

### References

1. Anokhin N. N. *Stroitel'naya mekhanika v primerakh i zadachakh. Staticheski neopredelime sistemy* [Structural mechanics in examples and tasks. Statically indeterminate systems]. Moscow, Association of Engineering Universities, 2000, part 2. 464 p.
2. Bykov L. I., Mustafin F. M., Rafikov S. K. et al. *Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov* [Model calculations at the construction and repair of oil and gas pipelines]. Saint-Petersburg, Nedra, 2006. 824 p.
3. *GOST 20522-96. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezultatov ispytaniy* [State Standard 20522-96. Soils. The method of statistical treatment of test results]. Moscow, Russian Ministry of Construction, 1996. 26 p.
4. Kolotilov Yu. V., Korolenok A. M., Fedorov E. I. et al. *Osobennosti effektivnogo ispolzovaniya ankernykh ustroystv pri sooruzhenii magistralnykh gazoprovodov* [Features of effective use of anchorages when constructing main gas pipelines]. Moscow, Oilman, 1998. 86 p.
5. Kolotilov Yu. V., Mitrokhin M. Yu., Reshetnikov A. D. et al. *Funktsionalno-tekhnologicheskii monitoring sistemy obsluzhivaniya i remonta gazoprovodov* [Functional and technological monitoring of gas pipelines repair and maintenance system]. Moscow, Izvestiya, 2009. 512 p.
6. Reshetnikov A. D. *Tekhnologicheskie protsessy stroitelstva i kapitalnogo remonta magistralnykh gazoprovodov v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Technological processes of construction and general repair of main gas pipelines in difficult natural and climatic conditions]. Moscow, 2004. 320 p.
7. *STO Gazprom 2-2.3-231-2008. Pravila proizvodstva rabot pri kapitalnom remonte lineynoy chasti magistralnykh gazoprovodov OAO «Gazprom»* [Organization Standard Gazprom 2-2.3-231-2008. Work production rules at major overhaul of linear part of main gas pipelines of JSC "Gazprom"]. Moscow, Information and Advertising Center Gazprom, 2008. 72 p.

УДК 681.3.07 : 005.336.4

### **АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА В РЕГИОНАЛЬНЫХ ВУЗАХ**

**Брумштейн Юрий Моисеевич**, кандидат технических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

**Иванова Мария Владимировна**, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: maivam@rambler.ru

**Пугина Надежда Николаевна**, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: astra8512@mail.ru

Авторы статьи показывают актуальность темы для региональных вузов (РВ); рассматривают цели и особенности их кадровой политики; характеризуют причины и основные процессы, связанные с изменением численности и структуры преподавательского состава вузов; исследуют основные возможности руководства РВ по управлению этими процессами. В работе обоснованы: целесообразность использования математических моделей для прогнозирования кадровых процессов в РВ; возможные подходы к организации имитационного моделирования таких процессов; предпосылки, используемые при формализации кадровых процессов для целей моделирования; принятая для моделирования схема разделения преподавателей на группы и подгруппы. Для описания динамики кадровых процессов РВ в рамках математической модели предлагается система дифференциальных уравнений (ДУ). Модель учитывает такие процессы: подготовку кадров высшей квалификации; внутривузовские «перетоки» персонала между группами/подгруппами; прекращение трудовой деятельности персонала; переход

сотрудников РВ в другие организации; прием на работу в РВ новых сотрудников; влияние случайных факторов. Подробно анализируются все слагаемые ДУ, описывающих модель; возможные варианты представления этих слагаемых для повышения адекватности моделей; вопросы состава и объемов исходных данных, необходимых для проведения моделирования. При реализации модели на ЭВМ предлагается использовать двухслойную явную разностную схему по времени, обсуждаются вопросы выбора для нее шага по времени. Авторы обосновали эффективность применения листов «электронных таблиц» как контейнеров для организации ввода-вывода информации, представления результатов моделирования в наглядной форме. Отдельно рассматриваются методы задания/определения в ДУ коэффициентов, включая их экспертные оценки и «калибровку» по фактическим данным.

**Ключевые слова:** региональные вузы, преподавательский состав, структура, динамика, процессы, влияющие факторы, источники формирования, математические модели, компьютерное моделирование, калибровка моделей, расчетные схемы

### **PROJECTED RECONSIDERATION OF PERSONNEL POLITICS BY REGIONAL UNIVERSITIES**

*Brumshteyn Yuriy M.*, Ph.D. (Engineering), Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, phone 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru,

*Ivanova Mariya V.*, post-graduate student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, phone 8 (8512) 61-08-43, e-mail: maivam@rambler.ru

*Pugina Nadezhda N.*, post-graduate student, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, phone 8 (8512) 61-08-43, e-mail: astra8512@mail.ru

The article urges regional universities (RUs) to reconsider the ultimate aim of their personnel politics, re-characterize their basic processes, and consider the possibility of changing the size and structure of their lecturing staff. It also calls on them to determine whether the current RU heads could manage these processes. Subsequently, the critique discusses the suitability of using mathematical models to forecast personnel processes in RUs; possible approaches to imitating modeling organization in such procedures; pre-conditions for formalizing the personnel modeling processes; and a divisional scheme for groups and subgroups of lecturers accepted for the modeling process. At this stage, the paper offers a system of differential equations (DE) to describe the dynamics of personnel processes, with this function undertaken within the limits of the mathematical model. For its part, the model considers such processes for RUs as «top skills» professional preparation, personnel «overflow» between groups and subgroups into universities, termination of personnel labor activity, transfer of employees to other organizations, hiring of new employees and other random factors. The document has analyzed all the DE components, describing models and presenting possible variants of components for increasing the model's adequacy. It would also question the structure and volume of the initial data appearing in the model. For computer operations, the model would use a dual-layer scheme (relating to time and questions of choice). In conclusion, the blueprint has demonstrated the efficiency of using «spreadsheet» leaves as containers for organizing information input-output, and for presenting modeling results in visual format. In addition, it has considered methods for assignment and definition of DE-related coefficients, including the reliance on factual data for expert estimations and «calibration».

**Keywords:** regional universities, lecture staff, structure, dynamics, processes, influencing factors, formation sources, mathematical models, computer modeling, model calibration, calculating schemes

В деятельности вузов России обеспечение их научно-преподавательскими работниками (НПР) играет ключевую роль. Для грамотного управления процессами формирования НПР необходимы адекватные инструменты прогнозирования кадровых процессов, выбора оптимальных решений по их управлению. С этой целью наряду с экспертными оценками и формальным прогнозированием по «многомерным временным рядам» [2, с. 45] полезны и математические модели (ММ). Однако в существующей литературе эта тематика рассмотре-

на недостаточно полно. Ранее нами в [1, с. 81] была предложена упрощенная ММ. В данной работе ставилась цель исследовать возможные подходы к построению более полных ММ динамики НПП – для определенности, в региональных вузах (РВ).

Основными признаками РВ можно считать: прием на обучение в основном лиц из своего региона размещения; ориентацию на трудоустройство выпускников в том же регионе. Особенности РВ заключаются в следующем: формирование контингента штатных НПП с учеными степенями путем подготовки их через аспирантуру (преимущественно собственную), докторантуру, реже – соискательство, а не за счет стимулирования «перетока» из других организаций; широкое привлечение для преподавания аспирантов, сотрудников административных, научных, научно-инновационных структур вузов; привлечение извне вуза для проведения занятий в основном лиц с учеными степенями докторов наук (ДН) и кандидатов наук (КН).

Ниже мы будем иметь в виду следующие процессы: подготовку в РВ ДН из числа штатных НПП со степенью КН; подготовку КН из числа штатных НПП без ученой степени; прекращение НПП трудовой деятельности (уход на пенсию, утрата профессиональной трудоспособности, смерть и пр.); переток преподавателей по их инициативе из РВ в другие организации (не только в образовательные учреждения, но и госструктуры, коммерческие фирмы внутри и вне региона/страны и пр.); прием в РВ новых сотрудников на штатные должности НПП (в том числе и в порядке «внутреннего перевода» с «непреподавательских» должностей, особенно после защиты диссертаций). Управление кадровыми процессами в РВ может включать: обеспечение в вузе для НПП привлекательных условий труда и оплаты, тормозящих «отток» сотрудников из вуза и прекращение ими трудовой деятельности, стимулирование «притока» сотрудников извне РВ; повышение эффективности работы аспирантур и докторантур в вузах; открытие/сохранение в вузах советов по защите диссертаций [4, с. 154] и пр.

В дальнейшем мы стараемся соблюдать определенный «баланс» между: сложностями ММ и необходимыми объемами исходных данных для них; возможностями и точностями ММ. Построение имитационных ММ для динамики НПП в РВ возможно на основе двух подходов – прогнозы изменения во времени «статусов» для отдельных преподавателей или для групп НПП. Первый подход позволяет лучше учесть в моделях особенности поведения отдельных НПП. Однако количество НПП в типичном РВ – много сотен человек, поэтому такой подход достаточно громоздкий (и по объемам исходных данных, и с точки зрения программной реализации). В случае использования в ММ «групп НПП» модели более компактные. Мы выделим следующие группы/подгруппы штатных НПП: ДН (для момента времени « $t$ » обозначим как « $D(t)$ »); КН; лица без степени. Общее количество КН в момент « $t$ » (обозначим как « $K(t)$ ») разделим на две подгруппы. (а1) Лица, готовящие ДД ( $G^{(D)}(t)$ ). Здесь и далее верхний индекс относится к докторским диссертациям (ДД), а буква « $G$ » – к лицам, готовящим диссертации. (а2) КН, которые не готовят ДД ( $K_+(t)$ ). Из этой подгруппы возможно «рекрутирование» лиц для подготовки ДД.

Сотрудников без ученой степени ( $B(t)$ ) разделим на три подгруппы. (б1) Аспиранты очного обучения ( $G_0^{(K)}(t)$ ). (б2) Лица, обучающиеся в заочной аспирантуре ( $G_Z^{(K)}(t)$ ). (б3) НПП, которые не готовят КД – обозначим их как  $B_+(t)$ . Для упрощения модели: отнесем к «б2» лиц, оформивших «соискательство» (это допускается не во всех вузах), а также тех, кто начал подготовку КД, но пока не оформлял это. Аспирантов, не работающих в вузе на штатной основе, в рамках ММ учитывать не будем.

Целесообразность дифференциации лиц, готовящих КД, на подгруппы «б1» и «б2» определяется разными длительностями обучения в аспирантуре, разным отношением их к

прекращению обучения и т.д. Из подгруппы «б3» рекрутируются лица для подготовки КД. Таким образом,

$$K(t) = G^{(D)}(t) + K_+(t); \quad B(t) = G_0^{(K)}(t) + G_Z^{(K)}(t) + B_+(t). \quad (1)$$

Замечания. **(z1)** Мы не будем «различать» НПП по направлениям их деятельности/специализации, так как это значительно усложнило бы ММ. **(z2)** В рамках ММ не будем дифференцировать НПП по полу, так как это увеличило бы количество уравнений вдвое, а отдельные данные по мужчинам и женщинам либо отсутствуют, либо различаются слабо. **(z3)** Не будем разделять ДН на «молодых» (до 40 лет), и «немолодых» – после 40 лет (в отчетных показателях для вузов это учитывается). Причины: в РВ молодых ДН обычно немного; а «разделение» ДН на две категории потребует: увеличения количества уравнений; расчета перетока «молодых» ДН в «немолодые» и, как следствие, учета возрастной структуры для молодых ДН. **(z4)** После защиты диссертаций и до их утверждения высшей аттестационной комиссией (ВАК) обычно проходит достаточно много времени, а вероятность утверждения (по крайней мере, по ДД) меньше 100 %. Можно ввести в явной форме дополнительные подгруппы для лиц, ожидающих утверждения ВАКом защищенных ими КД и ДД. Однако это привело бы к появлению в ММ двух дополнительных уравнений. Поэтому мы считаем, что такие лица сразу переходят в категории с соответствующей степенью, однако учитываем возможность последующей отмены ВАКом положительных решений советов о защите. Возможные причины (основания) отмены решений: нарушение процедуры защиты или иных формальных требований; выявление в диссертациях плагиата, фальсификации экспериментальных данных, результатов анкетирования и пр. **(z5)** Корректный учет запаздывания моментов защит КД и ДД по отношению к моментам начала их подготовки формально требует выделения «коhort лиц» с разной текущей продолжительностью (стажем) работы над диссертациями. Количество таких «коhort» необходимо будет увязывать с величиной шага по МВ, а для каждой из «коhort» будет нужно отдельное уравнение и начальные данные. Поэтому нами в ММ реализован более простой подход – см. далее. **(z6)** Мы не учитываем в ММ лиц, уже имеющих ученую степень и дополнительно готовящих/защищающих диссертацию по другой специальности (например, докторов технических наук, защищающих КД по экономике). Количество таких лиц в РВ очень ограничено. **(z7)** В качестве «сценариев» для будущих периодов времени целесообразно задавать не общее количество для РВ «штатных единиц», а необходимые вузу количества штатных ДН, КН, лиц без степени. Эти сценарии определяются с учетом: прогнозов общего количества обучаемых лиц; требований Минобрнауки в отношении «остепененности» НПП; целей управления «рейтингами» вузов и пр. Наличие степени ДН может быть обязательным требованием для ректоров и проректоров вузов, институтов в университетах, руководителей кафедр, некоторых других подразделений. Подчеркнем, что вычисленные на основе имитационных ММ количества этих лиц могут отличаться от «необходимых» по сценариям. Для разных категорий штатных НПП будем также считать известными сценарии изменения во времени интегральных оценок для условий их деятельности в РВ и вне его.

Далее будем предполагать использование при компьютерной реализации ММ явной двухслойной разностной схемы [3], соответствующей последовательным переходам  $\{P_i(t)\}_{i=1 \dots I_{total}} \Rightarrow \{P_i(t + \Delta t)\}_{i=1 \dots I_{total}}$  внутри основного цикла по модельному времени (МВ). Здесь  $P_i(t), P_i(t + \Delta t)$  – значения  $i$ -ого параметра в начале и в конце шага по МВ;  $I_{total}$  – общее количество параметров, учитываемых в ММ. Для простоты будем иметь в виду шаг по МВ в один год, так как шаги размером «месяц» или «квартал» потребуют введения «масок» для учета периодичностей процессов приема/увольнения на работу в РВ, приема в аспирантуру и пр. При этом вновь вычисленные на шаге по МВ значения параметров начинают использоваться в расчетах только на новом шаге. Аналогично пересчитываются и коэффици-

енты уравнений, рассматриваемых ниже. Использование других расчетных схем (неявные, явно-неявные, многослойные и пр. [3]) нуждаются в отдельном обсуждении. Мы формулируем ММ в виде совокупности дифференциальных уравнений (ДУ), хотя можно было бы использовать и «аппарат переходных матриц». Примем скорость изменения количества ДН в РВ в виде

$$\frac{dD(t)}{dt} = \alpha_{11}G^{(D)}(t) - \alpha_{12}(a_{11}G^{(D)}(t)) - \alpha_{13}D(t) - \alpha_{14}^*D(t) + \alpha_{15}^*(D^{(N)}(t) - D(t)) + \alpha_{16}S_1D(t). \quad (2)$$

В формуле (2) 1-ый член описывает прирост ДН в РВ за счет защит ДД. Коэффициент  $\alpha_{11}$  определяет интенсивность защит лицами, подготавливающими ДД (размерность его и аналогичных коэффициентов примем [1/год]). Второй член описывает процессы отмены ВАКом ранее присужденных советами степеней ДН (коэффициент  $\alpha_{12} \ll 1$  – безразмерный). Будем считать, что такие лица переходят в категорию  $K_+$ . Формально корректнее записать 2-ой член как « $-\alpha_{12}(a_{11}G^{(D)}(t - \tau_1))$ », где  $\tau_1$  – усредненное время запаздывания отрицательных решений ВАК по ДД по отношению к моментам защит. Однако это потребовало бы набора значений  $G^{(D)}$  для «МВ<0». Третий член определяет уменьшение числа ДН за счет прекращения ими трудовой деятельности. Исходя из среднего возраста ДН в 55 лет и прекращения ими работы в 70 лет, величину  $\alpha_{13}$  можно принять порядка «(1/15)/год». Четвертый член описывает отток ДН из вуза, причем  $\alpha_{14}^*$  определяется разницей между «интегральными оценками условий работы» (ИОУР) для ДН в данном вузе ( $F_{vuz}^{(D)}$ ) и «средними» ИОУР для ДН вне вуза ( $F_{vne}^{(D)}$ ). Примем, что

$$F_{vuz}^{(D)} = \sum_{i=1}^{I^{(D)}} v_i W_{i(vuz)} / \sum_{i=1}^{I^{(D)}} v_i; \quad F_{sr}^{(D)} = \sum_{i=1}^{I^{(D)}} v_i W_{i(vne)} / \sum_{i=1}^{I^{(D)}} v_i, \quad (3)$$

где  $W_{i(vuz)}, W_{i(vne)}$  – оценки частных показателей в количестве  $I^{(D)}$ ; а  $\{v_i\}_{i=1...I^{(D)}}$  – совокупность весовых коэффициентов для этих показателей. Примем

$$\alpha_{14}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } F_{vne}^{(D)} - F_{vuz}^{(D)} < \varepsilon_{14} \\ \alpha_{14}(F_{vne}^{(D)} - F_{vuz}^{(D)}), & \text{если } F_{vne}^{(D)} - F_{vuz}^{(D)} \geq \varepsilon_{14} \end{cases}. \quad (4)$$

В (4)  $\varepsilon_{14}$  – пороговая величина для оттока (в силу определенной консервативности принятия решений НПП обычно  $\varepsilon_{14} > 0$ ). Пятый член в (2) описывает прием в РВ лиц со степенью ДН, причем  $D^{(N)}(t)$  определяется «сценарием» для необходимого в РВ числа ДН. Примем

$$\alpha_{15}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } ((D^{(N)}(t) - D(t)) / D^{(N)}(t)) > \varepsilon_{15} \\ \alpha_{15}, & \text{если } ((D^{(N)}(t) - D(t)) / D^{(N)}(t)) \leq \varepsilon_{15} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{15}$  определяет «порог» приема ДН на штатные места. Для РВ обычно  $\varepsilon_{15} < 0$ , так как ДН (кроме лиц в возрасте старше 70 лет) принимают, даже если существующее количество ДН больше необходимого. Седьмой член в (2) описывает влияние случайных факторов ( $\alpha_{17}$  определяет степень их влияния). Эти факторы могут моделироваться генератором случайных чисел, дающим равномерное распределение значений для  $S_1$  на  $[-1; +1]$ .

Будем считать, что в (2) для момента « $t$ »  $\alpha_{11}$  зависит от усредненной продолжительности подготовки ДД (обозначим ее как  $U^{(D)}(t)$ ). Для типичных случаев в зависимости

$a_{11} = f_1(U^{(D)})$  функция  $f_1$  при малых значениях  $U^{(D)}$  близка к нулю, потом растет почти линейно, затем приближается к «квазиасимптотическому» значению (КАЗ). Эту зависимость при компьютерном моделировании можно задать таблично для «опорных» точек, а в промежуточных точках находить значения линейной интерполяцией. Исходя из шестилетнего периода подготовки ДД, можно в качестве КАЗ взять величину меньшую «(1/6)/год», так как защиту ДД осуществляет лишь часть лиц, начавших их подготовку.

Примем, что изменение за  $dt$  «суммарного времени подготовки ДД для всех лиц, готовящих такие диссертации» ( $T_{sum}$ ), определяется по

$$dT_{sum} = (-U^{(D)}(t)a_{11}G^{(D)}(t)dt + (G^{(D)}(t) - a_{11}G^{(D)}(t)dt - a_{23}G^{(D)}(t)dt)dt + (a_{21}K_+(t)dt)dt. \quad (6)$$

Слагаемые в правой части (6) определяют изменение  $T_{sum}$  за время  $dt$ : первое – за счет лиц, защищающих ДД; второе – за счет лиц, продолжающих подготовку ДД (из общего количества  $G^{(D)}(t)$  вычитаются «защитившиеся» и те лица, которые прекратили за период  $dt$  подготовку ДД); третье – за счет лиц, начавших подготовку ДД. В последнем слагаемом:  $a_{21}$  [1/год] определяет «интенсивность» начала подготовки ДД. Тогда

$$\frac{dU^{(D)}}{dt} = \left( \frac{(-U^{(D)}(t)a_{11}G^{(D)}(t) + (G^{(D)}(t) - a_{11}G^{(D)}(t)dt - a_{23}G^{(D)}(t)dt)}{+(a_{21}K_+(t)dt)} \right) / G^{(D)}(t). \quad (7)$$

Для скорости изменения  $G^{(D)}(t)$  примем уравнение

$$\begin{aligned} \frac{dG^{(D)}}{dt} = & \alpha_{21}K_+(t) - \alpha_{11}G^{(D)}(t) - \alpha_{23}G^{(D)}(t) - \alpha_{24}G^{(D)}(t) \\ & - \alpha_{25}^*G^{(D)}(t) + \alpha_{26}^*(D^{(N)}(t) - D(t)) + \alpha_{27}S_2G^{(D)}(t) \end{aligned} \quad (8)$$

Слагаемые в (8) определяют: первое – начало подготовки ДД; второе – защиты ДД (и переход защитившихся КН в категорию ДН) – оно совпадает с 1-ым членом в (2); третье – прекращение подготовки ДД; четвертое – прекращение трудовой деятельности; пятое – отток ДН из вуза. Смысл коэффициентов в (8) совпадает с уравнением (2). Аналогично (4) примем

$$\alpha_{25}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } F_{vne}^{(G^{(D)})} - F_{vuz}^{(G^{(D)})} \leq \varepsilon_{25} \\ \alpha_{25} (F_{vne}^{(G^{(D)})} - F_{vuz}^{(G^{(D)})}), & \text{если } F_{vne}^{(G^{(D)})} - F_{vuz}^{(G^{(D)})} > \varepsilon_{25} \end{cases}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_{25}$  – пороговая величина для оттока (обычно  $\varepsilon_{25} > 0$ ). Шестое слагаемое в (8) описывает прием в состав ННР новых КН, уже готовящих ДД

$$\alpha_{26}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } ((D^{(N)}(t) - D(t)) / D^{(N)}(t)) \leq \varepsilon_{26} \\ \alpha_{26}, & \text{если } ((D^{(N)}(t) - D(t)) / D^{(N)}(t)) > \varepsilon_{26} \end{cases} \quad (10)$$

Последнее слагаемое учитывает случайные факторы. В нем  $\alpha_{27}$  определяет «силу» их влияния», а  $S_2$  генерируется в интервале  $[-1; +1]$ .

Динамику числа штатных ННР без степени, готовящих КД по очной ( $G_o^{(K)}(t)$ ) и заочной ( $G_z^{(K)}(t)$ ) формам обучения, опишем как

$$\begin{aligned} \frac{dG_o^{(K)}}{dt} = & \alpha_{41}B_+(t) - \alpha_{42}G_o^{(K)}(t) - \alpha_{43}G_o^{(K)}(t) - \\ & - \alpha_{44}G_o^{(K)}(t) - \alpha_{45}^*G_o^{(K)}(t) + \alpha_{46}^*(K^{(N)}(t) - K(t)) + \alpha_{47}S_4G_o^{(K)}(t) \end{aligned}; \quad (11)$$

$$\frac{dG_z^{(K)}}{dt} = \alpha_{51}B_+(t) - \alpha_{52}G_z^{(K)}(t) - \alpha_{53}G_z^{(K)}(t) - \alpha_{54}G_z^{(K)}(t) - \alpha_{55}G_z^{(K)}(t) + \alpha_{56}^*(K^{(N)}(t) - K(t)) + \alpha_{57}S_5G_z^{(K)}(t) \quad (12)$$

Первые члены в (14) и (15) определяются «скоростями прироста» за счет лиц без степени, начинающих готовить КД. Коэффициенты  $\alpha_{41}$  [1/год] и  $\alpha_{51}$  [1/год] определяют «интенсивность рекрутирования», которой руководство РВ может в некоторых пределах управлять. Если « $B_+/(K(t) + D(t))$ » велико, то внутривузовская обеспеченность руководителями КД может лимитировать их подготовку. Однако обычно в РВ недостаток руководителей возмещается привлечением их со стороны. Вторые слагаемые в (11), (12) учитывают защиты КД готовящими их лицами и переход их из категории «без степени» в « $K_+$ », третьи – описывают прекращение работы над КД и переход в категорию  $B_+$ ; четвертые – прекращение трудовой деятельности; пятые – отток из вуза; шестые – прием в РВ лиц, уже готовящих КД по очной и заочной формам обучения соответственно.

$$\alpha_{46}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } ((K^{(N)}(t) - K(t))/K^{(N)}(t)) \geq \varepsilon_{46} \\ \alpha_{46}, & \text{если } ((K^{(N)}(t) - K(t))/K^{(N)}(t)) < \varepsilon_{46} \end{cases}; \quad \alpha_{56}^* = \begin{cases} 0, & \text{если } ((K^{(N)}(t) - K(t))/K^{(N)}(t)) \geq \varepsilon_{56} \\ \alpha_{56}, & \text{если } ((K^{(N)}(t) - K(t))/K^{(N)}(t)) < \varepsilon_{56} \end{cases} \quad (13)$$

Седьмые слагаемые в (11), (12) учитывают влияние случайных факторов.

Рассмотренный подход к учету «запаздывания» защит распространим и на КД, приняв:  $\alpha_{42} = f_2(U^{(G_0^{(K)})})$ ;  $\alpha_{52} = f_3(U^{(G_z^{(K)})})$ . По аналогии с (7)

$$\frac{dU^{(G_0^{(K)})}}{dt} = \left( (-U^{(G_0^{(K)})} \alpha_{42} G_0^{(K)}(t)) + (G_0^{(K)}(t) - \alpha_{42} G_0^{(K)}(t) dt - \alpha_{43} G_0^{(K)}(t) dt) + (\alpha_{41} B_+(t) dt) \right) / G_0^{(K)}(t); \quad (14)$$

$$\frac{dU^{(G_z^{(K)})}}{dt} = \left( (-U^{(G_0^{(K)})} \alpha_{52} G_z^{(K)}(t)) + (G_z^{(K)}(t) - \alpha_{52} G_z^{(K)}(t) dt - \alpha_{53} G_z^{(K)}(t) dt) + (\alpha_{51} B_+(t) dt) \right) / G_z^{(K)}(t). \quad (15)$$

Для подгруппы КН типа « $K_+$ » примем уравнение

$$\frac{dK_+}{dt} = -\alpha_{21}K_+(t) + \alpha_{12}(a_{11}G^{(D)}(t)) - \alpha_{41}B_+(t) - \alpha_{51}B_+(t) + \alpha_{23}G^{(D)}(t) - \alpha_{62}K_+(t) - \alpha_{63}K_+(t) - \alpha_{64}^*K_+(t) + \alpha_{65}^*(K^{(N)}(t) - K_+(t)) + \alpha_{66}S_6K_+(t) \quad (16)$$

В (16) 1-ое слагаемое определяется лицами, которые приступают к подготовке ДД и, таким образом, переходят из « $K_+$ » в категорию « $G^{(D)}$ »; второе – лицами, защиты ДД которых не утверждаются ВАКом; третьи и четвертые – лицами без степени, начавшими подготовку КД; пятое – лицами, прекратившими подготовку ДД (т.е. они переходят из категории  $G^{(D)}$  в  $K_+$ ); шестое – прекращением трудовой деятельности; седьмое – процессами оттока из вуза; восьмое – приемом новых НПП, соответствующих категории  $K_+$ ; девятое – случайными факторами. Формулы для  $\alpha_{64}^*$  и  $\alpha_{65}^*$  аналогичны (9) и (10). Для динамики КН «в целом», дифференцируя по времени первое уравнение из (1), получаем

$$\frac{dK(t)}{dt} = \frac{dG^{(D)}(t)}{dt} + \frac{K_+(t)}{dt} \quad (17)$$

Для динамики числа НПП без степени, относящихся к категории  $B_+$ ,

$$\begin{aligned} \frac{dB_+}{dt} = & -\alpha_{41}B_+(t) - \alpha_{51}B_+(t) + \alpha_{81}(\alpha_{42}G_o^{(K)}(t)) - \alpha_{82}(\alpha_{52}G_z^{(K)}(t)) \\ & - \alpha_{83}B_+(t) - \alpha_{85}^*B_+(t) + \alpha_{86}^*(B^{(N)}(t) - B(t)) + \alpha_{87}S_8B_+(t) \end{aligned} \quad (18)$$

В (18) первое и второе слагаемые соответствуют лицам, которые начинают готовить КД и потому переходят в категории  $G_o^{(K)}(t); G_z^{(K)}(t)$ ; третье и четвертое – лицам, защиты КД которых не утверждаются ВАКом (безразмерные коэффициенты  $\alpha_{81}, \alpha_{82}$  определяют доли «неутверждаемых» защит); пятое – прекращению трудовой деятельности; шестое – оттоку из РВ; седьмое – приему в РВ (в последних двух слагаемых конструкции формул для  $\alpha_{85}^*, \alpha_{86}^*$  аналогичны приведенным ранее); восьмое – влиянию случайных факторов. Дифференцируя второе из уравнений (1), имеем

$$\frac{dB(t)}{dt} = \frac{dG_o^{(K)}}{dt} + \frac{dG_z^{(K)}}{dt} + \frac{dB_+(t)}{dt}. \quad (19)$$

Таким образом, ММ для описания динамики процесса по времени включает в себя основные уравнения (2), (8), (11), (12), (16), (17), (18), которые целесообразно циклически использовать для перехода к последующим временным слоям. Необходимы начальные условия при « $t = 0$ » для девяти параметров:  $D; U^{(D)}; G^{(D)}; G_o^{(K)}; G_z^{(K)}; U^{(G_o^{(K)})}; U^{(G_z^{(K)})}; K_+; B_+$ . Начальные условия для « $K$ » и « $B$ » определяются по (1). Кроме того, в качестве исходных данных нужно задать: «сценарии»  $D^{(N)}(t), K^{(N)}(t), B^{(N)}(t)$ ; сценарии для ИО-УР в РВ и вне его для различных подгрупп НПП. Результатом работы программы имитационного моделирования будет являться динамика во времени перечисленные выше « $9+2=11$ » переменных (параметров). Таким образом, получим 11 взаимосвязанных временных рядов, описывающих поведение моделируемой системы во времени. Поскольку результаты не зависят от «предыстории» выхода системы на «начальные значения», то процесс следует считать «марковским».

Достоинства разработанной ММ: достаточно полный учет влияющих факторов; нет необходимости вводить значения параметров для «отрицательного» МВ. Недостаток – необходимость значительных объемов информации в виде «сценариев» для положительного МВ.

Коэффициенты в рассмотренных выше ДУ могут быть заданы с использованием методов экспертного оценивания. Однако возможен и иной подход. Пусть есть фактические данные по динамике НПП в РВ за некоторый период времени в виде синхронных временных рядов. Выберем «временную точку», соответствующую нулевому МВ так, чтобы по временным рядам можно было определить все начальные условия, в том числе адекватно рассчитать  $U^{(D)}; U^{(G_o^{(K)})}; U^{(G_z^{(K)})}$ . Данные во временных рядах «после» выбранной «временной точки» могут быть использованы для «калибровки» коэффициентов в ММ путем подгонки прогнозных (по ММ) и фактических (заданных) значений параметров. Такая подгонка может осуществляться: 1) только по значениям моделируемых и фактических значений параметров в конечный момент МВ; 2) по совокупностям значений моделируемых и фактических параметров для всего расчетного (прогнозного) периода МВ. В качестве критерия качества подгонки может быть взята сумма квадратов отклонений фактических и прогнозных значений, т.е. использован «метод наименьших квадратов» (МНК) [3]. Существенно, что из 9 основных параметров ММ шесть имеют размерность типа «количество человек», а три – «время». Поэтому при использовании МНК для подгонки в принципе возможны два подхода: ограничиться шестью параметрами с одинаковой размерностью; перейти к «безразмерным переменным» – например, путем нормирования всех параметров на их «средние фактические

значения» за период моделирования (это позволит использовать при подгонке 9 параметров). Второй вариант имеет определенные преимущества, в том числе в отношении более корректного учета отклонений для параметров с относительно малыми значениями (например, численностями ДН). Процедура калибровки коэффициентов ММ может рассматриваться как задача нелинейной оптимизации со многими экстремумами. На практике оптимальный вариант может учитывать и некоторые факторы, не включенные в ММ в явном виде; быть не единственным. Отдельную трудность при калибровке может представлять оценка силы влияния случайных факторов.

Программная реализация описанной ММ целесообразна с использованием «электронных таблиц» и языка VBA. Преимущества такого решения: совокупность ячеек на листах «электронных таблиц» – уже готовый «контейнер» для ввода-вывода информации; все «электронные таблицы» включают в себя встроенные средства построения диаграмм/графиков, которые очень полезны для наглядного анализа результатов.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы.

1. Использование предложенной ММ для прогноза динамики НПП в РВ потенциально может улучшить управление кадровыми процессами.
2. Значительный объем входных данных для ММ является объективно необходимым. Он связан с влиянием многочисленных факторов внешней среды, которые не могут быть включены непосредственно в саму модель.
3. Развитие данной ММ возможно в различных направлениях, включая дифференциацию категорий НПП в отношении направлений их преподавательской деятельности.

#### Список литературы

1. **Брумштейн Ю. М.** Анализ методов и математических моделей обеспечения вуза кадрами высшей квалификации / Ю. М. Брумштейн, Т. А. Горюнова, Н. Н. Пугина // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2010. – Вып. 9, № 11 (71). – С. 81–84.
2. **Брумштейн Ю. М.** Анализ методов исследования процессов, описываемых взаимосвязанными временными рядами / Ю. М. Брумштейн, М. И. Иванова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2011. – Вып. 10, № 3 (76). – С. 45–51.
3. **Калиткин Н. Н.** Численные методы / Н. Н. Калиткин. – Москва : Изд-во физ.-мат. литературы, 1996. – 523 с.
4. **Фот А. П.** Система подготовки кадров высшей квалификации в университете / А. П. Фот // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 1, январь. – С. 154–164.

#### References

1. Brumsteyn Yu. M., Goryunova T. A., Pugina N. N. Analiz metodov i matematicheskikh modeley obespecheniya vuza kadrami vysshey kvalifikatsii [Analysis of methods and mathematical models for providing universities with top skilled lecturers]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of management, computer engineering and informatics in technical systems], 2010, issue 9, no. 11 (71), pp. 81–84.
2. Brumsteyn Yu. M., Ivanova M. I. Analiz metodov issledovaniya protsessov, opisyaemykh vzaimosvyazannymi vremennymi ryadami [The analysis of research methods of processes described by interconnected temporal series]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya. Aktualnye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh* [News of Volgograd State Technical University. Series. Actual problems of management, computer engineering and informatics in technical systems], 2011, issue 10, no. 3 (76), pp. 45–51.
3. Kalitkin N. N. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow, Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1996. 523 p.

4. Fot A. P. Sistema podgotovki kadrov vysshey kvalifikatsii v universitete [System of top skilled staff providing in university]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], 2009, no. 1, January, pp. 154–164.

УДК: 351.814.331.3

### **АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ УТОЧНЕННОЙ 4D ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА**

*Новиков Павел Владимирович*, магистрант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., 5, e-mail: novikovpavel90@gmail.com

*Ривкин Андрей Маркович*, магистрант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., 5, e-mail: dr-on@mail.ru

*Арутюнян Давид Ваграмович*, аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации, 125493, Российская Федерация, г. Москва, Кронштадтский бульвар, 20А, корпус 5, e-mail: promtehaero@inbox.ru

В данной статье описывается алгоритм построения траектории полета воздушных средств (ВС) на всех этапах полета с учетом пересечения всех видов зон воздушного пространства, таких как секторы УВД, зоны ограничения, зоны опасных метеопроявлений. Рассмотрены основные этапы 4D траектории воздушного судна, начиная от руления – перемещения ВС под действием тяги собственных двигателей и до пробега – замедляющегося движения самолёта по взлётно-посадочной полосе до полной остановки после приземления. Разработанный алгоритм можно применять при четырёхмерном планировании и организации полета воздушного средства на прямолинейном сегменте его курса, для использования его при расчете времени прибытия воздушного средства в пункт назначения, для более точной оценки количества истраченного топлива для выполнения полета по маршруту, а также при определении конфликтных ситуаций на маршруте полета.

**Ключевые слова:** 4D траектория, руление, разбег, набор высоты, полет на эшелоне, снижение, посадка, пробег, воздушное судно, фазы полета, положение точки

### **CLARIFYING A 4D ALGORITHM COVERING ALL PHASES OF AN AIRCRAFT'S FLIGHT PATH**

*Novikov Pavel V.*, undergraduate student, Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: novikovpavel90@gmail.com

*Rivkin Andrey M.*, undergraduate student, Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: dr-on@mail.ru

*Arutyunyan David V.*, post-graduate student, The Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20 Kronshtadtsky Blvd, A-493, GSP-3, Moscow, 125493, Russian Federation, e-mail: promtehaero@inbox.ru

The article presents a 4D algorithm covering all phases of an aircraft's flight path, including the intersection of air-space areas, air-traffic-control sectors, restricted zones, and zones of dangerous meteorological phenomena. The main stages of the 4D algorithm, the critique relates, would cover the aircraft's trajectory from taxiing-moving under its own power through running-moving on the runway prior to stoppage after final landing. The document suggests that the developed algorithm could be applied to establish a four-stage