12. *Габасов Р.Ф., Кириллова Ф.М.* Оптимизация линейных систем. – Минск: Изд-во Белорусского гос. ун-та, 1973.
13. *Васильев Ф.П., Иваницкий А.Ю.* Линейное программирование. – М.: Факториал, 1998.

E-mail:
Ащепков Л.Т. – aschepk@mail.dvgu.ru.

УДК 004.9

© 2010 г. **Б.М. Кербель**, д-р техн.наук,
И.Г. Попова
(Северская государственная технологическая академия)

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

С использованием механизма проверки статистических гипотез проведен анализ эффективности деятельности вуза. Предложено использовать методику оценки на основе интегрального показателя соответствия аккредитационным показателям для оценки подразделений распределенного образовательного учреждения и принятия обоснованных управленческих решений.
Ключевые слова. Аккредитационные показатели, интегральный показатель, эффективность и устойчивость деятельности вуза, математические гипотезы, принятие управленческих решений.

Введение

Распоряжением Правительства РФ №480-р от 8 апреля 2009 г. Московский инженерно-физический институт переименован в Национальный исследовательский ядерный университет и реорганизован путем присоединения ряда высших и средних профессиональных учебных заведений, подведомственных Рособразованию и госкорпорации «Росатом». НИЯУ МИФИ объединил шесть профильных высших учебных заведений, 13 учреждений среднего образования в пяти федеральных округах и девяти ЗАТО. Наряду с задачами модернизации образовательной и научно-инновационной деятельности, для стабильности и эффективной работы отраслевого регионально-распределенного университета необходимо решить задачу по созданию системы управления, которая бы обеспечивала постоянное соответствие стремительно меняющимся внешним факторам в рамках единого образовательного пространства [1].

Данная задача управления распадается на два уровня: управление распределенной структурой как единым образовательным учреждением (первый уровень) и управление подразделениями университета вне зависимости от статуса и типа учебного заведения (второй уровень).

Функционирование распределенного учебного заведения может характеризоваться большим набором показателей по различным направлениям деятельности. Значительные различия содержательных, функциональных и ресурсных характеристик создают серьезные трудности для стандартизации оценки работы подразделений распределенного образовательного учреждения. Однако лишь систематизация формальных показателей оценки деятельности подразделений явна недостаточна с точки зрения выработки управленческих решений. Необходим глубокий анализ полученных результатов и оценка их соответствия неким критериальным значениям.

Постановка задачи

Сбор, регулярное ежегодное обновление, анализ информации со стороны органов управления позволили авторам разработать механизм эффективного управления распределенным учреждением на основе лицензионных показателей и показателей государственной аккредитации образовательных учреждений. Выбор данной технологии обоснован единым перечнем показателей, которые определяют условия и результаты функционирования всех направлений деятельности образовательного учреждения, исключая тем самым необходимость повторного сбора сведений о деятельности образовательного учреждения и предоставления дублирующей отчетности по другой форме и показателям, чем перед государственными надзорными органами.

В данной статье предлагается методика для решения задач на втором уровне управления на основе только аккредитационных показателей.

С 1.01.2006 г. в соответствии с приказом Рособразования определен перечень и критериальные значения показателей (табл.1) при поведении государственной аккредитации для каждого вида высших учебных заведений – институт, академия, университет [2].

Таблица 1

Обозначение	**Показатель аккредитации**	**Критериальные значения**		
		университет	академия	институт
1	*2*	*3*	*4*	*5*
x_1	Число аспирантов на 100 студентов контингента, приведенного к очной форме обучения (чел.)	4	2	–
x_2	Среднегодовой объем научных исследований на единицу научно-педагогического персонала за пять лет (тыс.руб.)	18	12	5
x_3	Среднегодовой объем финансирования научных исследований за пять лет (млн.руб.)	10	5	1,5
x_4	Среднегодовой контингент обучающихся по образовательным программам профессиональной переподготовки и/или повышения квалификации (чел.)	50	20	–
x_5	Среднегодовое количество монографий на 100 основных штатных педагогических работников с учеными степенями и/или учеными званиями, изданных за 5 лет (шт.)	2	1,5	1,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
x_6	% аспирантов, защитившихся в течение года после окончания аспирантуры (от числа поступивших) (чел.)	25	25	–
x_7	% ППС с учеными степенями и/или званиями	60	60	55
x_8	% в ППС докторов наук и/или профессоров	10	10	8,5
x_9	Среднегодовое число защит диссертаций на 100 человек научно-педагогического персонала за пять лет	3	3	1
x_{10}	% ППС, работающего в вузе на штатной основе	50	50	50

Проведем анализ устойчивости деятельности подразделения на примере вуза по результатам многолетнего мониторинга данных.

Механизм проверки статистических гипотез для анализа деятельности вуза

Данная задача решается путем проверки гипотезы о равенстве вектора средних значений постоянному вектору, т.е. H_0: $\overline{X_j} = \mu_j$, при альтернативной гипотезе H_1: $\overline{X_j} \neq \mu_j$ [1]. Нормированные данные по всем перечисленным выше показателям аккредитации вуза за период 1999-2008 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2

Годы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
1999	0,47	0,17	0,19	0,65	0,00	1,00	0,82	1,00	0,56	0,85
2000	0,58	0,31	0,24	0,70	0,00	0,67	0,84	0,90	0,50	0,90
2001	0,76	1,00	0,61	0,69	0,11	0,25	0,76	0,79	0,67	1,00
2002	0,62	0,85	0,85	0,74	0,34	1,00	1,00	0,98	0,83	0,94
2003	0,64	0,85	0,76	0,65	0,62	0,50	0,70	0,67	0,17	0,86
2004	0,65	0,63	0,87	0,75	1,00	0,00	0,73	0,61	1,00	0,71
2005	0,62	0,55	0,93	0,64	0,33	0,29	0,83	0,77	0,33	0,98
2006	0,52	0,58	0,85	0,69	0,44	0,43	0,82	0,83	0,00	0,86
2007	0,98	0,61	1,00	0,63	0,51	0,42	0,71	0,68	0,40	0,79
2008	1,00	0,55	1,00	1,00	0,43	0,30	0,75	0,66	0,55	0,76

Для начала определим параметры многомерной совокупности данных.

Построим ковариационную матрицу:

$$S = \frac{1}{n-1}(K^T K), \qquad (1)$$

где K – матрица с нормированными данными $k_{ij} = \left\| x_{ij} - \overline{x_j} \right\|$; K^T – транспонированная матрица; $\overline{X}$ – вектор средних величин.

Для проверки многомерной гипотезы о равенстве средних значений некому вектору критериальных значений воспользуемся $T_н^2$-критерием, известным как критерий Хотеллинга:

$$T_н^2 = n(\overline{X} - \mu)^T S^{-1}(\overline{X} - \mu) \ , \qquad (2)$$

где S^{-1} – обратная ковариационная матрица; μ – вектор нормативных показателей для академии (табл. 1).

Наблюдаемое значение T^2-критерия сравним с критическим значением параметра, исчисленным при заранее заданном уровне вероятности α=0.05%, допустить ошибку в выводах и числе степеней свободы $\nu_1 = m$ и $\nu_2 = n - m$, где n и m – соответственно объем выборки по каждому параметру и число параметров наблюдения:

$$T^2_{\alpha,m,n-m} = \frac{m(n-1)}{n-m} F_{\alpha,m,n-m}, \qquad (3)$$

где $F_{\alpha,m.n-m}$ – табличное значение критерия Фишера для известных $\nu_1 = m$ и $\nu_2 = n - m$ [2].

Выполнение неравенства $T_н^2 < T_{кр}^2$ свидетельствует о принятии гипотезы H_0, т.е. о несущественности различий фактических показателей деятельности вуза, оцененных по выборочной совокупности, и критериальных аккредитационных показателей. На основании этого делаем вывод об устойчивой и стабильной работе академии.

Однако приведенная выше формула T^2-критерия Хотеллинга является общей и рассчитана на проверку гипотезы сразу по всему числу m анализируемых признаков. Реально даже при отрицании гипотезы $\overline{X_j} = \mu_j$ значения одних признаков могут отличаться от некоторых постоянных значений существенно, а других – несущественно. Поэтому проверим гипотезу по каждому отдельному признаку при условии нивелирования значения остальных. Для решения подобной задачи будем использовать частный критерий Хотеллинга T_j^2 [1], наблюдаемое значение которого оценивается по формуле:

$$T_{нj}^2 = \frac{n(c_j^{\mathrm{T}}(\overline{x_j} - \mu_j))^2}{c_j^{\mathrm{T}} S c_j}, \qquad (4)$$

где c_j $(j=1\ldots m)$ – специальный вектор, нивелирующий значения всех признаков, кроме одного, участвующего в проверке статистической гипотезы.

Проведенные расчеты свидетельствуют об устойчивом функционировании рассматриваемого вуза как в целом, так и по отдельным показателям. При сохранившейся тенденции вуз, скорее всего, успешно пройдет процедуру государственной аккредитации. Однако учитывая тот факт, что аккредитационные показатели меняются с учетом средних значений по вузам России, данная методика не отвечает на вопросы, каков прогноз на сохранение стабильности вуза, какие показатели следует уже сегодня начинать корректировать и какой должна быть величина этой корректировки, чтобы деятельность рассматриваемого вуза была признана государственной комиссией эффективной.

Для этого проверим на устойчивость интегральный показатель деятельности вуза – уровень соответствия критериям аккредитации ***J***, который вводится с целью реализации механизма «компенсации» недостатков одних показателей существенным превышением порогового уровня по другим, а также для формали-

зованной оценки соответствия критериальным показателям.

Показатель ***J*** можно определить в классе следующих функций в соответствии с [3]:

линейная функция

$$J(x)=\sum_{i=1}^{n} v_i \begin{cases} \dfrac{x_i}{\mu_i}, \text{ если } \dfrac{x_i}{\mu_i} \le 2, \\ 2 \qquad \text{иначе}, \end{cases} \tag{5}$$

где n – число показателей; x_i – значения показателей; μ_i – критериальные значения показателей; v_i – весовые коэффициенты (в простейшем случае равны между собой);

мультипликативная функция

$$J(x)=\sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} \begin{cases} \min\left\{\dfrac{x_i}{\mu_i};2\right\}, \text{ если } x_i \ne 0, \\ \varepsilon \qquad \text{иначе}, \end{cases}} \tag{6}$$

где ε – достаточно малое число, используемое при равенстве нулю одного из показателей;

линейная свертка логистических функций

$$J(x)=b\sum_{i=1}^{n} \frac{w_i}{1+e^{-1,7a(x_i-\mu_i)}}+c, \tag{7}$$

где a, b, c – постоянные;

многомерная логистическая функция:

$$J(x)=b\frac{w_i}{1+e^{-1,7\sum_{i=1}^{n} a_i(x_i-\mu_i)}}+c, \tag{8}$$

где a_i (i = 1, ..., n), b, c – постоянные.

Для оценки и анализа эффективности деятельности вуза проведем расчет интегрального показателя ***J*** по формуле (6). Данная формула реализует более жесткий механизм свертки отдельных показателей, однако она избавляет от проблемы выбора весовых коэффициентов для функций (5), (7), (8), а также соответствует сложившейся практике принятия коллективного решения.

В табл. 3 представлены результаты расчета показателя ***J*** по формуле (6) для каждого рассматриваемого периода.

Таблица 3

Год	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Значение *J*	0,67	0,74	1,28	1,65	1,23	0,85	1,30	0,87	1,36	1,42

С целью анализа устойчивости этого показателя проверим гипотезу о равенстве среднего значения ***J*** за данный период нормативному показателю $\mu_J = 1$, так как факт ***J* < 1** означает, что два и более показателя деятельности вуза ниже критериальных и велика вероятность, что вуз не пройдет аккредитацию.

Такая проверка сводится к проверке гипотезы о равенстве вектора средних значений постоянному вектору, когда число анализируемых признаков равно

единице (m = 1), а значения случайной величины распределены нормально [1]. Оценку проведем по t-критерию Стьюдента:

$$t_H = \frac{\overline{J} - \mu_J}{s_J}\sqrt{n}, \qquad (9)$$

где $\overline{J}$ – среднее значение случайной величины ***J***; μ_J = 1 – заданное значение показателя ***J***; n – объем данных, участвующих в проверке.

Для построения эмпирических зависимостей очень важно, чтобы результаты наблюдений подчинялись нормальному закону распределения. Поэтому основным этапом предварительной обработки результатов наблюдения является проверка нормальности распределения. Существует несколько методик проверки гипотезы нормальности распределения [6]. В нашем случае быструю «прикидочную» проверку нормальности закона распределения интегрального показателя J выполним с помощью методики по размаху варьирования, для этого подсчитаем отношение R/S и сопоставим его с критическими верхними и нижними границами этого отношения, приведенного в таблице критических отношений R/S [4, с.188]. При n = 10 и 5% уровне значимости подтверждается гипотеза о нормальности распределения интегрального показателя.

При уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $\nu = n - 1$ наблюдаемое значение t-критерия меньше критического ($t_{0,05;9}$ = 1,83) [2]. Таким образом, существование различий между нормативным значение интегрального показателя и реальными данными, характеризующими функционирование вуза за рассматриваемый период, можно считать несущественным. Это подтверждает ранее сделанный вывод об устойчивости работы академии.

С учетом значения $t_{кр}$ можно рассчитать доверительный интервал для $\overline{J}$ [1]:

$$\overline{J} \pm \frac{s_J}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2,\, n-1}. \qquad (10)$$

Значения интегрального показателя в некоторые периоды (1999, 2000, 2004 и 2006 гг.) не попали в расчетный доверительный интервал [0,88; 1,40]. Для выявления причин неэффективной деятельности вуза в названные периоды, а также для наглядности «провальных» показателей хорошо зарекомендовала себя технология представления данных в виде эпюр или лепестковых диаграмм по отдельному году наблюдения. Лепестковая диаграмма является оценочным профилем вуза, который дает возможность графически оценивать степень достижения вузом его нормативных показателей. На рис. 1 для примера представлена эпюра показателей деятельности вуза на 2005 г.

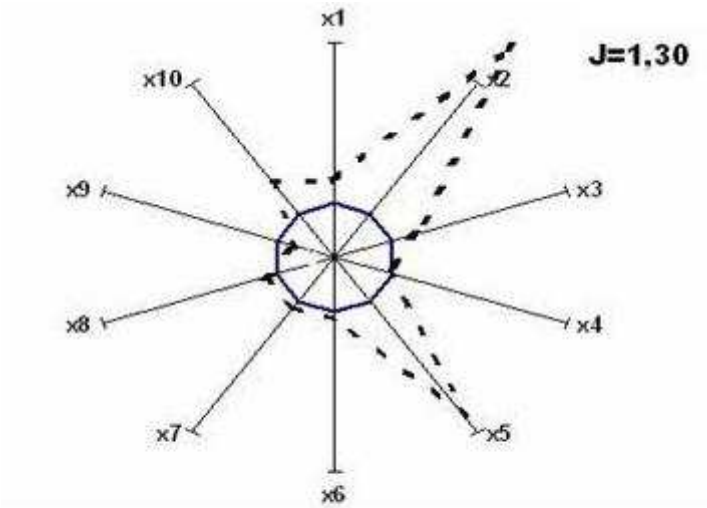

Рис. 1. Диаграмма выполнения критериальных показателей на 2005 г.

Низкие значения показателя J в некоторые из рассматриваемых периодов объясняются полным отсутствием результатов по числу монографий (в 1999 и 2000 гг.), защитившихся в течение года после окончания аспирантов (в 2004 г.), числу защит диссертаций (в 2006г.).

Однако представление показателей деятельности вуза на круговых диаграммах с позиции управления применимо только для оперативного управления, т.е. быстрого принятия управленческих решений на конкретные отклонения. Проиллюстрируем на конкретном примере.

В плане подготовки к аккредитации в 2001 г. руководством было принято решение о значительном премировании работ, связанных с подготовкой и изданием монографий. Результаты данного решения принесли свои плоды. Начиная с 2002 г. превышение данного показателя над нормативным составляет от 3 до 11 раз. Данная тенденция сохраняется и к настоящему периоду.

Однако резкий рост и многократное превышение данного показателя не способствовало общему улучшению деятельности вуза ни по одному из показателей эффективности аспирантуры. За редким исключением, начиная с 2003 года общее число защит и процент защитившихся в течение года после окончания аспирантов не только не возрос в той же пропорции, но в отдельные годы приблизился к критическому или «упал» до нулевого значения (по показателю x_6 в 2004 г., по показателю x_9 – в 2003, 2005, 2006 гг.). В конце 2006 г. потребовались новые усилия для усиления уже этих показателей, что стало сказываться в 2007-2008 гг.

Для оптимального описания каждого из исходных факторов x_i применен метод главных компонент [5, 6]. Количественно оценить влияние главных компонент на эффективность производственного процесса можно с использованием корреляционно-регрессионного анализа, фрагмент его исходных данных приведен в табл. 4.

Таблица 4

	J	Главная компонента PC_1	Главная компонента PC_2	Главная компонента PC_3
1	0,69	–0,247	0,132	0,281
2	0,74	–0,152	0,950	–0,028
m…	…	…	…	…

В работе по совокупности изучаемых показателей управления было получено 9 главных компонент (PC_1,…,PC_9). В соответствии с [5] существует правило, согласно которому используются только главные компоненты, имеющие степень дисперсии ≥ 1. В результате анализа выделены пять таких компонент, однако уже с помощью трех первых главных компонент (в соответствии с критерием Кайзера) удалось описать более 77 % общей дисперсии исходных факторов.

Наибольший вклад в объяснение вариации показателей деятельности вуза дает первая главная компонента – PC_1 (42,5%), объясняющая основную часть вариации кадровых факторов, а также частично показатели научной деятельности в вузе и послевузовского образования. Вторая и третья компоненты в основном доопределяют вариацию научных показателей и эффективности послевузовского образования.

Первая главная компонента PC_1 определяется по следующему выражению:

$PC_1 = -0{,}247x_1 - 0{,}152x_2 - 0{,}320x_3 - 0{,}091x_4 - 0{,}342x_5 + 0{,}933x_6 +$
$+ 0{,}268x_7 + 0{,}566x_8 - 0{,}017x_9 + 0{,}089x_{10}$.

Эта компонента по набору входящих в нее основных факторов дает представление и обобщенную характеристику кадрового состава вуза. Установлено, что главными факторами, ее определяющими, являются x_6, x_7, x_8, x_{10}. Видно, что в структуре первой компоненты превалируют кадровые факторы («% аспирантов, защитившихся в течение года после окончания аспирантуры» x_6, «% ППС с учеными степенями и званиями» x_7, а также «% докторов наук и профессоров» x_8 и «% штатных ППС» x_{10}), что доказывает, что именно они являются главными для обеспечения эффективного функционирования вуза.

Аналогично вторая главная компонента PC_2 определяется выражением:

$PC_2 = 0{,}132x_1 + 0{,}950x_2 + 0{,}325x_3 - 0{,}028x_4 + 0{,}263x_5 - 0{,}138x_6 -$
$- 0{,}001x_7 - 0{,}181x_8 + 0{,}063x_9 + 0{,}296x_{10}$.

Положительные значения коэффициентов веса соответствуют показателям «среднегодовой объем финансирования на единицу научно-педагогического персонала» x_2, «среднегодовой объем финансирования НИР» x_3, «число аспирантов» x_1, «число монографий» x_5, а также «% штатных ППС» x_{10}. Эта компонента характеризует эффективность научного направления в деятельности вуза.

В работе установлено, что величина PC_3, объясняющая основную часть вариации факторов послевузовского образования (аспирантура, ИДПО), определяется по следующему выражению:

$PC_3 = 0{,}281x_1 - 0{,}028x_2 + 0{,}154x_3 + 0{,}947x_4 + 0{,}003x_5 - 0{,}090x_6 +$
$+ 0{,}043x_7 - 0{,}118x_8 + 0{,}131x_9 - 0{,}244x_{10}$.

Наиболее высокие положительные коэффициенты веса соответствуют показателям «среднегодовой контингент обучающихся по программам ИДПО» x_4, «число аспирантов» x_1, «среднегодовое число защит диссертаций» x_9 и «среднегодовой объем финансирования НИР» x_3. Это главные факторы и коэффициенты характеризуют их вклад в формирование данной компоненты.

Полученные данные аппроксимировались линейным уравнением множественной регрессии [6]:

$$Y(X_1, X_2, ..., X_n) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_n X_n \qquad (11)$$

где J – значение функции отклика; X_i – характеристики, влияющие на функцию отклика

По результатам множественного корреляционно-регрессионного анализа совокупного влияния рассматриваемых характеристик на эффективность процессов деятельности вуза получено уравнение множественной регрессии:

$J = 1{,}207 + 0{,}330\ PC_1 + 0{,}403\ PC_2 + 0{,}205\ PC_3$.

Используя полученное уравнение, можно оценить ожидаемую эффективность функционирования учебного заведения, а также проследить влияние изменения характеристик по отдельным направлением деятельности. Для определения того, какую долю вариации исследуемой переменной J объясняет вариация входящих в модель переменных (главные компоненты, включающие в себя характеристики направлений деятельности вуза), использован множественный коэффициент детерминации, который имеет значение $R^2 = 0{,}771$.

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что наиболее важными факторами, влияющими на стабильную и эффективную работу вуза, являются: кадровый потенциал вуза, обеспечивающий качество учебного процесса; эффективность научной деятельности; результативность послевузовского образования (аспирантура, повышение квалификации).

В условиях распределенных образовательных учреждений, когда в их составе находится большое количество учебных заведений, методика оперативного управления на основе интегрального показателя позволяет руководству распределенного университета ежегодно устанавливать приоритетность задач и очередность принятия управленческих решений по каждому из подразделений.

Преимуществом подхода оценки деятельности подразделений на основе интегрального показателя соответствия аккредитационным является то, что в совокупный анализ деятельности распределенного образовательного учреждения, какими являются федеральные и национальные университеты, можно включить все подразделения, вне зависимости от статуса учебного заведения. В данном случае будет меняться только список аккредитационных показателей и пороговых значений. Механизм расчета интегрального показателя остается аналогичным.

Расширение входных данных за счет лицензионных показателей позволит распространить анализ на другие немаловажные для вуза условия обеспечения качественного учебного и научного процесса, – например, материально-техническое (лабораторная база) и информационное обеспечение (книгообеспеченность).

В процессе применения метода главных компонент исходное множество объясняющих переменных разбито на некоррелируемые подмножества, то есть анализ главных компонент позволил определить сферы, формирующие значение функционального показателя, а также оценить силу влияния факторов, входящих в эти сферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сошников Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шеффер М.* Многомерный статистический анализ в экономике: Учебн. пособие для втузов/ под ред. проф. В.Н. Тамашевича. – М.: ЮНИТИ-ДАН, 1999.
2. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1981.
3. *Комплексная* оценка высших учебных заведений: Учебн. пособие/ В.Г. Наводнов, Е.Н. Геворкян, Г.Н. Мотова, М.В. Петропавловский – М.: Центр гос.аккредитации, 2003.
4. *Львовский Е.Н.* Статистические методы построения эмпирических формул: Учебн. пособие. – М.: Высшая школа,1982.
5. *Берндт Э.Р.* Практика эконометрики: Учебник / пер.с англ., под ред. проф. С.А.Айвазяна / Э.Р.Берндт. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005.
6. *Себер Дж.* Линейный регрессионный анализ. – М.: Изд-во «Мир», 1980.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

E-mail:
Кербель Б.М. – akbm@ssti.ru;
Попова И.Г. – pig@ssti.ru.