

## Список литературы

1. Ковалева Н. В. Кадры высшей научной квалификации: пополнение последних лет / Н. В. Ковалева, В. Л. Мамаев, Е. Г. Нечаева. М.: Центр исследований и статистики науки, 1997.
2. Гохберг Л. М. Квалифицированные кадры в России / Л. М. Гохберг, Н. В. Ковалева, Л. Э. Миндели, Е. Ф. Некипелова. М.: Центр исследований и статистики науки, 1999.
3. Работа аспирантуры и докторантуры по России, федеральным округам, субъектам РФ, экономическим районам, отраслям науки и специальностям, типам организаций, академиям наук за 2002-2005 годы. Таблицы по форме отчетности 1-НК / ГМЦ Госкомстата России. М., 2003-2006.
4. Основные показатели деятельности организаций, выполняющих научные исследования и разработки, – по России, федеральным округам, субъектам РФ, экономическим районам, отраслям экономики, формам собственности, секторам деятельности, типам организаций, академиям наук, государственному сектору экономики, видам экономической деятельности за 2002 – 2004 годы. Таблицы по форме отчетности № 2 – наука, том 1 – 10. М.: ГМЦ Госкомстата России, 2003, 2004, 2005.
5. Отчет о научной деятельности вузов Рособразования РЕПНИД, 2005.
6. Научный потенциал вузов и научных организаций Федерального агентства по образованию. 2005: Инф.-аналит. сб. / ФГНУ "СЗНМЦ". СПб., 2006. 192 с.

**МОДЕЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИЕМОВ В АСПИРАНТУРУ  
НА ОСНОВЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ В КАДРАХ ВНК  
(В РАМКАХ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ)**

**В. А. Гуртов, Е. А. Питухин, И. В. Пенние**

*Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск*  
*[vgurt@psu.karelia.ru](mailto:vgurt@psu.karelia.ru)*

Образовательная политика России на современном этапе исходит из необходимости повышения роли образования в развитии общества и государства. Эта роль определяется как задачами удвоения ВВП и модернизации экономики, так и мировыми тенденциями развития. В современном мире образование стало одним из важнейших факторов и ресурсов экономического развития, формирования нового качества экономики. В связи с этим

образование вошло в состав основных приоритетов развития российского общества и государства на ближайшую перспективу.

Одной из проблем системы высшего профессионального образования является проблема обновления преподавательского состава высшей школы. Процессы, которые проходили в российской системе образования за последние 10 лет, привели к тому, что возрастная структура профессорско-преподавательского состава (ППС) существенно изменилась в сторону постарения докторов наук и профессоров. Изучение ситуации в Российской Федерации в области воспроизводства современных профессиональных кадров показывает, что реализуемый в настоящее время комплекс государственных мер по воспроизводству кадрового потенциала в науке и образовании является недостаточным. Существенным шагом в исправлении этой ситуации является формирование Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2008 – 2012 годы, в разработке концепции и паспорта которой авторы принимали непосредственное участие.

В связи с этим появляется необходимость в разработке и апробации методики и моделей долговременного прогнозирования потребностей в кадрах высшей квалификации для воспроизводства научно-педагогического потенциала высшей школы в субъектах Российской Федерации. Сложность проведения указанной работы обусловлена как отсутствием систематизированного статистического материала по возрастной структуре докторов и кандидатов наук в числе исследователей и в профессорско-преподавательском составе, так и апробированных методик прогнозирования динамики возрастной структуры.

Систематизация и анализ данных по возрастной структуре ППС и исследователей позволит оценить сегодняшний кадровый потенциал вузов России, а также сформировать прогноз возрастной динамики ППС и исследователей на ближайшие несколько лет как для отдельных вузов, так и в разрезе территорий. Выполнение таких прогнозных оценок возможно только с использованием математических моделей и программных средств, объединенных с базами данных в информационно-аналитическую систему.

Рассмотрим поэтапное создание информационно-аналитической системы:

**Первый этап.** Формирование данных по качественной структуре профессорско-преподавательского состава, докторантов и аспирантов в разрезе научных специальностей. Анализ соответствия научных специальностей ППС, докторантов и аспирантов и учебных специальностей в вузе в разрезе «вуз – регион – федеральный округ – страна в целом»

**Второй этап.** Разработка динамической математической модели изменения возрастной структуры кадрового состава вуза, для построения прогноза ее динамики на среднесрочном горизонте планирования.

**Третий этап.** Разработка алгоритма и математической модели по соответствию качественной структуры профессорско-преподавательского состава вуза приема в аспирантуру и докторантуру (в разрезе 28 укрупненных групп специальностей) и структуры приема и выпуска из образовательных учреждений высшего профессионального образования с учетом потребностей регионального рынка труда

**Четвертый этап.** Создание программного комплекса, включающего базы данных и моделирующие программы, которые позволят вырабатывать управленческие решения на среднесрочном горизонте планирования по формированию качественной структуры профессорско-преподавательского состава вуза с реализацией на должном уровне образовательных программ высшего профессионального образования с учетом потребностей регионального рынка труда.

Остановимся подробнее на втором и третьем этапах.

**Математическая модель соответствия контингента студентов и численности ППС.** Рассмотрим два объекта системы высшего образования (рис. 1). С одной стороны, в ОУ ВПО сложилась система движения ППС во времени. С другой стороны, сложилась система движения контингента студентов. Обе эти системы влияют друг на друга [1, 2].

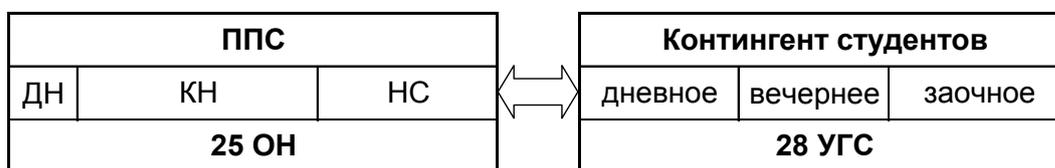


Рис. 1. ППС – Контингент студентов

Нормативная численность и степенная структура ППС конкретного вуза определяются численностью студентов в этом вузе. Установлены следующие критерии к структуре ППС вуза, используемые при лицензировании и аккредитации вузов разных видов [3]:

- доля лиц с учеными степенями и званиями – 60%;
- доля лиц, имеющих ученые степени доктора наук и звания профессора, – 10%;
- число аспирантов на 100 студентов контингента, приведенного к очной форме обучения: для университетов – 4, для академий – 2.

Этим определяется процентное число кандидатов и докторов, которое должен иметь вуз для обучения. Данные вносят ясность в пропорциональ-

ность структуры ППС [3]. На 100 человек ППС надо 10 докторов/профессоров (ДН) и 50 доцентов/кандидатов (КН) и 40 не остепененных (НС). Общее отношение числа ППС к приведенному контингенту студентов установлено 1/10.

Введем следующие коэффициенты. Пусть

$\alpha = 1/10$  – коэффициент пропорциональности, задающий отношение общей численности ППС к приведенному контингенту студентов;

$\beta_{дн} = 1/10$  – коэффициент пропорциональности, задающий отношение общей численности ДН к общей численности ППС;

$\beta_{кн} = 1/2$  – коэффициент пропорциональности, задающий отношение общей численности КН к общей численности ППС;

$\beta_{нс} = 2/5$  – коэффициент пропорциональности, задающий отношение общей численности НС к общей численности ППС.

Используя матрицу соответствия 28 укрупненных групп специальностей 25 отраслям науки  $M_{угс-он_c}$  и учитывая нормативные требования к численности и степенной структуре с помощью введенных коэффициентов, построим математическую модель соответствия ППС и контингента студентов:

$$S_{он}(i) = \alpha \cdot M_{угс-он_c} \cdot S_{угс}(i), \quad (1)$$

где  $S_{угс}(i)$  – вектор приведенного контингента студентов в разрезе 28 УГС [4];  $M_{угс-он_c}$  – матрица соответствия «28 УГС – 25 ОН» [5];  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности;  $S_{он}(i)$  – вектор численности ППС в разрезе 25 отраслей наук.

Используя выражение (1), можно вычислить численность ДН, КН и НС в разрезе 25 отраслей наук

$$\begin{aligned} S_{он}(i)_{дн} &= \beta_{дн} \cdot \alpha \cdot M_{угс-он_c} \cdot S_{угс}(i) \\ S_{он}(i)_{кн} &= \beta_{кн} \cdot \alpha \cdot M_{угс-он_c} \cdot S_{угс}(i), \\ S_{он}(i)_{нс} &= \beta_{нс} \cdot \alpha \cdot M_{угс-он_c} \cdot S_{угс}(i) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\beta_{дн}, \beta_{кн}, \beta_{нс}$  – коэффициент пропорциональности;  $S_{он}(i)_{дн}, S_{он}(i)_{кн}, S_{он}(i)_{нс}$  – вектора численности ДН, КН и НС в разрезе 25 отраслей наук соответственно.

**Балансовая задача.** С одной стороны, в ОУ ВПО сложилась система движения ППС во времени. С другой стороны, сложилась система движения востребованных экономикой студентов, численность которых определяется балансовой задачей, сформулированной в работе [4]. Возникает за-

дача достижения максимального соответствия в движении этих систем на среднесрочном и долгосрочном периоде прогнозирования.

Основными поставщиками кадров высшей научной квалификации являются аспирантуры и докторантуры, фактически это означает, что система подготовки кадров ВНК через аспирантуры и докторантуры должна, по меньшей мере, успевать за системой подготовки специалистов ВПО, т. е. соответствовать нормативным требованиям к численности и степенной структуре ППС [3].

Рассмотрим задачу, в которой вуз, субъект Федерации, страна в целом придерживаются стратегии подготовить кадры ВНК своими силами (аспирантура и докторантура).

Данная задача ставится для модели динамики возрастной структуры ППС с учетом внутрискладовых переходов, которая может быть представлена следующей системой [2]:

$$\begin{aligned} X_d(i+1) &= A_{DT} A_A X_d(i) + (BU(i))_d, & X_d(0) &= X_{d_0}, \\ Y_d(i) &= C_d X_d(i) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $X_d(i) \in R^{13 \cdot 70 \times 1} = (x_d(i)_n)_{n=1, \overline{210}}$  – расширенный (детализированный) вектор пространства состояний, который описывается тремя возрастными векторами: ДН, КН, НС,  $A_{DT} \cdot A_A = (a_d)_{m,n=1, \overline{210}} \in R^{210 \times 210}$  – матрица пространства состояний, имеющая блочный вид:

$$A_{DT} \cdot A_A = \begin{pmatrix} E & A_{KH}^{DH}(i) & 0 \\ 0 & E - A_{KH}^{DH}(i) & A_{HC}^{KH}(i) \\ 0 & 0 & E - A_{HC}^{KH}(i) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{DH} & 0 & 0 \\ 0 & A_{KH} & 0 \\ 0 & 0 & A_{HC} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

$A_{KH}^{DH} = (a_{KH}^{DH}(i)_{m,n})_{m,n=1, \overline{70}}$ ,  $A_{HC}^{KH} = (a_{HC}^{KH}(i)_{m,n})_{m,n=1, \overline{70}} \in R^{70 \times 70}$  – матрицы перехода («матрицы докторских и кандидатских защит»), которые переводят часть КН в ДН и часть НС в КН,  $(BU(i))_d \in R^{210 \times 1}$  – вектор приглашаемых (или увольняемых) на работу со стороны ДН, КН и НС,  $C_d \in R^{21 \times 210}$  – матрица выходов,  $Y_d(i) = (y_d(i)_l)_{l=1, \overline{21}} \in R^{21 \times 1}$  – вектор выходов.

На искомое количество  $Y_d(i)$  влияют ненулевые коэффициенты матриц  $A_{KH}^{DH}$  и  $A_{HC}^{KH}$  и внешняя политика вуза  $(BU(i))_d$ .

Чтобы решить задачу обеспечения кадрами студентов вуза по  $k$ -й УГС ей должен соответствовать спектр отраслей науки  $m = 22$ . Таким образом, надо создать, соответственно  $m = 22$  моделей вида (3).

Пусть верхний индекс  $m$  будет признаком отрасли науки. Примем допущение, что специалисты очень редко меняют специальность и поэтому нет смысла создавать интегральную матрицу большой размерности, а можно обойтись  $m$  моделями.

Число ДН, КН и НС зависит при решении (3) от элементов «матриц защит»  $A_{KH}^{DH}$  и  $A_{HC}^{KH}$  и для тех отраслей науки по которым возможны защиты в данном вузе, соответственно будет равно:

$$\begin{aligned} Y_{ДН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) &= \sum_{l=1}^5 y_{d_l}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}), \forall m = \overline{1, 22}, i = \overline{1, 17} \\ Y_{КН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) &= \sum_{l=6}^{10} y_{d_l}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}), \forall m = \overline{1, 22}, i = \overline{1, 17}, \\ Y_{НС}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) &= \sum_{l=11}^{15} y_{d_l}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}), \forall m = \overline{1, 22}, i = \overline{1, 17} \end{aligned} \quad (4)$$

Для соответствия в  $t(i)$  году величинам элементов вектора студентов в разрезе 28 УГС  $S_{УГС}(i)$  преподавателей из множества  $\{Y_d^m(i)\}_{m=\overline{1, 22}}$  запишем балансовое уравнение:

$$\begin{aligned} S_{ОН}^m(i) &= Y_{ДН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) + Y_{КН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) + Y_{НС}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}), \\ &\forall m = \overline{1, 22}, i = \overline{1, 17} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $S_{ОН}^m(i)$  – количество ППС в разрезе 25 ОН, вычисленное с помощью модели соответствия (1). При этом важно соблюдение условия (6) – пропорциональности структуры ППС, которые задают систему функциональных ограничений  $\Omega_Y$ :

$$\begin{aligned} \Omega_Y : \{ Y_{ДН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) = \beta_{ДН} \cdot Y_{ППС_2}(i), Y_{КН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) = \beta_{КН} \cdot Y_{ППС_2}(i), \\ Y_{НС}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) = \beta_{НС} \cdot Y_{ППС_2}(i) \mid \forall m = \overline{1, 25}, i = \overline{1, 17} \} \end{aligned} \quad (6)$$

В нижнем уравнении (3) элементы вектора  $\{Y_d^m(i)\}_{m=\overline{1, 22}}$  зависят от коэффициентов частоты защит матриц  $A_{KH}^{DH}$  и  $A_{HC}^{KH}$ . Эти коэффициенты и будут проектными параметрами при решении балансового уравнения (5). Запишем решение балансового уравнения (5) при соблюдении ограничений (6) как задачу оптимизации, минимизирующую рассогласование контингента студентов в разрезе 28 УГС, и необходимого числа преподавателей в разрезе 25 ОН.

Целевая функция:

$$I(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) = \sum_{m=1}^{22} \left[ S_{ОН}^m(i) - Y_{ДН}^m(i, A_{KH}^{DH}) + Y_{КН}^m(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}) + Y_{НС}^m(i, A_{HC}^{KH}) \right]^2.$$

Поставим задачу оптимизации:

$$\sum_{i=i_0}^{i_f} I(i, A_{KH}^{*DH}, A_{HC}^{*KH}) = \min_{\Omega_Y} \sum_{i=i_0}^{i_f} I(i, A_{KH}^{DH}, A_{HC}^{KH}). \quad (7)$$

Решая задачу (7) для тех  $m = \overline{1..22}$ , для которых в выбранном вузе существуют защиты по данным отраслям наук, находим оптимальные частоты защит докторских  $A_{KH}^{*DH}$  и кандидатских  $A_{HC}^{*KH}$  диссертаций внутри исследуемого вуза.

Абсолютное число востребованных ДН и КН для обеспечения должного уровня учебного процесса в разрезе  $m$  отраслей наук может быть рассчитано следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{ДН}^m(i) &= X_{ДН}^m(i) + A_{KH}^{*DH}(i) \cdot X_{КН}^m(i) \\ P_{КН}^m(i) &= X_{КН}^m(i) + A_{HC}^{*KH}(i) \cdot X_{HC}^m(i), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $X_{ДН}^m(i)$ ,  $X_{КН}^m(i)$  и  $X_{HC}^m(i)$  – составляющие вектора  $X_d^m(i)$ , а вектора  $P_{ДН}^m(i)$  и  $P_{КН}^m(i)$  содержат необходимое количество докторов и кандидатов наук (в детализации по возрастам) в год  $t(i)$ , обеспечивающих заданное соотношение контингента студентов и численности ППС для подготовки студентов по специальности  $k$ .

Используя полученные оптимальные частоты защит докторских и кандидатских диссертаций,  $A_{KH}^{*DH}$  и  $A_{HC}^{*KH}$  соответственно, с учетом трехгодичного срока подготовки в аспирантуре и докторантуре, можно записать выражения для вычисления цифр приема в аспирантуру и докторантуру:

$$U_{ДН}^m(i) = \frac{A_{KH}^{*DH} \cdot X_{КН}^m(i+3)}{K_{ДН}^{Защ}}, \quad U_{КН}^m(i) = \frac{A_{HC}^{*KH} \cdot X_{HC}^m(i+3)}{K_{КН}^{Защ}}, \quad (9)$$

где  $0 < K_{ДН}^{Защ}, K_{КН}^{Защ} \leq 1$  – планируемая доля защитивших диссертацию в течение трех лет.

**Замечание по балансовой задаче:** учитывая то, что коэффициенты матриц интенсивности защит  $A_{KH}^{DH}$  и  $A_{HC}^{KH}$  являются стохастическими, решение поставленной балансовой задачи должно осуществляться в два этапа.

**Первый этап.** Детерминированные коэффициенты матрицы защит:

1) Коэффициенты матрицы защит фиксируются определенными значениями, например, усредненными по результатам решения прямой задачи (моделирование динамики возрастной структуры ППС с учетом внутривузовских защит);

2) Задача минимизации решается имитационным моделированием, когда при стохастическом векторе внешних воздействий  $(BU(i))_d$  ищутся зна-

чения коэффициентов матрицы защит, удовлетворяющие функциональным ограничениям.

**Второй этап.** Стохастические коэффициенты матрицы защит:

1) для каждого коэффициента матриц защит задается закон распределения со средним значением, вычисленным на предыдущем этапе.

В данном случае задача минимизации решена на предыдущем этапе. Имитационным моделированием решается прямая задача нахождения заданного отклонения конечного результата при варьировании дисперсии коэффициентов матриц защит.

Моделирование динамики профессорско-преподавательского состава вузов и НИИ является одной из задач, решаемых информационно-аналитической системой (ИАС) «Система образования и рынок труда в регионах России». ИАС создана для решения задач в области управления образованием на федеральном и региональном уровнях и включает в себя информационные ресурсы в виде базы данных в области образования по федеральному уровню и всем 89 субъектам РФ за 1996-2004 гг., а также три аналитических модуля с возможностями моделирования динамики различных параметров на период до 2015 г. [6]:

– модуль моделирования движения потоков учащейся молодежи по уровням профессионального образования [7];

– модуль прогнозирования потребностей региональных экономик в профессионально подготовленных специалистах

– модуль прогнозирования движения кадров высшей квалификации (докторов и кандидатов наук).

ИАС «Система образования и рынок труда в регионах России», включающая в себя базу данных и пакет моделирующих программ, позволяет анализировать и осуществлять прогнозирование для широкого спектра данных, таких как потоки «прием-контингент-выпуск» из учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования, численность профессорско-преподавательского состава в вузовском и академическом секторе.

#### Список литературы

1. Пенние И. В. Механизмы формирования государственного заказа на подготовку аспирантов и докторантов для приоритетных направлений развития науки, технологий и техники на базе информационной среды / И. В. Пенние, В. А. Гуртов, Е. А. Питухин // Обозрение прикладной и промышленной математики. М., 2006. Т. 13, ч. 2. С. 303-304.

2. Пенние И. В. Математическое моделирование профессорско-преподавательского состава вуза с позиции подготовки востребованных

экономикой специалистов / И. В. Пенние, В. А. Гуртов, Е. А. Питухин // Вестник Поморского университета. Архангельск, 2006. Т. 3. С. 109-121.

3. Приказ Рособнадзора от 30.09.2005 № 1938.

4. Гуртов В. А. Математическая модель прогнозирования спроса и предложения на рынке труда в российских регионах / В. А. Гуртов, Е. А. Питухин // Пятый Всероссийский симпозиум по прикладной и промышленной математике (осенняя сессия). Обзорение прикладной и промышленной математики. Т. 11. Вып. 3. М., 2004. С. 539.

5. Пенние И. В. Формирование матрицы соответствия 28 укрупненных групп специальностей высшего профессионального образования (28 УГС ВПО) 25 отраслям науки для научных специальностей высшей научной квалификации (25 ОН ВНК) / И. В. Пенние, В. А. Гуртов, А. Г. Мезенцев // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: Сб. докладов по материалам III Всероссийской научно-практической Интернет-конференции (25–26 октября 2006 г.). Кн. 3. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. С. 16-22.

6. Пенние И. В. Информационная система для анализа и прогнозирования динамики возрастной структуры кандидатов и докторов наук в составе ППС российских вузов / И. В. Пенние, В. Н. Васильев, В. А. Гуртов // Образовательная среда: сегодня и завтра: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции (Москва, 28.09 – 01.10.2005). М., 2005. С. 155-156.

7. Гуртов В. А. Моделирование потоков выпускников школ по территории Российской Федерации / В. А. Гуртов, Е. А. Питухин // Рынок труда и рынок образовательных услуг в Республике Карелия: Сб. научных статей. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. С. 73-85.

## **МАТРИЦЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО КВАЛИФИКАЦИОННОГО СООТВЕТСТВИЯ «27 ВЭД-28 УГС»**

**В. А. Гуртов, Л. М. Серова**

*Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск  
[vgurt@psu.karelia.ru](mailto:vgurt@psu.karelia.ru)*

Одним из ключевых элементов в методике расчета потребностей Центра бюджетного мониторинга Петрозаводского государственного университета [1, 2] является использование матриц профессионально-квалификационного соответствия. Матрицы связывают 28 укрупненных групп специальностей необходимого уровня профессионального образования с отрас-