и нормальный характер распределения единиц, подлежащих изучению методами корреляционно-регрессионного анализа;  
 – достаточное количество наблюдений;  
 – независимость друг от друга факторов, которые выделены для исследования.

Описанная линейная регрессионная зависимость позволяет с достаточно высокой точностью оценить показатель VAM, как показал опыт Польши [10], однако в рамках применения в вузе не следует забывать об ограничениях, накладываемых на процесс формирования данных.

## Выводы

Таким образом, в данной работе проанализированы существующие методы оценки эффективности, используемые для оценивания процесса обучения в учебных заведениях.

Рассмотрен метод VAM, использование которого позволяет оценить относительный вклад учебного заведения в подготовку обучающегося.

Предложен вид регрессионной модели для анализа добавочной образовательной стоимости студента вуза.

## Список литературы

1. Студенческий портал Украины. Рейтинг ВУЗов: Лучшие ВУЗы Украины [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <http://mir-studenta.com/rejting-vuzov> (дата обращения 22.09.2015).
2. Ефимова В.В. Управление процессами [Текст]: учебн. пособие / В.В. Ефимова, М.В. Самсонова. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – С. 7-11.
3. Маглаперидзе А. Методология исследования возможностей повышения эффективности процессов КТТ [Текст] / А. Маглаперидзе, С. Попов, В. Храпкина // Теорія

і практика інтелектуальної власності. – 2009. – №2. – С. 60-65.

4. Анализ эффективности функционирования сложных систем [Текст] / В.Е. Кривоножко, А.И. Пропой, Р.В. Сеньков, И.В. Родченков, П.М. Анохин // Автоматизация проектирования. – 1999. – № 1. – С. 2-7.

5. Добряк В.С. Модель оценки компетентности преподавателей высшего учебного заведения на основе метода охвата данных / В.С. Добряк, М.С. Мазорчук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – №3(51). – С. 80-83.

6. Мазорчук М.С. Математическая модель построения рейтинга ВУЗов на основе метода обволакивающей поверхности [Текст] / М.С. Мазорчук, В.С. Добряк, М.А. Слепичева // Информационные технологии в управлении сложными системами: сб. докл. науч. конф., 24 июня 2011 г. – Д., 2011. – С. 382-385.

7. Corbett A.T. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge [Text] / A.T. Corbett, J.R. Anderson. – UMUAI, 1994. – 4(4). – P. 253-278.

8. Cen H. Is Over Practice Necessary? - Improving Learning Efficiency with the Cognitive Tutor through Educational Data Mining. In Proc. [Text] / H. Cen, K. R. Koedinger, B. Junker. – AIED, 2007. – P. 511-518.

9. Pavlik P.I. Performance Factors Analysis – A New Alternative to Knowledge Tracing. In Proc. / P.I. Pavlik, H. Cen, K.R. Koedinger. – AIED, 2009. – P. 531-538.

10. Jakubowsky M. Implementing Value-Added Models of School Assessment. Working paper. Series/Report no.: EUI RSCAS; 2008/06; European Forum (2006-07), 2008. – 22 p.

11. Мильяник А.И. Додана освітня вартість. Польський досвід [Текст] / А.И. Мильяник // Вісник ТІМО: тестування і моніторинг в освіті. – 2011. – № 1. – С. 46-48.

12. Магнус Я.Р. Эконометрика. Начальный курс: Учеб. – 6- изд., перераб. доп. [Текст] / Я.Р. Магнус, П.К. Катыхиев, А.А. Пересецкий – М.: Дело, 2004. – 576 с.

Поступила в редколлегию 23.09.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук Р.М. Трищ, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Н.С. Бакуменко

У даній статті розглядається можливість застосування регресійних методів аналізу для оцінки ефективності навчання у вищих навчальних закладах (ВНЗ). Для оцінювання рівня підготовки фахівців абсолютних оцінок може бути недостатньо, оскільки вони не відображають внесок навчального закладу в процес навчання. Важливим є оцінювання рівня знань та вмінь як на вході, при вступі до ВНЗ, так і по закінченню навчання. Оцінювання динаміки зміни показників навчальних досягнень та порівняння з даними інших ВНЗ дозволяє зробити висновки про рівень підготовки фахівців. У роботі пропонується використовувати модель, яка базується на методі регресійного аналізу.

**Ключові слова:** регресійний аналіз, модель додаткової оціночної вартості (VMA), ефективність функціонування, процес навчання, вищі навчальні заклади.

## ASSESSMENT OF STUDENTS EDUCATION EFFICIENCY IN HIGHER SCHOOLS BASED REGRESSION ANALYSIS

N.S. Bakumenko

This article describes the main approaches and models for assessment of professional level of competence, and suggests criteria for evaluating the effectiveness of competencies. We propose a mathematical model for the staff selection based on the analysis of competencies prototypes. To substantiate consistent decision-making in the management of personnel proposed to use the concept of Pareto dominance. The problem under consideration belongs to the class of multiobjective optimization. To overcome the complexity of calculating the function criteria the fuzzy inference algorithm is used.

**Keywords:** regression analysis, the model value-added measure (VMA), effective functioning, the educational process, high schools.