

УДК 378.1

А.С. Борзова, В.Г.Ципенко

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ  
ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ  
ДВОЙСТВЕННОСТИ И ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Московский государственный технический  
университет гражданской авиации*

*В статье рассматривается задача, связанная с повышением эффективности системы подготовки кадров в области эксплуатации воздушного транспорта. В качестве концептуальных основ модель-ориентированного подхода к прогнозированию и оптимизации такой системы рассматривается принцип двойственности и многометодности использования моделей. Оптимизационное моделирование представляет собой частичную реализацию принципа двойственности за счет механизмов достижения эффективности системы подготовки кадров: редукции и трансформации, а также создания банка моделей профессиональной деятельности, с одной стороны связанных с характеристикой трудовых функций в профессиональных стандартах, а с другой - отражающих в формализованном виде компоненты образовательных ресурсов, которые направлены на формирование определенных компетенций персонала в сфере эксплуатации воздушного транспорта. В качестве основной формы статистической информации, определяющей изменения в системе подготовки кадров, предлагается использовать временные ряды объемных показателей потребности рынка труда в специалистах с высшим образованием и выпуска из вузов. Указаны подходы по вычислению прогностических оценок с различными показателями качества. После получения результатов прогнозирования на основе экспертной информации предлагается проводить построение оценочной модели и проводить выбор метода, имеющего наибольший приоритет по этой модели.*

**Ключевые слова:** оптимизация, подготовка кадров, воздушный транспорт, моделирование.

При подготовке кадров в области эксплуатации воздушного транспорта можно выделить несколько составляющих. Первая из них связана с теми признаками, которые определяются практической деятельностью: высокий уровень самостоятельности по решению практических задач, использование творческих подходов. Во второй рассматриваются виды технического мышления по множеству технических знаний и методов, это относится в большей мере к знаниям в сфере физики. В третьей составляющей идет связь базовых составляющих технического мышления и общих способностей людей, при решении технических задач [1].

В качестве концептуальных основ модель-ориентированного подхода к прогнозированию и оптимизации системы подготовки кадров в

области эксплуатации воздушного транспорта предлагается рассмотреть ряд принципов.

Рассмотрим принцип двойственности и многометодной использования моделей.

Этот принцип определяет два направления в использовании моделей.

Первое из них связано с применением математических моделей для решения задач прогнозирования и оптимизации. При этом разделим модели на 3 группы:

- прогностические;
- оценочные;
- оптимизационные.

Применительно к проблеме совершенствования системы подготовки кадров прогностические модели позволяют на основе статистической информации определять значения объемных характеристик потребности в персонале авиапредприятий и подготовки специалистов в вузах. Оценочные модели базируются на экспертной информации и устанавливают приоритеты компонентов модернизации системы подготовки кадров. В оптимизационных моделях интегрируется формализованная информация, позволяющая связать оптимизируемые переменные с экстремальными и граничными требованиями к показателям эффективности системы подготовки кадров [2-4].

При этом оптимизационное моделирование представляет собой частичную реализацию принципа двойственности в нескольких аспектах. Первый аспект определяется двумя механизмами достижения эффективности системы подготовки кадров: редукция и трансформация.

Под механизмом редукции будем понимать процесс разделения исследуемых множеств, характеризующих систему подготовки кадров, на два подмножества, одно из которых в большей мере соответствует экстремальным и граничным требованиям к показателям эффективности. Механизм трансформации направлен на формирование такого множества элементов системы подготовки кадров, которые наилучшим образом отображают свойства других множеств, определенных нормативными документами.

Общая структура оптимизационных моделей, отражающих рассматриваемые механизмы, связана с другим аспектом реализации принципа двойственности путем разбиения показателей эффективности системы подготовки кадров на две группы, отвечающих экстремальным и граничным требованиям. Полное множество показателей  $y_g, g = \overline{1, G}$ . К части этих показателей  $g_1 = \overline{1, G_1}$  предъявляются экстремальные требования

$$y_{g_1} \rightarrow \text{extr}, g_1 = \overline{1, G_1}, \quad (1)$$

к остальным – граничные

$$y_{g_2} \leq y_{g_2}^{gp}, g_2 = \overline{1, G_2}, \overline{1, G_1} \cup \overline{1, G_2} = \overline{1, G}. \quad (2)$$

Эти показатели зависят от выбора определенных характеристик реализации механизмов редукции и трансформации, которые формализуются в виде вектора оптимизируемых переменных, измеряемых на непрерывных и дискретных шкалах

$$x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_J),$$

где  $j = \overline{1, J}$  – нумерационное множество оптимизируемых переменных.

Это еще один аспект двойственности двух форм реализации вектора  $x$ :

$x^1 = (x_1^1, \dots, x_j^1, \dots, x_{g_1}^1)$  – вектор непрерывных переменных;

$x^2 = (x_1^2, \dots, x_j^2, \dots, x_{j_2}^2)$  – вектор дискретных переменных в частности булевых

$$x_j^2 = \begin{cases} 1, & j = \overline{1, J_2}, \\ 0 & \end{cases}$$

При этом оптимизационная модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} y_{g_1} &= \Psi_{g_1}(x^1, x^2) \rightarrow \text{extr}, g_1 = \overline{1, G_1}, \\ y_{g_2} &= f_{g_2}(x^1, x^2) \leq y_{g_2}^{gp}, g_2 = \overline{1, G_2}, \\ x_j^{1\text{мин}} &\leq x_j^1 \leq x_j^{1\text{макс}}, j = \overline{1, J_1}, \\ x_j^2 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, J_2}. \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Особое значение для оптимизации системы подготовки кадров являются линейные модели с булевыми переменными

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{J_2} c_j x_j^2 &\rightarrow \text{extr}, \\ \sum_{j=1}^{J_2} a_{g_2 j} x_j^2 &\leq b_{g_2}, g_2 = \overline{1, G_2} \\ x_j^2 &= \begin{cases} 1, & j = \overline{1, J_2}, \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $C_j$  – коэффициенты линейной целевой функции,

$a_{g_2 j}$  – коэффициенты линейной системы ограничений.

Следующий аспект связан с двумя механизмами организации процесса оптимизационного моделирования: рандомизация и сглаживание. Рандомизация заключается в переходе от векторов  $x^1, x^2$  к их вероятностным аналогам. Так вместо координат вектора  $x_j^1, j = \overline{1, J_2}$  в процессе оптимизационного поиска на  $k$ -й итерации  $k = 1, 2, 3 \dots$  рассматриваются случайные реализации  $\tilde{x}_j^1, j = \overline{1, J}$ , отвечающие при заданном виде распределения следующему условию

$$m(\tilde{x}_j) = x_j^k,$$

где  $m(\cdot)$  – обозначение математического ожидания. В случае вектора дискретных переменных и в частности булевых вводится случайные величины  $\tilde{x}_j^2, j = \overline{1, J}$ , имеющие распределение

$$P(\tilde{x}_j^2 = 1) = p_{x_j^2}, P(\tilde{x}_j^2 = 0) = q_{x_j^2}, p_{x_j^2} + q_{x_j^2} = 1. \quad (5)$$

Введение перебора по случайным оптимизируемым переменным  $\tilde{x}_j^2$ , приводит к еще одному аспекту двойственности – дихотомической редукции, выполняемой в автоматическом режиме. Редукция разнообразия множеств, характеризующих систему подготовки кадров, выполняется, если значения вероятности объединения перспективных подмножеств близки к 1, а неперспективных – к 0. В условиях комбинаторной неопределенности выбора перспективных множеств на первом шаге дихотомической редукции принимается равномерное распределение

$$p_{x_j} = 0,5, q_{x_j} = 0,5.$$

Изменение распределения (5) в процессе оптимизационного поиска достигается за счет включения в итерационную процедуру прогностических оценок  $A$  вычисляемых на основе сглаженных преобразований оптимизационной модели в виде зависимости  $F(x_j^2)$ :

$$p_{x_j^2}^{k+1} = p_{x_j^2}^k + A(F(x_j^{2k})). \quad (6)$$

Направленный перебор в соответствии с распределениями (6) приводит к синхронному формированию отношения предпочтения вариантов проектируемой системы подготовки кадров, которые количественно оцениваются вектором вероятностей [5]

$$P = (p_1, \dots, p_l, \dots, p_L),$$

координаты которого отвечают условию

$$\sum_{l=1}^L p_l = 1.$$

Для определения доминирования определенных вариантов по величине вероятности предпочтения  $p_l$  используем функцию со следующими свойствами [6]:

- симметричную относительно координат вектора  $p$ , что означает независимость ее от взаимного расположения  $p_l$  и позволяет произвольно организовывать соответствие вариантов исследуемой системы и нумерационного множества  $l = \overline{1, L}$ ;
- достигающую максимума при равнозначности вариантов с одинаковыми вероятностями предпочтения

$$p_l^1 = \frac{1}{L};$$

- достигающую минимума при доминировании по вероятности предпочтения одного варианта

$$p_v^2 = 1, p_l^2 = 0, \quad l \neq v.$$

В качестве такой функции используем одну из основных информационных характеристик – энтропию [5]

$$H(p) = - \sum_{l=1}^L p_l \lg p_l \quad (7)$$

в том плане, что она характеризует процессы редукции и трансформации в ходе итерационного поиска при переходе от вектора  $p^1$  и энтропии  $H(p^1) = \lg L$  на начальном этапе к вектору  $p^2$  и энтропией  $H(p^2) = 0$  на этапе окончательного определения наиболее перспективного (доминирующего) варианта системы подготовки кадров. В использовании величины (7) важную роль также играет возможность определения значений  $p_l$  на основе значений  $p_{x_j}^2, j = \overline{1, J_2}$ , вычисляемые по алгоритму [5].

Второе направление ориентировано на создание банка моделей профессиональной деятельности, с одной стороны связанных с характеристикой трудовых функций в профессиональных стандартах, а с другой – отражающих в формализованном виде компоненты образовательных ресурсов, которые направлены на формирование определенных компетенций персонала в сфере эксплуатации воздушного транспорта.

Модели первого и второго направлений могут реализовываться различными методами, что дополняет принцип двойственности модель-ориентированного подхода характеристикой многометодности. Многометодность в применении моделей диктует необходимость проведения сравнительного анализа результатов решения проблемно-ориентированных задач.

Рассмотрим принцип экспертно-статистического формирования прогностических и оценочных моделей.

При обосновании первого принципа указано на использование статистической (ретроспективной) информации для построения прогностических моделей. Основной формой статистической информации, определяющей изменения в системе подготовки кадров, являются временные ряды объемных показателей потребности рынка труда в специалистах с высшим образованием и выпуска из вузов:

$$y_g(t_1), y_g(t_2), \dots, y_g(t_k), \quad g = \overline{1, G}, \quad (8)$$

где  $g = \overline{1, G}$  - нумерационное множество показателей;

$t_k$  - моменты времени, в которые зафиксированы значения показателей с интервалом  $\Delta t$ ;

$k = \overline{1, K}$  - нумерационное множество временных периодов.

Задача обработки данных (8) состоит в построении математической модели

$$y_g = f_g(t), \quad (9)$$

позволяющей определить с определенной точностью и вычислительными затратами, и качеством значения  $y_g(t)$  в моменты времени  $(k+1), \dots, (k+K)$ , где  $K$  – период прогнозирования, которые следуют за моментом  $t_k$ . Для построения прогностической модели (9) предлагается использовать ряд методов обработки временных рядов (8), характерных для технических систем [7].

К таким методам следует отнести наиболее распространенные в прогнозировании временных рядов. В качестве прогнозирующего аналитического выражения  $f_g(t)$  обычно используется многочлен следующего вида

$$y_g(t) = f_g(t) = \sum_{h=1}^H A_{gh} \varphi_h(t),$$

где  $\varphi_h(t)$  – базовые выражения, составляющие основу прогнозирующей функции;

$A_{gh}$  – адаптационные коэффициенты;

$h = \overline{1, H}$  – количество базовых выражений, позволяющих осуществлять прогнозирование с определенной точностью.

Разнообразие прогностического моделирования на основе аддитивной свертки базовых временных функций связано с возможностью использования в качестве  $\varphi_h(t)$ :

- полиномов различных степеней;
- ортогональных полиномов Чебышева;
- эмпирических выражений, учитывающих наиболее полно специфику изменения объемных показателей в системе подготовки кадров.

Другим методом прогнозирования изменения показателей является применение элементарных функций:

линейной

$$f_g(t) = a_{0g} + a_{1g}t;$$

квадратичной

$$f_g(t) = a_{0g} + a_{1g}t + a_{2g}t^2;$$

кубической

$$f_g(t) = a_{0g} + a_{1g}t + a_{2g}t^2 + a_{3g}t^3;$$

дробно-рациональной, в частности, дробно-линейной

$$f_g(t) = \frac{a_{0g} + a_{1g}t}{b_{0g} + b_{1g}t}.$$

показательной, в частности, экспоненциальной  
 $f_g(t) = be^{at}$ .

Для обработки информации о временном ряде (8) с целью вычисления коэффициентов  $A_{gh}, a_{0g}, a_{1g}, a_{2g}, a_{3g}, b_{0g}, b_{1g}, b, a$  используется методы наименьших квадратов и экспоненциального сглаживания [8].

Таким образом, многометодность приводит к возможности вычисления прогностических оценок с различными показателями качества, к которым будем относить наиболее существенные.

1. Точность прогнозирования  $\varepsilon$

2.  $\varepsilon_g = y_g^{\text{пр}} - y_g^0$ ,

где  $y_g^{\text{пр}}$  – прогностическая оценка  $g$  – го показателя системы подготовки кадров;

$y_g^0$  – истинная величина  $g$  – го показателя.

3. Быстродействие прогнозирования  $T^{\text{пр}}$ , характеризующее затраты времени на процесс прогнозирования либо отношение времени прогнозирования  $T^{\text{пр}}$  к времени, на которое распространяется прогнозирование  $K\Delta t$ .
4. Стоимость прогнозирования  $Z^{\text{пр}}$ , измеряемая затратами вычислительных ресурсов на реализацию процесса прогнозирования.
5. Информационный показатель качества прогнозирования, который указывает, насколько увеличилась информация о функционировании системы подготовки кадров в результате прогнозирования

$$\delta H = \frac{\sum_{g=1}^G (H_{0g} - H_g^k)}{\sum_{g=1}^G H_{0g}},$$

где  $H_{0g}$  – величина начальной энтропии по  $g$  – му параметру,

$$H_{0g} = - \sum_{g=1}^G p_g^0 \lg p_g^0,$$

$p_g^0$  – вероятность, характеризующая значимость  $g$  – го показателя на начальном этапе прогнозирования

$$\sum_{g=0}^G p_g^0 = 1;$$

$$H_g^k = - \sum_{g=1}^G p_g^k \lg p_g^k,$$

$H_g^k$  – величина энтропии на конечном этапе прогнозирования для

$K$  – го временного периода;

$p_g^K$  – вероятность, характеризующая значимость  $g$  – го показателя для  $K$  – го временного периода

$$\sum_{g=1}^G p_g^K = 1.$$

1. Показатель полноты прогнозирования, который характеризует отношение числа оценок системы подготовки качества, по которым удается на основе статистической информации сформировать данные для прогнозированного временного ряда, к общему числу показателей, определяющих функционирование исследуемой системы.

После получения результатов прогнозирования с применением каждого из этих методов следует выбрать тот результат, который наиболее достоверно с позиций экспертов отражает тенденции изменения объемных показателей в системе подготовки кадров для авиапредприятий, эксплуатирующих воздушный транспорт.

В этом случае на основе экспертной информации строится оценочная модель и выбирается метод, имеющий наибольший приоритет по этой модели. В процессе индивидуального и группового экспертного оценивания определяются приоритеты набора элементов (альтернатив):

$$W_1, \dots, W_l, \dots, W_L, \quad (10)$$

где  $l = \overline{1, L}$  – нумерационное множество рассматриваемых экспертами элементов (альтернатив). Существует целый ряд методов проведения экспертиз, которые разделяются на 3 группы: организации экспертиз, обработки результатов экспертиз, выбора наиболее приоритетного элемента из множества (10) [2].

В качестве метода организации экспертиз группой  $d = \overline{1, D}$  экспертов предлагается использовать открытую дискуссию по оценке показателей для проведения ранжирования, а метода обработки результатов экспертиз – присвоение каждым экспертом однозначного ранга показателю с последующей оценкой согласованности экспертов и ранжирования по средним значениям [10]. В результате имеем целочисленные значения рангов  $r_g, g = \overline{1, G}$ , характеризующие приоритеты показателей  $y_g, g = \overline{1, G}$ .

Для выбора приоритетного варианта из множества (10) рассмотрим адаптивную человеко-машинную процедуру, основанную на указанных выше механизмах рандомизации и сглаживания.

Рандомизация определяется введением следующих дискретных случайных величин и их распределений:



- вместо нумерационного множества  $l = \overline{1, L}$ , вводится дискретная случайная величина  $\tilde{l}$ , принимающая значения  $\overline{1, L}$  с вероятностью  $p_l, l = \overline{1, L}, \sum_{l=1}^L p_l = 1$ ;
- вместо нумерационного множества  $g = \overline{1, G}$  вводится дискретная случайная величина  $\tilde{g}$ , принимающая значения  $\overline{1, G}$  с вероятностью  $p_g, g = \overline{1, G}, \sum_{g=1}^G p_g = 1$ ;
- вместо нумерационного множества  $d = \overline{1, D}$  вводится дискретная случайная величина  $\tilde{d}$ , принимающая значения  $\overline{1, D}$  с вероятностью  $p_d, d = \overline{1, D}, \sum_{d=1}^D p_d = 1$ .

Построение адаптивной процедуры в рандомизированной среде требует задания начальных распределений перечисленных случайных величин. В качестве начального распределения случайной величины  $\tilde{l}$  в отсутствии априорной информации до оценки экспертами по показателям (1)–(2) результатов прогнозирования принимаем равномерное распределение:

$$p_l^1 = \frac{1}{L}, l = \overline{1, L}.$$

Для вычисления начального распределения случайной величины  $\tilde{g}$  используем значения рангов показателей (1.)–(2)  $r_g, g = \overline{1, G}$

$$p_g^1 = \frac{\frac{1}{r_g}}{\sum_{g=1}^G \frac{1}{r_g}}, g = \overline{1, G}.$$

Начальное распределение случайной величины  $\tilde{d}$  свяжем не только со средними значениями рангов  $r_g, g = \overline{1, G}$ , но и рангами  $r_g^d$ , присвоенными  $g$  – му показателю  $d$  – м экспертом:

$$p_d^1 = \frac{\sum_{g=1}^G \frac{1}{(r_g - r_g^d)^2}}{\sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^G (r_g - r_g^d)^2}, d = \overline{1, D}.$$

В результате адаптивного процесса по значениям вероятностей  $p_l^k, l = \overline{1, L}; p_g^k, g = \overline{1, G}; p_d^k, d = \overline{1, D}$  на  $k$  – м шаге необходимо определять новые значения этих вероятностей на  $(k + 1)$  – м шаге с использованием информации, поступающей от экспертов в ходе диалога. Эффективность такого адаптивного процесса определяет сглаженная функция, то есть математическое ожидание множества значений показателей по распределению случайной величины  $\tilde{g}$  на  $k$  – м шаге

$$F_l = \sum_{g=1}^G P_g^k \hat{y}_g(W_l), l = \overline{1, L},$$

где  $\hat{y}_g(W_l)$  – нормированное на интервале  $[0,1]$  значение  $g$  – го показателя для альтернативы  $W_l$ ,

$$\hat{y}_g(W_l) = \frac{y_g(W_l) - \min_{l=\overline{1, L}} y_g(W_l)}{\max_{1=\overline{1, L}} y_g(W) - \min_{l=\overline{1, L}} y_g(W_l)}$$

$\min_{l=\overline{1, L}} y_g(W_l), \max_{1=\overline{1, L}} y_g(W_l)$  – соответственно минимальное и максимальное значение  $g$  – го показателя на нумерационном множестве альтернатив  $l = \overline{1, L}$ ,

$y_g(W)$  – значение  $g$  – го показателя для альтернативы  $W_l$ .

- Путем сравнения вероятностей  $p_g^k$  с величиной  $\xi$ , равномерно распределенной на интервале  $[0,1]$ , определяем значение дискретной случайной величины  $\tilde{d}$  [6].

Если  $p_1^k \leq \xi$ , то  $d = 1$ ;

если  $p_1^k > \xi$ , то определяется  $p_1^k + p_2^k$ ;

если  $p_1^k + p_2^k \leq \xi$ , то  $d = 2$ ;

если  $p_1^k + p_2^k > \xi$ , то определяется  $p_1^k + p_2^k + p_3^k$ .

Сравнение повторяется до определения реализации  $\tilde{d} = \tilde{d}^k$ . В диалоге на  $k$  – м шаге участвует эксперт с номером  $d^k$ .

- Путем аналогичного сравнения вероятностей  $p_l^k$  с величиной  $\xi$  определяется значение дискретной случайной величины  $\tilde{l} = l^k$ .

Далее для оценивания эксперту  $d^k$  предъявляется альтернатива  $W_{l^k}$ .

- Организуется следующий опрос:

«Какой из показателей  $y_g(W_{l^k})$  не удовлетворяет эксперта в наибольшей степени?» Получаем ответ: «Показатель  $g^k$ ». Продолжается опрос: «В какой степени необходимо изменить значение показателей  $y_g(W_{l^k}), g = \overline{1, G}$  в градациях лингвистической переменной «необходимо изменить» в сторону их желаемого улучшения?» Используются градации: сильно, существенно, несколько, немного, мало [11].

- Формируются количественные оценки нумерационного множества  $g_1^k, \dots, g_s^k$ , в которое входят номера показателей из нумерационного множества  $g = \overline{1, G}$ , для которых лингвистическая переменная принимает значение  $\langle \text{сильно} \rangle$ :

$$\theta_g^k = \begin{cases} 1, & \text{если } g \in g_1^k, \dots, g_s^k, \\ 0, & \text{в противном случае, } g = \overline{1, G}; \end{cases}$$

$$\mu^k = \frac{\sum_{g=g_1^k}^{g_s^k} \mu_g^k}{S},$$

где  $\mu_g^k$  – величина функция принадлежности, вычисленная для  $g$  – го показателя по значениям лингвистических переменных [11];  
 $\mu^k$  – средняя величина функции принадлежности на нумерационном множестве  $g_1^k, \dots, g_s^k$ .

6. Определяется количество показателей  $T_{gl}^k$ , для которых лингвистическая переменная принимает значение < мало > в случае альтернативы  $W_l, l = \overline{1, L}$ .
7. Информация, полученная на предыдущих этапах диалога с экспертом, позволяет определить распределение случайной величины  $\tilde{g}$  для  $(k + 1)$  – й итерации

$$p_g^{k+1} = \frac{p_g^k \frac{1}{S} \chi(\theta_g^k) \varepsilon^{k+1}}{1 + \varepsilon^{k+1}}, g = \overline{1, G},$$

где  $\varepsilon^{k+1}$  – величина шага при расчете распределения случайной величины  $\tilde{g}$  для  $(k + 1)$  – й итерации

$$\varepsilon^{k+1} = \varepsilon^k \exp \left[ \frac{1}{S} \sum_{g=g_1^k}^{g_s^k} \text{sign}(\theta_g^{k-1} \cdot \theta_g^k) \right],$$

$$\chi(a) = \begin{cases} 1, & \text{если } a > 0, \\ 0, & \text{если } a < 0. \end{cases}$$

8. Оценивается дискретной величиной значимость альтернатив

$$\theta_l^k = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{g=1}^G p_g^k \hat{y}_g^k(w_l) = \max_{l \in \overline{1, L}} \sum_{g=1}^G p_g^k \hat{y}_g^k(W_l), \\ -1, & \text{в противном случае,} \\ & l = \overline{1, L}. \end{cases}$$

9. Полученная информация позволяет определить распределение случайной величины  $\tilde{l}$  для  $(k + 1)$  – й итерации

$$p_l^{k+1} = \frac{p_l^k \chi(\theta_l^k) \gamma_l^{k+1}}{1 + \gamma_l^{k+1}}, l = \overline{1, L},$$

где  $\gamma_l^{k+1}$  – величина шага при расчете распределения случайной величины  $\tilde{l}$  для  $(k + 1)$  – й итерации

$$\gamma_l^{k+1} = \gamma_l^k \exp[\text{sign}(\theta_l^{k-1} \cdot \theta_l^k)].$$

10. Сохраняем в течение диалогового цикла постоянным распределение случайной величиной  $\tilde{d}$

$$p_d^k = p_d^1, d = \overline{1, D}.$$

11. Осуществляем выбор наилучшего варианта прогнозирования из множества (10):

а) определяется нумерационное множество  $l_1 = \overline{1, L_1} \in \overline{1, L}$ , соответствующие которому элементы множества (10) отвечают условию

$$\max_l T_l^k;$$

б) определяется нумерационное множество  $l_2 = \overline{1, L_2} \in \overline{1, L}$ , соответствующие которому элементы множества (10) отвечают условию

$$\max_l \sum_{g=1}^G p_g^k y_g^k(W_l);$$

в) формируется нумерационное множество как пересечение множеств  $l_1$  и  $l_2$

$$l_3 = \overline{1, L_3} = l_1 \cap l_2 \in \overline{1, L};$$

г) в качестве наилучшего элемента  $W_l$  в соответствие с экспертными оценками выбирается элемент из множества  $l_3 = \overline{1, L_3}$ , отвечающий условию

$$\max_{l_3} \sum_{g=1}^G p_g^k y_g^k(W_l).$$

Вывод. Эффективная комбинация методов моделирования на основе статистической и экспертной информации обеспечивает реализацию рассматриваемого принципа двойственности при подготовке кадров в области эксплуатации воздушного транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Львович И.Я. О проблемах подготовки инженерных кадров / И.Я.Львович, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 5-2. С. 157-160.
2. Свиридов В.И. Технологии, применяемые при подготовке современных инженеров / В.И.Свиридов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 151-152.
3. Павлова М.Ю. Вопросы адаптации выпускников вузов / М.Ю.Павлова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 234-237.
4. Павлова М.Ю. Об использовании научной составляющей при формировании профессиональных качеств инженера / М.Ю.Павлова //

- Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 144-145.
5. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения/Я.Е.Львович // Воронеж: Кварта, 2006, 415 с.
  6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике/К.Шеннон; пер.. с англ.; под ред.Р.Л.Добрашина и О.Б.Лупанова. // М: Иностранная литература, 1963, 829 с.
  7. Гаскаров Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры/Д.В.Гаскаров, Т.А.Голинкевич, А.В.Мозгалевский. // М.: Сов. радио, 1974. 224 с.
  8. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление/Дж.Бокс, Г.Дженкинс. // Вып.1. М: Мир, 1974, 604 с.
  9. Львович Я.Е. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде/Я.Е.Львович, И.Я.Львович. // Воронеж: ИПЦ "Научная книга", 2010. - 140 с.
  10. Львович И.Я. Информационные технологии моделирования и оптимизации: Краткая теория и приложения/И.Я.Львович, Я.Е.Львович, В.Н.Фролов. // Воронеж: ИПЦ "Научная книга", 2016. 444 с.
  11. Мельцер М.И. Диалоговое управление производством/М.И.Мельцер. // М.: Финансы и статистика, 1983, 240 с.

A. S. Borzova, V. G. Tsipenko

**THE PREDICTION AND OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF  
TRAINING IN THE FIELD OF OPERATION OF AIR TRANSPORT ON  
THE BASIS OF THE PRINCIPLES OF DUALITY AND EXPERT  
STATISTICAL MODELING**

*Moscow state technical university of civil aviation*

*The paper discusses the challenge of improving the efficiency of the training system in the field of air transport. As the conceptual foundations of model-oriented approach to forecasting and optimization, this system is considered the principle of duality and multistep use of models. Optimization modeling is a partial implementation of the principle of duality due to the mechanisms of achieving efficiency of the training system: the reduction and transformation and the creation of the Bank's professional activities on the one hand associated with the characterization of work functions in the professional standards, and with another - reflects the formalized components of educational resources that are aimed at the formation of certain competences of personnel in the field of operation of air transport. As the main form of statistical information defining changes in the training system, it is proposed to use a time series of volume indices of the needs of the labor market in specialists with higher education and graduating from universities. Specified approaches for the calculation of forecasting evaluations with different quality. After receiving the results of forecasting on the basis of expert information are invited to build valuation models and conduct selection method that has the highest priority for this model.*

**Keywords:** optimization, training, air transport, modeling.

## REFERENCES

12. L'vovich I.Ya. O problemakh podgotovki inzhenernykh kadrov / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. Vol. 10. No. 5-2. pp. 157-160.
13. Sviridov V.I. Tekhnologii, primenyaemye pri podgotovke sovremennykh inzhenerov / V.I.Sviridov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 151-152.
14. Pavlova M.Yu. Voprosy adaptatsii vypusnikov vuzov / M.Yu.Pavlova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. No. 10. pp. 234-237.
15. Pavlova M.Yu. Ob ispol'zovanii nauchnoy sostavlyayushchey pri formirovaniy professional'nykh kachestv inzhenera / M.Yu.Pavlova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 144-145.
16. L'vovich Ya.E. Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya/Ya.E.L'vovich // Voronezh: Kvarta, 2006, p.415.
17. Shennon K. Raboty po teorii informatsii i kibernetike/K.Shennon; per. s angl.; pod red.R.L.Dobrashina i O.B.Lupanova. // M: Inostrannaya literatura, 1963, p.829.
18. Gaskarov D.V. Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya i nadezhnosti radioelektronnoy apparatury/D.V.Gaskarov, T.A.Golinkevich, A.V.Mozgalevskiy. // M.: Sov. radio, 1974. p. 224.
19. Boks Dzh. Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie/Dzh.Boks, G.Dzhenkins. // Vyp.1. M: Mir, 1974, p. 604.
20. L'vovich Ya.E. Prinyatie resheniy v ekspertno-virtual'noy srede/Ya.E.L'vovich, I.Ya.L'vovich. // Voronezh: IPTs "Nauchnaya kniga", 2010. - p. 140.
21. L'vovich I.Ya. Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i optimizatsii: Kratkaya teoriya i prilozheniya/I.Ya.L'vovich, Ya.E.L'vovich, V.N.Frolov. // Voronezh: IPTs "Nauchnaya kniga", 2016. p. 444.
22. Mel'tser M.I. Dialogovoe upravlenie proizvodstvom/M.I.Mel'tser. // M.: Finansy i statistika, 1983, p.240.