

Моделирование контрольных цифр бюджета вуза по данным об успеваемости

Моделируются два процесса деятельности вуза – обучение студентов, показателями которого являются характеристики успеваемости, и процесс согласования контрольных цифр бюджета на очередной финансовый год. Первый из них представлен уравнениями регрессии, второй – моделью потребительского выбора. Обе модели взаимосвязаны между собой, что позволило стипендиальный фонд оценить по показателям успеваемости.

Ключевые слова: модель, бюджет, успеваемость, оценивание, потребительский выбор.

MODELING OF UNIVERSITY BUDGET ITEMS BY THE ACADEMIC PERFORMANCE DATA

Two processes of the university are modeled – teaching students, which are indicators of performance characteristics, and the process of harmonization of control figures of the budget for the next fiscal year. The first of them is presented with regression equations, the second – a model of consumer choice. Both models are interlinked and that allowed the scholarship fund to evaluate in terms of performance.

Keywords: model, budget, performance, evaluation, consumer choice.

Введение

В условиях реформирования системы высшего образования в России все больше внимания уделяется эффективности работы вузов. При этом важную роль играет и эффективность расходования бюджетных средств образовательными учреждениями. Бюджет вуза верстается ежегодно на очередной календарный год, и процедура его формирования представляет собой итерационный процесс межуровневого согласования. Уровнями здесь являются вуз и его учредитель (верхний уровень), например Минобрнауки или Минфин Московской области и др. Межуровневое согласование [1, 2] представляет собой непростую процедуру, поскольку оба уровня действуют в условиях неопределенности и ограничений. Учредитель должен соблюсти ряд условий, в том числе ограниченность распределяемых между несколькими подведомственными организациями финансовых средств и постатейные их ба-

лансы. Вуз должен сформировать контрольные цифры по статьям предстоящих расходов в условиях, когда точно не известно, каков будет объем контингента, каким должен быть непредсказуемый стипендиальный фонд и ряд других статей бюджета.

В условиях отсутствия достаточно точных моделей, которые отражали бы все действующие в вузе механизмы и его окружение, стороны при составлении и итерационном согласовании бюджета используют свой опыт и существующие тренды. Известно, что при межуровневом взаимодействии в иерархических организационных системах [3] стороны вольно или невольно искажают сведения. В этих условиях, а также с учетом все возрастающей роли информационных технологий в планировании и управлении, приводящей к возрастанию циркулирующих потоков данных и скоростей обмена, формальные математические модели становятся все более актуальными.

Причем важная роль отводится моделям, согласованным с предпочтениями менеджеров, адаптированных под них.

В работе предпринята попытка увязать текущие параметры учебного процесса вуза с контрольными цифрами его бюджета. Из всех статей бюджета, без потери общности предлагаемый подход продемонстрирован для стипендиального фонда. Исследование выполнено на реальных данных об успеваемости студентов и о параметрах бюджета одного из вузов Московского региона. Автор выражает искреннюю благодарность А.М. Андреевой, выполнившей большую работу по сбору реальных данных и по их обработке.

1. Статистический анализ успеваемости студентов

Массив используемых в работе статистических данных об успеваемости студентов охватывал четыре академические группы разных специальностей вуза общей числен-



Валерий Яковлевич Вилисов,

д.э.н., профессор кафедры
математики

Тел.: (495) 516-99-29

Эл. почта: vilisov@fta-mo.ru

Финансово-технологическая академия
www.fta-mo.ru

Valery Y. Vilisov,

Doctor of Economic Science,

Professor of Mathematics

Тел.: (495) 516-99-29

E-mail: vilisov@fta-mo.ru

Financial Technology Academy
www.fta-mo.ru

ностью около 70 студентов, обучающихся на специалитете (5 лет обучения). Временной интервал наблюдения за данной выборкой студентов охватывал пятилетний период их обучения (по состоянию на конец 2010 года). Общее число анализируемых оценок успеваемости составило около 3000 почти по 400 дисциплинам. Помимо оценок успеваемости, в массив данных были включены оценки вступительных испытаний (так как исследование проводилось еще до введения ЕГЭ), а также данные по стипендиатам этих групп.

Основная цель анализа заключалась в том, чтобы по персональным данным студентов выявить значимые зависимости количества стипендиатов от параметров контингента и учебного процесса. Количество стипендиатов, получающих обычную и повышенную стипендию, определяет необходимый стипендиальный фонд, объем которого и должен согласовываться с соответствующей статьей бюджета. Заметим, что попытки прогнозировать тренд стипендиального фонда в целом, без привязки к параметрам контингента, оказываются очень грубыми и не дают приемлемой точности, что связано с неоднородностью учебных групп и с нестационарностью их характеристик.

В качестве инструментов исследования использовались регрессионный, дисперсионный и корреляционный анализ. Выходными переменными были выбраны количество (или доля) студентов, получающих обычную стипендию (ОС) и повышенную стипендию (ПС). Дискретным интервалом анализа был выбран семестр. Поэтому по каждому студенту была использована статистика полученных оценок по экзаменам в 9 моментов наблюдения (учебных семестров).

На первом этапе по всем статистическим данным был проведен предварительный (разведочный) анализ, в котором принималось во внимание большое число факторов, которые могли бы повлиять (быть значимыми) на выходные показатели, их было также некоторое множество. Полные результаты

этого анализа в данной статье не приводятся в силу ограниченности ее объема и в связи с тем, что основная задача статьи – показать возможность использовать результаты статистического анализа успеваемости студентов в процедурах бюджетирования в вузе для повышения точности планирования и обоснованности статей бюджета.

На втором этапе для дальнейшего исследования остались лишь те факторы, которые значимо влияют на выходные показатели (отклик). В их числе: x_1 – количество бюджетных студентов в выборке (в потоке или на курсе, если необходимы оценки по вузу); x_2 – доля студенток среди бюджетных студентов; x_3 – номер семестра в году (1 или 2); x_4 – порядковый номер семестра во всем интервале обучения (от 1 до 9).

Все выходные показатели учебного процесса, как показал статистический анализ, существенно нестационарны. При этом имеют место два типа трендов – один периодический (с периодом в 2 семестра, т.е. годовой цикл), а второй – монотонный (в большинстве случаев линейный), возрастающий от начала к концу периода обучения.

В результате регрессионного анализа (для целей бюджетирования) были построены две следующие регрессионные модели, отражающие корреляционные связи между количеством студентов, итоги успеваемости которых за семестр позволяют им получать обычную стипендию (y_1) и повышенную стипендию (y_1):

$$y_1 = -30.17 + 1.20x_1 + 0.31x_2 + 1.31x_3 - 0.96x_4; \quad (1)$$

$$y_2 = 20.04 - 0.76x_1 + 0.40x_2 - 1.31x_3 + 1.32x_4. \quad (2)$$

Качество регрессионной аппроксимации оказалось достаточно высоким, так для первой модели $R^2 = 0.81$, для второй $R^2 = 0.93$, а все коэффициенты уравнений значимы.

Эти модели позволяют определить количество студентов, претендующих на обычную или повышенную стипендию в любом предстоящем семестре, для чего

необходимо лишь подставить в выражения (1) и (2) соответствующие значения переменных $x_1 \dots x_4$. При этом для определения общего объема необходимого стипендиального фонда (СФ) вуза следует выполнить расчеты для каждого курса (потока), а затем сложить результаты по всем курсам, так как переменная x_4 у всех курсов будет принимать разные значения.

Следует отметить, что для каждого вуза, возможно, существует своя специфика, связанная с неоднородностью контингента, а это мо-

жет привести к необходимости построения моделей типа (1) и (2) для отдельных кластеров студенческих групп. Однако эти обстоятельства не меняют сути рассматриваемого подхода, а приведут лишь к тому, что контингент вуза будет представлен набором моделей вида (1) и (2), которые в полном составе следует использовать для оценивания объема необходимого СФ.

Более того, для обеспечения актуальности и высокой точности оценивания построение моделей вида (1) и (2) следовало бы прово-

дить регулярно, в режиме мониторинга уточняя параметры моделей, что не составляет сложности для современных вычислительных средств и с учетом наличия в настоящее время в вузах электронных журналов успеваемости студентов.

На примере рассматриваемой в работе выборки (и для рассмотренного количества студентов) данные о стипендиатах по семестрам всего периода обучения, а также оценки этого же количества по моделям приведены на рис. 1 и 2. Как видно, прогнозные значения очень близки к реальным данным, что и визуально подтверждает высокое качество регрессионных моделей (1) и (2).

2. Модель бюджетирования

Принятие и согласование бюджета – многостадийный процесс. Вуз получает от учредителя контрольные цифры (максимально допустимое значение общей суммы) по бюджету на планируемый год. Вуз формирует объемы отдельных статей бюджета с учетом контрольных цифр. Затем бюджет отправляется на согласование учредителю, который может не согласиться как с размерами отдельных статей, так и с общей суммой бюджета, предложенного вузом. Тогда цикл подготовки бюджета может повториться с новыми контрольными цифрами. Таких итераций может быть несколько.

Бюджет, как план, оценивается по многим критериям и с учетом множества ограничений. Если ограничения обычно носят явный характер (например, существующее количество основных средств и т.п.), то критерии часто весьма разнообразны и далеко не все поддаются формализованному представлению. Часть из них может носить социальный, неизмеримый характер, часть являются случайными по своей природе и т.д. Поэтому лица, принимающие решения (ЛПР), формируют бюджет и назначают контрольные цифры, учитывая множество критериев на основе своего опыта и интуиции. Если попытаться заменить ЛПР алгоритмом при формировании бюджета, то основная сложность будет заключаться в формализации всего

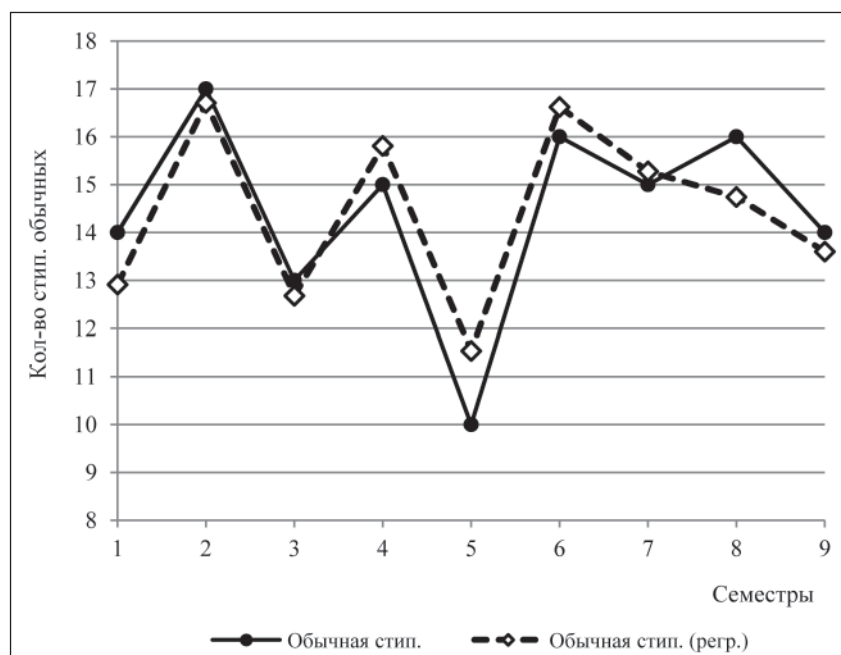


Рис. 1. Обычная стипендия

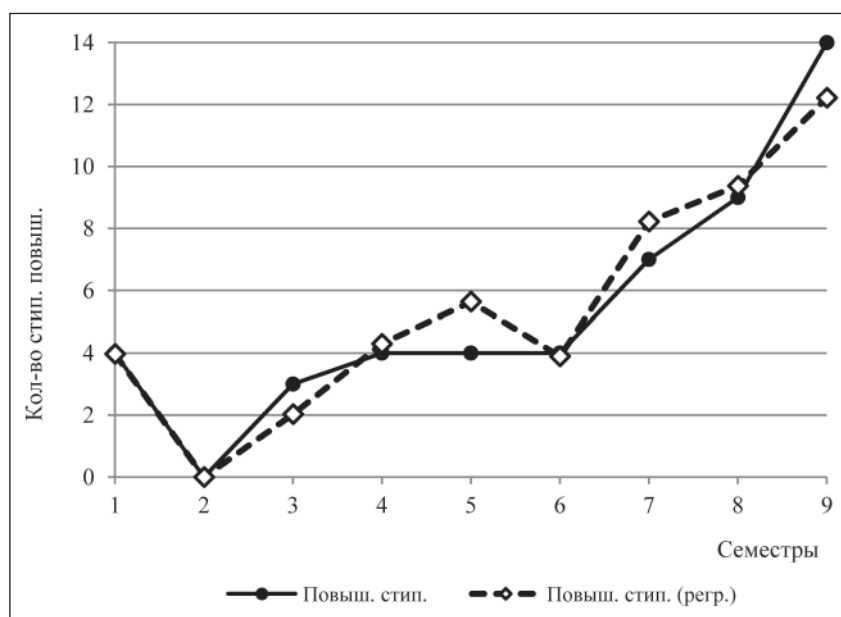


Рис. 2. Повышенная стипендия

набора целевых функций, которые бы адекватно отражали предпочтения ЛПР.

Наиболее плодотворным и эффективным является подход, основанный на решении обратных задач [4] и построении адаптивных моделей. В основе этого подхода лежит использование данных о решениях (планах, бюджетах), принятых ранее ЛПР и признанных удачными (правильными, эффективными, хорошими, оптимальными).

В итерационной схеме формирования бюджета контрольные цифры относятся к ограничениям задачи, а сами бюджеты в каждой из итераций составляются вузом «на полном серьезе» и могут быть признаны оптимальными. То есть это означает, что оптимальным является само распределение общей суммы бюджета между отдельными его статьями, а контрольные цифры, задаваемые учредителем, это одно из ограничений. Таким образом, всякий раз, распределяя общий финансовый лимит между статьями, вуз (а вернее – его руководство) проецирует свои критериальные предпочтения на тот конкретный вариант бюджета, который он принимает.

Тогда задача заключается в том, чтобы по наблюдениям за рядом бюджетных решений построить некую модель, которая могла бы составлять бюджет (при тех или иных заданных контрольных цифрах) так же хорошо, как и менеджмент вуза.

Для демонстрации подхода и увязки модели бюджетирования с приведенными выше моделями успеваемости рассмотрим редуцированную версию бюджета, в которой все его статьи разделим на две части: первая – это стипендиальный фонд, а вторая – все остальные статьи, свернутые в одну.

В качестве исходных статистических данных рассмотрим результаты бюджетного согласования 2009 и 2010 гг. (того же вуза, для которого были проанализированы данные по успеваемости). В 2009 г. согласование было выполнено за три итерации (в марте, апреле, мае), а в 2010 г. – в две итерации (май, июнь). Результаты согласования в эти два года представлены в табл. 1, где отражен общий бюджет каждой итерации в контрольных цифрах, а из всех статей бюджета приведена лишь статья «Стипендии», отражающая планируемый СФ.

Особенность предлагаемого подхода к моделированию бюджетного планирования заключается в использовании модели оптимального потребительского выбора [5]. Процедуру согласования бюджета вуза будем рассматривать как аналог процедуры потребительского выбора (одного из важных элементов теории спроса).

Покажем основные аналогии:

1. В задаче оптимального потребительского выбора (ОПВ) имеется лицо, принимающее решение (ЛПР), – это покупатель, совершающий потребительский выбор. В задаче оптимального распределения бюджета (ОРБ) по статьям расходов в вузе роль ЛПР выполняет ректор, которому плановый отдел готовит варианты решений.

2. В задаче ОПВ должна быть известна функция полезности (ФП), отражающая иерархию предпочтений покупателя, в соответствии с которой он выбирает тот или иной набор товаров. В задаче ОРБ также должна быть некая иерархия ценностей, позволяющая руководству вуза отдавать предпочтения одному или другому варианту распределения бюджета, тем или иным его статьям.

3. В задаче ОПВ покупатель всегда распределяет между товарами некоторый вполне определенный бюджет, определенный его текущей платежеспособностью и/или приоритетами. В задаче ОРБ бюджет также вполне определен контрольными цифрами.

4. В задаче ОПВ покупатель при выборе количества приобретаемого товара того или иного вида руководствуется кроме своего бюджета еще и ценой товара, предлагаемой на данном рынке. В задаче ОРБ, распределяя бюджет по тем или иным статьям расхода (аналоги товаров), ЛПР оценивает (явно или неявно) то количество услуг, которое можно получить, а значит и неявно учитывается некая обобщенная цена этой услуги.

Таким образом, задача ОРБ имеет тот же набор необходимых элементов, что и задача ОПВ, а значит, для ее решения можно воспользоваться теми же методами. Прежде уточним следующие два момента:

- что в задаче ОРБ будем рассматривать в качестве конкретного товара;

- как можно преодолеть свойственную задачам ОПВ априорную критериальную неопределенность (неизвестность параметров функции полезности).

Как отмечалось выше, будем рассматривать лишь две статьи бюджета – стипендиальный фонд (СФ) и остальные фонды (ОФ). Эти два типа фондов аналогичны двум типам товаров в задаче ОПВ. Тогда количеству покупаемого товара будет соответствовать количество студентов, что вполне объяснимо тем, что СФ полностью распределяется между некоторым количеством студентов, ее получающих (их прогнозируемое количество и определялось с помощью моделей (1) и (2)). А ОФ также могут быть интерпретированы как средства, пропорциональные общему числу студентов, обучающихся в вузе, поскольку вся деятельность вуза ориентирована на обучение студентов. Таким образом, количеством «покупаемого» товара типа СФ будем считать число студентов, получающих стипендию, а количеством «покупаемого» товара типа ОФ – общее количест-

Таблица 1.

Параметры бюджета ВУЗа в 2009–2010 гг.

Год	Итерации	Шаги	Стипендиальный фонд, тыс. руб.	Общий бюджет, тыс. руб.
2009 г.	1	1	28006	227374
	2	2	30100	152146
	3	3	30100	138135
2010 г.	1	4	30018	170767
	2	5	28320	123644

Оценивание коэффициентов относительной важности

Шаг	Данные наблюдений					Оценки на каждом шаге		Оценки, усредненные по шагам	
k	x_1	x_2	p_1	p_2	v	a_1^k	a_2^k	a_1^K	a_2^K
1	864	2153	32.40	92.61	227374	0.12	0.88	0.12	0.88
2	929	2314	32.40	52.75	152146	0.20	0.80	0.16	0.84
3	929	2314	32.40	46.69	138135	0.22	0.78	0.18	0.82
4	926	2308	32.40	60.99	170767	0.18	0.82	0.18	0.82
5	874	2177	32.40	43.79	123644	0.23	0.77	0.19	0.81

во обучающихся студентов. Тогда задача ОРБ будет заключаться в том, чтобы бюджет, заданный контрольными цифрами, оптимально распределить между указанными двумя типами «товаров», максимизируя при этом мультипликативную функцию полезности типа Кобба-Дугласа или Р. Стоуна.

Критериальную неопределенность, свойственную задачам ОПВ, преодолеем, решив обратную задачу ОПВ, т.е. по наблюдениям за пятью этапами распределения бюджета в 2009–2010 гг. (см. табл. 1), получим оценки неизвестных коэффициентов функции полезности, а затем на основании этих оценок может быть решена прямая задача ОРБ для следующих этапов бюджетного планирования (2011, 2012 и др. лет).

Приведем математическую постановку задачи ОПВ.

Функция полезности $u(\bar{x})$ связывает набор (вектор) товаров $\bar{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$, где T – символ транспонирования, с интегральной скалярной оценкой u , которая отражает предпочтения потребителя. Величина x_i означает количество товара i -го типа в наборе (векторе $\bar{x}$). Будем рассматривать функцию полезности (ФП) в мультипликативной форме Р. Стоуна [5]:

$$u(\bar{x}) = \prod_{i=1}^n (x_i)^{a_i} \quad (3)$$

где $a_i > 0$, $i = 1, \dots, n$.

Бюджетное ограничение записывается как скалярное произведение:

$$\bar{p}^T \bar{x} = v, \quad (4)$$

где $\bar{p} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n]^T$ – вектор цен соответствующих товаров; v – бюджет покупки (т.е. контрольные цифры бюджета вуза).

Тогда критерий задачи ОПВ будет иметь вид:

$$\bar{x}^* = \arg \max_{\bar{x}} \prod_{i=1}^n (x_i)^{a_i} \quad (5)$$

где $\bar{x}^*$ – вектор оптимальных покупок.

Все предпочтения ЛПР в модели (3) сосредоточены в коэффициентах относительной важности a_i , которые интегрально отражают са-

мые разные стороны (финансовые, социальные и др.) предпочтений вариантов планов, явно или неявно учитываемых ЛПР, когда он делает выбор «вручную», т.е. не по модели. Значения этих коэффициентов вычислить априори не представляется возможным в силу их многоаспектности, поэтому мы их оценим, решив обратную задачу по решениям, принятым ЛПР ранее.

Алгоритм решения обратной задачи заключается в следующем. Пусть наблюдается ряд оптимальных покупок $\bar{x}^k$, где $k = 1, \dots, K$.

На каждом шаге известен вектор цен $\bar{p}^k$ и вектор покупок $\bar{x}^k$, а значит, известен и бюджет каждой i -й покупки:

$$v^k = \sum_{i=1}^n p_i^k x_i^k \quad (6)$$

Из выражения для оптимальных цен, полученных решением (5), на каждом k -м шаге наблюдения получим:

$$x_i^k = \frac{v^k a_i^k}{p_i^k} \quad (7)$$

откуда, обозначив сумму, потраченную на i -й товар в k -й покупке как $s_i^k = p_i^k x_i^k$, получим:

$$a_i^k = \frac{1}{v^k} p_i^k x_i^k = \frac{1}{v^k} s_i^k \quad (8)$$

Таким образом, при i -й покупке по наблюдениям пары значений (s_i^k, v^k) можно получить текущую оценку коэффициента относительной важности a_i^k для i -го товара. Для получения адекватных оценок, необходимо усреднить их значения по множеству K шагов наблюдений.

По мере сбора и обработки статистических данных наблюдений, оценки параметров a_i будут все меньше отличаться от фактических значений (сходиться к ним).

Для использования модели ОПВ в бюджетном планировании вуза введем следующие обозначения: x_1 – количество бюджетных студентов вуза (среднее из расчета в год), получающих стипендию; x_2 – общее количество бюджетных студентов вуза (среднее из расчета в год); p_1 – средняя годовая величина стипендии (аналог цены товара x_1); p_2 – средние годовые остальные затраты из расчета на одного студента – по всем остальным статьям бюджета кроме СФ (аналог цены товара x_2); v – полный бюджет планируемого года (контрольные цифры).

Результаты вычисления пошаговых и усредненных по шагам оценок параметров модели a_i по данным табл. 1 приведены в табл. 2.

В расчетах учитывалось то обстоятельство, что по анализируемой выборке данных доля студентов, получающих стипендию, составляет 40.15% от общего количества бюджетных студентов.

Вычисленные оценки параметров функции полезности ($a_1 = 0.19$, $a_2 = 0.81$) могут быть использованы для бюджетного планирования следующими способами.

1. Для предстоящего календарного года с помощью моделей (1) и (2) определить прогнозные значения общего количества стипендиатов x_1 и среднее значение годовой стипендии p_1 , что позволит получить и оценку желательного объема всего бюджета вуза (из формулы (7)), которая и будет эндогенной оценкой бюджета (контрольных цифр):

$$v = \frac{x_1 p_1}{a_1} \quad (9)$$

2. Если экзогенная величина бюджета, доведенная в виде конт-

рольных цифр учредителем вуза, будет существенно отличаться от эндогенной оценки, то контрольная цифра количества стипендиатов может быть получена из (7) и в дальнейшем играть роль ориентира для работы деканатов, кафедр и стипендиальной комиссии (например, для повышения требований, а значит, и качества подготовки специалистов):

$$x_1 = \frac{va_1}{p_1} \quad (10)$$

3. При заданной сумме бюджета из соотношения (10) можно определить и общую сумму СФ:

$$s_1 = x_1 p_1 = va_1 \quad (11)$$

Все три варианта использования предложенного комплекса моделей для бюджетного планирования и бюджетных оценок в вузе сделаны в предположении, что в планируемом периоде не произойдет каких-то существенных изменений во внешней среде вуза (у учредителя, в стране и т.п.), а также в системе

предпочтений руководства вуза. Если такие изменения произойдут, то они должны привести к изменению параметров a_i , которые следует вновь уточнить для обеспечения адекватности моделей.

Выводы

Предложенная система моделей может быть расширена и на другие статьи бюджета, а будучи включенной в состав информационно-управляющей системы вуза, может регулярно обновлять структуру и параметры. Менеджмент вуза может использовать оценки, полученные с помощью моделей, в планово-прогностических целях, а учредитель – в целях внутриведомственного контроля.

Поскольку оценки моделей и некоторые исходные данные имеют случайные составляющие, то помимо точечных оценок (СФ, бюджета и др.) при доработке моделей могут быть построены и интервальные оценки, позволяющие судить о сте-

пени достоверности (доверительной вероятности) выводов.

Предложенный подход показал свою работоспособность и эффективность. Исследование охватило лишь часть студентов, что было обусловлено высокой трудоемкостью сбора и подготовки данных по традиционной документации. В настоящее время наличие электронных журналов успеваемости позволяет использовать для анализа весь контингент студентов и учесть значительно большее количество факторов при построении моделей.

То обстоятельство, что в последнее время большое внимание уделяется системам внутреннего хозяйственного, экономического и финансового контроля в организациях, придает большую значимость вопросам эффективного планирования (в том числе бюджетирования) и управления. И предложенные модели могут этому способствовать.

Литература

1. Данилин В.И. Операционное и финансовое планирование в корпорации. – М.: Наука, 2006. – 334 с.
2. Плещинский А.С. Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений. – М.: Наука, 2004. – 264 с.
3. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 256 с.
4. Вилисов В.Я. Адаптивные модели исследования операций в экономике. – М.: Энит, 2007. – 228 с.
5. Горбунов В.К. Математическая модель потребительского спроса: Теория и прикладной потенциал. – М.: Экономика, 2004. – 174 с.