

УДК 681.3

А.С. Борзова

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ СОДЕРЖАНИЯ ОБУЧЕНИЯ В
ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА НА
ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА С ОРИЕНТАЦИЕЙ
НА МОДЕЛЬ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Московский государственный технический
университет гражданской авиации", Москва, Россия*

В настоящее время возрастают требования к качеству подготовки специалистов, что определяет необходимость перестройки целей и содержания обучения. Сложности построения оптимальной последовательности обучения приводят к необходимости формирования модели содержания обучения, представляющей собой непростую структуру, включающую компоненты системы, а также двухсторонние и многосторонние связи между ними. Содержание обучения представляется в виде иерархической системы, базовой задачей построения которой является оценка высших уровней, с учетом взаимодействия различных уровней иерархии, а не непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях. Каждый элемент рассматриваемого дерева целей характеризуется коэффициентом относительной важности, определяющим долю вклада этого элемента в достижение общей для всей системы цели, которые определяются с использованием одного из экспертных методов – методом парных сравнений. На основе построенного дерева целей, формирующего содержание обучения, разрабатываются основные компоненты учебного процесса. Представленная последовательность определяет выполнение всех наиболее важных требований к профилю подготовки специалиста в целом, а также подготовку необходимой базы для изучения любой дисциплины. Формирование оптимальной последовательности изучения компонент образовательных программ осуществляется на основании реализации алгоритма оптимизационного выбора.

Ключевые слова: содержание обучения, учебные элементы, дерево целей, матрица логических связей, коэффициенты относительной важности.

ВВЕДЕНИЕ

Основным принципом организации подготовки кадров в области эксплуатации воздушного транспорта является учебный процесс, который необходимо сформировать с учетом поэтапного перехода от учебно-познавательной деятельности к профессиональной. Системное рассмотрение вопроса подготовки специалистов необходимо в условиях возрастающих требований к качеству подготовки специалистов, а также перестройки целей и содержания обучения.

**ФОРМИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ СОДЕРЖАНИЯ
ОБУЧЕНИЯ**

Сложности построения оптимальной последовательности обучения приводят к необходимости формирования модели содержания обучения,

представляющей собой непростую структуру, включающую компоненты системы, а также двухсторонние и многосторонние связи между ними.

Содержание обучения представляется в виде иерархической системы, базовой задачей построения которой является оценка высших уровней, с учетом взаимодействия различных уровней иерархии, а не непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях. Оцениваемые объекты рассматриваются как элементы одного уровня иерархической структуры, называемой деревом целей (рисунок 1).

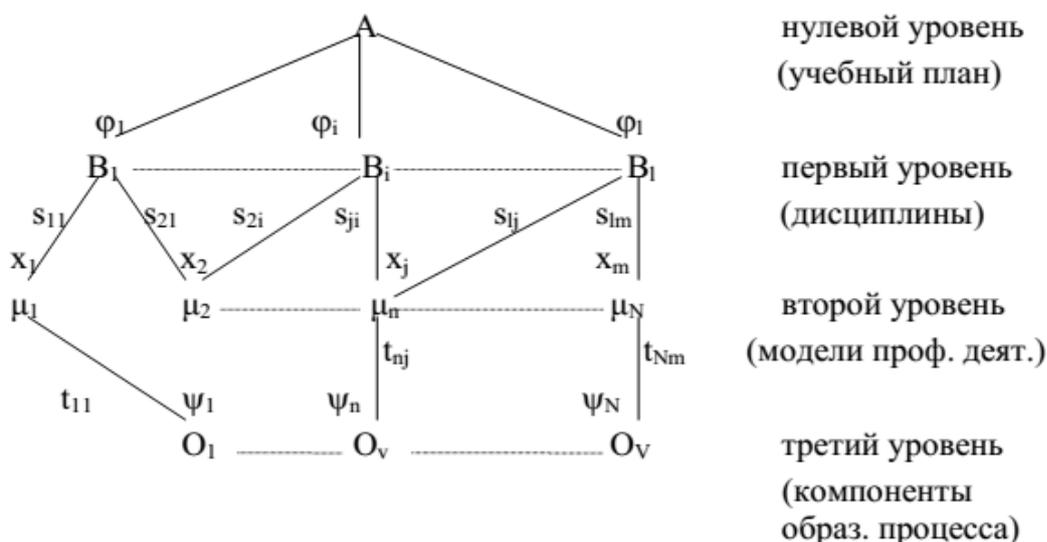


Рисунок - 1. Дерево целей формирования содержания обучения по направлениям и специальностям в области эксплуатации воздушного транспорта

В качестве нулевого уровня будем рассматривать учебный план по направлениям и специальностям в области эксплуатации воздушного транспорта, первого уровня – учебные дисциплины. Отличительной особенностью применения модель-ориентированного подхода является описание элементов третьего уровня на основе редуцированного множества моделей профессиональной деятельности $\mu_n, n = \overline{1, N}$ [1], а четвертого – моделей, трансформированных в компоненты образовательных программ $O_v, v = \overline{1, V}$ [2], образующая фонды образовательных ресурсов.

Каждый элемент рассматриваемого дерева целей характеризуется коэффициентом относительной важности, определяющим долю вклада этого элемента в достижение общей для всей системы цели. Коэффициенты относительной важности целей, которые принадлежат одному уровню дерева целей, являются относительными весами элементов этого уровня по качественному признаку важности или значимости. Коэффициент относительной важности основной цели, которой является

подготовка специалистов, $A=1$. Учитывая, что достижение общей цели определяется достижением целей первого уровня основными подсистемами этой системы, то первоначально осуществляется определение значений коэффициентов относительной важности элементов первого уровня (дисциплины) $\varphi_1, \dots, \varphi_l$, определяемые экспертами, при этом должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^l \varphi_i = 1.$$

На следующем шаге определяются значения относительных весов связей элементов второго уровня с элементами 1-го уровня S_{ji} , при этом

$$\sum_{i=1}^m S_{ji} = 1. \text{ Требования объединяются в группы или кластеры с целью}$$

получения приоритетов всех элементов посредством группирования, что представляется более эффективным, чем обработка всех элементов совместно. Первоначально требования группируются с учетом соответствия видам профессиональной деятельности, далее каждом кластере проводится ранжирование по важности относительно элементов предыдущего уровня.

На следующем этапе строится матрица смежности

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, m},$$

которая устанавливает логические связи между требованиями относительно вида деятельности специалистов

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i \text{ более предпочтителен чем } a_j \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Далее эксперты заполняют матрицу, используя метод парных сравнений. С учетом ее большой размерности, первоначально выделяются те требования, важность которых возможно однозначно определить, что позволяет снизить число выполняемых операций.

Для каждой пары объектов i, j оценивается отношение

$$a_{ij} = \frac{s_i}{s_j}, \quad (2)$$

где s_i - вес объекта i и по матрице A . С учетом нормировки $s_1 + \dots + s_m = 1$ определяется собственный вектор матрицы A , который после нормализации - вектор приоритетов $S = (s_1, \dots, s_m)$.

Определение собственного вектора осуществляется с использованием утверждения, что собственный вектор, соответствующий

λ_{\max} , представляет собой нормализованные суммы элементов строк предельной матрицы в точности k -й степени A^k матрицы A .

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k \cdot e}{\|A^k\|} = c \cdot s, \quad \|A^k\| = e^T \cdot A \cdot e \quad (3)$$

где c - постоянная, $e = (1, \dots, 1)^T$, s - собственный вектор, соответствующий λ_{\max} , а λ_{\max} является максимальным собственным значением, показывающим оценку согласованности, которая отражает пропорциональность предпочтений.

Процедура вычисления заканчивается, когда разность между этими суммами в двух последовательных вычислениях становится меньше заранее заданной величины.

На следующем шаге вычисляются групповые оценки коэффициентов относительной важности требований с учетом того, что оценивание производится коллективом экспертов

$$s_{ij} = \left(\frac{1}{h} \right) s_{ij}, \quad (4)$$

где h - число экспертов.

Далее определяются коэффициенты относительной важности элементов 2-го уровня

$$x_j = \sum_{i=1}^l \varphi_i * s_{ji}, \quad (5)$$

при условии $\sum_{j=1}^m x_j = 1$.

На следующем этапе определяются относительные веса связей элементов 3-го уровня с элементами 2-го уровня t_{kj} при $\sum_{k=1}^n t_{kj} = 1$.

Далее осуществляется группирование в кластеры элементов следующего уровня с использованием метода парных сравнений, реализация которого позволяет выявить как более предпочтительный элемент в каждой паре, но и показать степень предпочтительности объектов.

Результат реализации парных сравнений n объектов интерпретируется в виде ориентированного графа, который содержит n вершин, каждая из которых соответствует определенному объекту. При этом, если объект a_k предпочтительнее объекта a_r по рассматриваемому признаку, то в рассматриваемом графе имеется дуга, направленная из вершины a_k в вершину a_r . Построенный граф не содержит петель и в этом случае каждая пара вершин соединена одной и только одной дугой.

Выбор по сложному качественному признаку осуществляется как выбор по совокупности нескольких более простых признаков. При сравнении одной пары объектов, эксперт определяет решающим один частный признак, для другой пары объектов - более важным другой частный признак, что может привести к противоречивости суждений.

Результаты сравнения всех пар объектов представляются в виде матрицы связи $A = \|a_{ru}\|$.

В случае если предпочтения эксперта последовательны и граф не содержит контуров, то в качестве весов объектов принимаются суммы элементов соответствующих строк матрицы A . Относительные веса объектов

$$t_u |_{u=kj} = \frac{\sum_{r=1}^P a_{ru}}{\sum_{r=1}^P \sum_{k=1}^P a_{ru}}. \quad (6)$$

С учетом, что оценивание производится группой экспертов, то совместная оценка относительных весов объектов определяется как среднее арифметическое оценок экспертов:

$$t_u = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H t_{uh}. \quad (7)$$

Далее, с учетом коэффициентов относительной важности элементов 2-го уровня (моделей профессиональной деятельности), определяются коэффициенты относительной важности элементов 3-го уровня (компоненты образовательного процесса)

$$\Psi_k = \sum_{j=1}^m x_j * t_{kj}, \quad (8)$$

$$\text{при } \sum_{k=1}^n \Psi_k = 1.$$

Далее, на основе построенного дерева целей, формирующего содержание обучения, разрабатываются основные компоненты учебного процесса.

Процесс формирования верхних уровней дерева целей содержания обучения (Рисунок 2) включает 3 этапа:

1) На основе образовательных стандартов нового поколения (ФГОС 3++) [3] определяется содержание и объем учебных дисциплин.

Здесь последовательно определяются требования к общенаучным и общеинженерным дисциплинам, которые определяют группы основных вопросов для изучения, далее формируются сами дисциплины.

Представленная последовательность определяет выполнение всех наиболее важных требований к профилю подготовки специалиста в целом, а также подготовку необходимой базы для изучения любой дисциплины.



Рисунок - 2. Структурная схема разработки учебного плана и программ

Далее устанавливаются общие взаимосвязи между дисциплинами учебного плана, т.е. какие курсы необходимо согласовать по содержанию, а также методическому построению и времени изучения.

2) Формирование содержания и методического обеспечения каждой дисциплины и определение ее положения в учебном плане.

Далее строится граф учебной дисциплины, который отражает ее взаимосвязи с другими курсами по темам и способствует объективной оценке роли и места данной дисциплины в общей структуре подготовки.

3) Формирование и оптимизация учебного плана.

На этом этапе основой для решения задачи формирования оптимального учебного плана является ориентированный граф учебного процесса, вершины которого соответствуют элементам учебного плана, а дуги - связям между ними. Интенсивности этих связей q_{st} определяются экспертами при заполнении соответствующей матрицы связи. Решаемая задача состоит в разбиении графа учебного процесса на слои с учетом условия, когда вершины одного слоя не должны быть связаны друг с другом ($q_{st}=0$). Число слоев в этом случае должно быть равно объему соответствующего семестра в элементах. Учитывая, что матрица связи достаточно велика, то ее следует разбить на подматрицы в соответствии с разделами учебного плана. В этом случае необходимо выбрать правильное упорядочение элементов учебного плана при составлении матрицы связи, когда первоначально перечисляются все элементы одного раздела, а далее элементы следующего раздела и т.д. При этом целесообразно попытаться элементы каждого раздела упорядочить в последовательности, в которой они должны изучаться, - насколько это возможно на этапе составления матрицы связи.

Также устанавливаются общие взаимосвязи, заключающиеся в определении - какие дисциплины необходимо в дальнейшем согласовать между собой как по содержанию, так и по последовательности изучения (строится матрица). Каждой дисциплине в матрице закрепляется определенные столбец и строка, номер которой соответствует номеру курса по устанавливаемому списку. Указанная единица на пересечении строки и столбца обозначает, что дисциплина с n -го столбца должна основываться на курсе с n -ой строки. В этом случае в каждом столбце отображаются все дисциплины, формируемая информация в которых должна использоваться при изучении курса, соответствующего столбцу.

Представление в матрице в обобщенном виде необходимости формирования информации другими курсами в интересах определенной дисциплины, а также предполагаемых потребителей информации, которая формируется в рассматриваемом курсе, дает возможность уже на первом

этапе планировать разделение всех дисциплин на группы, которые соответствуют определенной последовательности их изучения.

Объединение дисциплин в группы осуществляется с использованием метода урезания матрицы, заключающегося в выявлении нулевых столбцов, соответствующих дисциплинам, не требующим для начала изучения никакой дополнительной информации из других курсов, изучение которых может осуществляться с начала образовательного обучения. Далее путем вычеркивания строк, соответствующих дисциплинам первой группы, производится урезание первоначальной матрицы. В урезанной матрице опять определяются нулевые столбцы, а также дисциплины, относящиеся ко второй группе и т.д.

Подматрицы, которые соответствуют разделам учебного плана, располагаются вдоль главной диагонали матрицы (рисунок 3).

После этапа формирования матрицы связи элементов учебного процесса производится разбиение графа на слои. В этом случае множество вершин разбивается на непересекающееся подмножество, которое упорядочивается так, что если вершина принадлежит слою с номером n и является началом некоторой дуги графа, то конечная вершина этой дуги принадлежит слою с номером больше n . В этом случае количество слоев должно соответствовать числу семестров. В итоге сформировано столько множеств вершин, сколько предусмотрено семестров, вместе с тем, количество элементов в каждом из этих множеств не совпадает в общем случае с заданным объемом семестровой нагрузки. Данная задача заключается в таком перераспределении элементов между этими множествами, которое позволит обеспечить требуемую загрузку семестров.

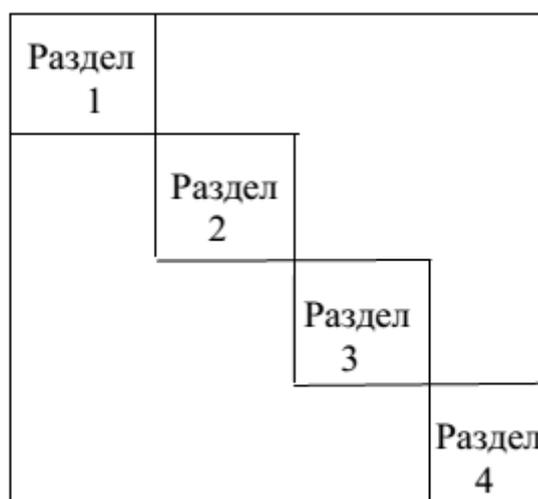


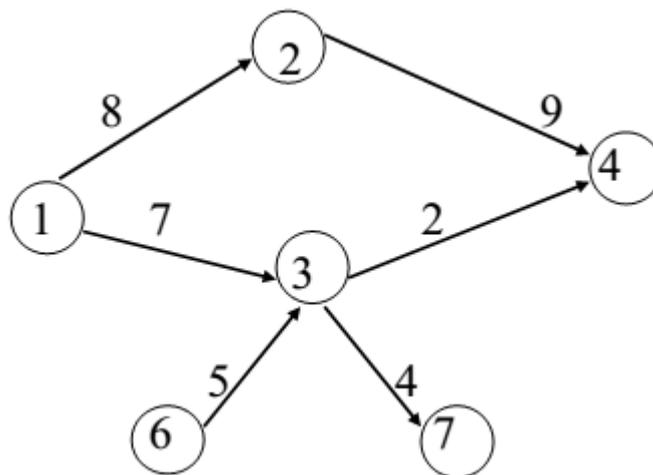
Рисунок - 3. Расположение подматриц матрицы связи

Главными являются требования последовательности, логичности обучения, предполагающие, что изучение текущего материала опирается на ранее изученный. Отсутствие последовательности в обучении приводит к снижению его качества и произвольных затрат учебного времени. Близкие, а иногда и почти одинаковые вопросы нередко встречаются в разных курсах; каждый такой вопрос должен быть один раз рассмотрен основательно в курсе, который изучался раньше других, а затем лишь напоминаться в других курсах.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ КОМПОНЕНТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Компоненты образовательных программ O_n , $n = \overline{1, N}$, сформированные на основе моделей профессиональной деятельности рассмотрим в качестве учебных единиц, которые необходимо расположить в оптимальной последовательности с учетом взаимодействий с нулевым и первым уровнем дерева целей содержания обучения по направлениям и специальностям в области эксплуатации воздушного транспорта.

Учебные элементы, а также их логические взаимосвязи целесообразно представить структурой в виде графа логических связей и соответствующих матриц учебных элементов.



Матрица логических связей n -учебных элементов $V=(b_{ij})$ определяет число установленных логических взаимосвязей b_{ij} - между i и j учебными элементами ($i, j = \overline{1, n}$). Последовательность изучения учебных элементов во времени периода обучения необходимо представить в виде последовательности $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n)$, где i_k - номер учебной единицы, занимающей в последовательности π k -ое слева место ($k = \overline{1, n}$).

Алгоритм нахождения оптимальной последовательности π включает в себя:

1. Формирование матрицы логических связей учебных элементов

$$B=(b_{ij})\dots, \quad (9)$$

где b_{ij} - число установленных логических связей, направленных из базисного учебного элемента - i , в изучаемый учебный элемент - j .

2. Определение объемов времени, отводимого на изучение учебных элементов.

Объемы учебных элементов задаются вектором объемов - T .

$$T=(t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_n)\dots, \quad (10)$$

где t_k - объем в часах учебного элемента - k .

3. Определение потенциальных чисел учебных элементов K_i , т.е. вершин графа.

$$K_i = \sum_{l=1}^n b_{il} - \sum_{p=1}^n b_{pi}, \quad (11)$$

где $(i = \overline{1, n})$.

4. Функция $F(\pi)$ принимает следующий вид

$$F(\pi) = \sum_{i=1}^n (k_1 + k_2 + \dots + k_i)t_i\dots \quad (12)$$

Функция $F(\pi)$ – определяет суммарное число разрывов логических связей между всеми учебными элементами специальности (направления) подготовки, определяемые за весь период обучения, с учетом периода изучения каждого учебного элемента, а также с учетом отношений предшествования по логическим связям.

Последовательность π , на которой достигается минимальное значение $F(\pi)$, определяется следующим образом.

5. Составление матрицы $A=(a_{ij})$. Каждый элемент определяется правилом:

$$a_{ij}=\overline{K_i} * t_j - K_j * t_i\dots, \quad (13)$$

где K_i из (11), t_i из (10), $i = 1, n$.

Минимальное значение функции $F(\pi)$ и минимальное значение функции $S(\pi)$ достигается на одной и той же последовательности π

$$S(\pi) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \dots \quad (14)$$

Выражение (11) определяет сумму наддиагональных элементов матрицы A .

В этом случае, номер вершины графа, отождествляется с номером места в последовательности π или с порядковым номером строки и столбца в искомой матрице A .

6. По логическим связям между всеми парами вершин графа логических связей учебных элементов определение отношения предшествования, которые определяются, используя понятия прямого и обратного транзитивного замыкания. Прямое транзитивное замыкание \hat{A}_j вершины j представляет собой множество вершин, в которые можно прийти по некоторому пути из вершины j . Обратным транзитивным замыканием \hat{A}_j^- вершины j , является множество вершин графа, из которых существуют пути в вершину j .

Выражение C_j

$$C_j = \hat{\Gamma}_j \cup \hat{\Gamma}_j^-, \dots \quad (15)$$

представляет собой множество вершин графа, с которыми вершина j - связана отношениями порядка предшествования по любому пути. Пусть множество вершин графа есть E .

В этом случае выражение

$$E \setminus (\hat{\Gamma}_j \cup j), \dots \quad (16)$$

представляет собой множество учебных элементов, с которыми учебная единица j не связана по исходящим логическим связям, как непосредственно, так и через другие учебные элементы.

Выражение

$$E \setminus (\hat{\Gamma}_j^- \cup j), \dots \quad (17)$$

представляет собой множество учебных элементов, с которыми учебный элемент j не связан по входящим логическим связям, как непосредственно, так и через другие учебные элементы.

Выражение

$$D_j = [E \setminus (\hat{\Gamma}_j \cup j)] \cap [E \setminus (\hat{\Gamma}_j^- \cup j)] = E \setminus (\hat{\Gamma}_j \cup \hat{\Gamma}_j^- \cup j), \dots \quad (18)$$

представляет собой множество тех учебных элементов, с которыми учебный элемент j не связан логическими связями за весь период обучения.

Множество D_j позволяет увидеть, с какими учебными элементами в образовательный процесс может быть, по времени, переставлен учебный элемент j без нарушения логических связей. Данное свойство используется при поиске оптимальной последовательности π для функции $F(\pi)$.

Выражение (18) характеризует разобщенность связей рассматриваемого учебного элемента с другими. При суммировании значения числа элементов D_j по всем n учебным элементам получается

показатель разобщенности всех учебных элементов по логическим связям за весь период обучения по специальности (направлению).
Полная разобщенность n учебных элементов характеризуется числом $n(n-1)$.

Таким образом, вводится коэффициент заполнения матрицы логических связей учебных элементов специальности (направления) - K_0 .

$$K_0 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n |D_j|}{n(n-1)}, \dots \quad (19)$$

где $|D_j|$ - число элементов множества D_j .

Коэффициент K_0 характеризует структурную разобщенность всех учебных элементов по установленным логическим связям. При условии, что $K_0=0$, все учебные элементы изучаются независимо друг от друга, т.е. полностью не связаны. Если $K_0=1$, то в этом случае ни один учебный элемент нельзя переставить с другими учебными элементами без нарушения логических связей. Это показывает полную однозначную упорядоченность учебных элементов, которая дает единственную и оптимальную последовательность их изучения.

7. С учетом выражения (15), определяются все пары вершин графа логических связей учебных элементов, которые связаны отношением предшествования " \rightarrow ", как непосредственно, так и через другие вершины графа.

Элементы a_{ij} матрицы A , соответствующие всем парам вершин графа, располагаются над главной диагональю матрицы A и суммарный вклад от этих элементов в значение выражения (14) будет постоянен при всех допустимых перестановках строк и столбцов матрицы A (14) или различны допустимых последовательностях π . Таким образом, оптимизация выражения (14) может быть достигнута за счет элементов матрицы A (13), которым соответствуют пары вершин графа логических связей учебных элементов, не связанные отношениями предшествования по логическим связям как непосредственно, так и через другие учебные элементы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, модернизационный процесс по реструктуризации системы подготовки кадров в области эксплуатации воздушного транспорта дополняется оптимизационным выбором компонентов содержания обучения с ориентацией на модель-ориентированный подход и образовательные стандарты нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борзова А.С. Концептуальные основы модель-ориентированного подхода к прогнозированию и оптимизации системы подготовки кадров в области эксплуатации воздушного транспорта / А.С. Борзова // Экономика и менеджмент систем управления, № 2.1 (24), 2017. С. 188-194.
2. Борзова А.С. Многоальтернативная оптимизация при формировании образовательных ресурсов, ориентированных на модели профессиональной деятельности / А.С. Борзова, В.Г. Ципенко // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. № 1 (16), 2017.
3. Чинючин Ю.М. Инновационные компоненты модернизации обучения в вузах России на базе образовательных стандартов нового поколения / Ю.М. Чинючин, Б.П. Елисеев, А.С. Борзова // Научный вестник МГТУ ГА, № 219, 2015. С. 5-11.

A.S. Borzova

OPTIMIZATION OF TRAINING COMPONENTS IN THE FIELD OF OPERATION OF AIR TRANSPORT ON THE BASIS OF EXPERT ANALYSIS WITH ORIENTATION ON THE MODEL-ORIENTED APPROACH

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow State Technical University of Civil Aviation", Moscow, Russia

At present, the requirements to the quality of training of specialists are increasing, which determines the need to restructure the goals and content of training. The difficulties of constructing the optimal sequence of training lead to the need for a model of the content of training, which is a complex structure that includes the components of the system, as well as bilateral and multilateral ties between them. The content of the training is presented in the form of a hierarchical system, the basic task of which is to evaluate higher levels, taking into account the interaction of different levels of the hierarchy, and not directly dependent on the elements at these levels. Each element of the target tree under consideration is characterized by a coefficient of relative importance that determines the proportion of the contribution of this element to the achievement of a goal common to the whole system, which are determined using one of the expert methods, the paired comparison method. Based on the constructed goal tree, which forms the content of training, the main components of the learning process are developed. The sequence presented determines the fulfillment of all the most important requirements to the profile of training the specialist as a whole, as well as the preparation of the necessary base for studying any discipline. Formation of the optimal sequence of studying the components of educational programs is carried out on the basis of the implementation of the algorithm of optimization choice.

Keywords: content of training, learning elements, goal tree, matrix of logical connections, coefficients of relative importance

REFERENCES

1. Borzova A.S. Conceptual foundations of the model-oriented approach to forecasting and optimizing the training system in the field of air transport operation / A.S. Borzova // Economics and management of control systems, No. 2.1 (24), 2017. pp. 188-194.
2. Borzova A.S. Multi-alternative optimization in the formation of educational resources, focused on the model of professional activity / A.S. Borzova, V.G. Tsipenko // Modeling, optimization and information technologies. No. 1 (16), 2017.
3. Chinjuchin Yu.M. Innovative components of modernization of education in Russian universities on the basis of educational standards of a new generation / Yu.M. Chinjuchin, B.P. Eliseev, A.S. Borzova // Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University, No. 219, 2015. pp. 5-11.