УДК 378.141

К ВОПРОСУ ПЛАНИРОВАНИЯ ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ СТРУКТУР

Вилков Валерий Борисович
кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры общенаучных и общетехнических дисциплин
«Военная академия материально-технического обеспечения
им. генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации
г. Санкт-Петербург
amirusha@rambler.ru

Черных Андрей Климентьевич
доктор технических наук, доцент
профессор кафедры информатики и математики
Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии
г. Санкт-Петербург
nataliachernykh@mail.ru

Курилов Алексей Владиславович
начальник кафедры обеспечения служебно-боевой деятельности
войск национальной гвардии Российской Федерации
Санкт-Петербургский военный институт войск национальной гвардии
г. Санкт-Петербург
AK1225@rambler.ru

Аннотация. В статье предложено решение задачи о выборе оптимального плана обучения курсантов образовательных организаций высшего образования силовых структур. Решение базируется на методах линейного программирования, теории графов, теории нечетких множеств и нечеткой логики. Приведён содержательный пример, который иллюстрирует представленные теоретические положения. Предложено естественное обобщение рассмотренной задачи.

Ключевые слова: силовые структуры, задача обучения курсантов, оптимальный план решения задачи, нечёткое решение, нечёткие множества, нечёткая логика.

TO THE QUESTION OF PLANNING OF LEARNING CADETS OF EDUCATIONAL ORGANIZATIONS OF HIGHER EDUCATION OF POWER STRUCTURES

Vilkov Valery Borisovich
candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
associate professor of the department of general scientific and general technical disciplines
Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulyov
Saint-Petersburg
amirusha@rambler.ru

Chernykh Andrey Klimentevich
doctor of technical sciences, associate professor
professor of the department of informatics and mathematics
Saint-Petersburg military Institute of National Guard Troops
Saint-Petersburg
nataliachernykh@mail.ru

Kurilov Alexey Vladislavovich
head of the department of support service activities National Guard troops of the Russian Federation
Saint-Petersburg military Institute of National Guard Troops
Saint-Petersburg
AK1225@rambler.ru

Annotation. The article proposes a solution to the problem of choosing the optimal training plan for students of educational institutions of higher education of law enforcement agencies. The solution is based on the methods of linear programming, graph theory, the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. A meaningful example is given that illustrates the theoretical concepts presented. A natural generalization of the considered problem is proposed.

Key words: power structures, the task of teaching students, the optimal plan for solving the problem, fuzzy solution, fuzzy sets, fuzzy logic.

Задача выбора оптимального плана реализации программы обучения курсантов для силовых структур и ведомств для их последующего назначения на вакантные воинские должности требует особого внимания и качественного подхода к ее реализации. Для обеспечения максимального эффективного уровня выполнения каждым из курсантов, прошедшим обучение, служебных обязанностей на предназначенной ему должности, необходимо определить соответствующий план реализации программы обучения. Предполагается, что информация о соответствии курсанта, прошедшего обучение, формируемым компетенциям по соответствующей программе и уровню его соответствия должности, на которую он будет назначен, имеет нечёткий, неоднозначный характер. В силу приведённых обстоятельств, решение указанной задачи обладает, по нашему мнению, как новизной, так и несомненной актуальностью.

Для дальнейшего решения указанной задачи приведем необходимые сведения из теории графов [1, 2, 3].

Предметом теории графов является изучение связей между узлами (объектами). Узлы называются вершинами, а связи между ними ребрами.

Графом $G=(V,E)$ называется пара множеств, множество вершин V и множество ребер E. В статье в качестве вершин будем рассматривать: курсантов; программы обучения; вакантные должности, а в качестве рёбер: связи курсантов и программ обучения; связи курсантов и вакантных должностей.

Отметим, что примерами графов являются: программы обучения; планы комплексов мероприятий; иерархические, в том числе, силовые структуры; система взаимоотношений между людьми и организациями и т.д.

Пусть u и v вершины графа G. Ребро, соединяющее эти вершины, будем обозначать (u,v), говорят, что вершины u и v инциденты ребру (u,v), а ребро (u,v) инцидентно вершинам u и v. Вершины u и v называются конечными для ребра (u,v); если вершина не является конечной ни для какого ребра, то она называется изолированной. Если ребро начинается и заканчивается в одной и той же вершине, то оно называется петлёй.

Ребро, которому соответствует некоторое число, называется взвешенным ребром. Например, если ребро (u,v) означает, что курсант u обучался по программе v, то его весом может быть оценка качества освоения материала или надежность того, что курсант успешно освоил программу.

Граф, все ребра которого являются взвешенными, называется *взвешенным графом*.

Ребро (u,v) называется неориентированным, в случае, если $(u,v) = (v,u)$. Цепь – это непрерывная последовательность неориентированных рёбер. Цепь, у которой начало и конец совпадают, называется *циклом*. Граф, у которого все рёбра неориентированные – *неориентированный граф*. Если любые две вершины неориентированного графа соединены хотя бы одной цепью, то этот граф называется связным.

Подграфом графа *G=(V,E)* называется граф *F*=(*W,D*), все вершины и ребра которого являются вершинами и соответственно ребрами графа *G*.

Любой максимальный по включению подграф данного графа, являющийся связным графом, называется компонентой связности графа.

Трёхвершинным ансамблем называется цепь, состоящая из двух ребер и содержащая три различные вершины.

Трёхвершинным сочетанием *P* в графе *G=(V,E)* называется такое множество трёхвершинных ансамблей из *G*, что любые два различных ансамбля из *P* не являются смежными, т.е. не имеют общих вершин. Мощностью трёхвершинного сочетания называется количество трёхвершинных ансамблей в нём.

Если все вершины графа являются вершинами ребер рассматриваемого трёхвершинного сочетания, то это сочетание называется полным.

Граф *G=(V,E)* назовем трёхдольным, по аналогии с двудольным, если множество его вершин распадается на три непересекающиеся части V_1, V_2, V_3, при этом, если $(u,v)\in E$, то либо $u\in V_1$ и $v\in V_2$ либо $u\in V_2$ и $v\in V_3$ (рис. 1).

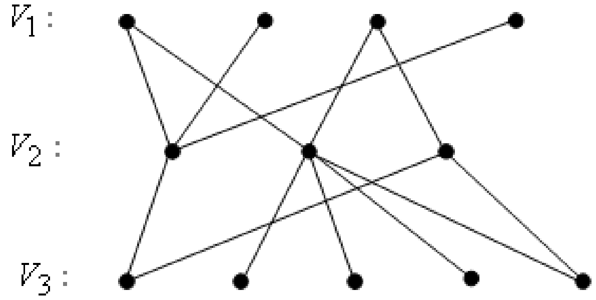

Рис. 1. Трёхдольный граф

Приведем некоторые понятия, а также результаты нечеткой логики и теории нечетких множеств, которые будут использоваться в дальнейшем изложении [4–11].

Нечетким множеством A^* на универсальном множестве U называется совокупность пар $(\mu_{A^*}(u), u)$, где $\mu_{A^*}(u)$ – функция принадлежности (степень принадлежности, надежность), т.е. степень принадлежности элемента $u\in U$ к нечеткому множеству U. Степень принадлежности – это число из замкнутого промежутка [0;1], чем она выше, тем в большей мере элемент соответствует свойствам нечеткого множества, и, таким образом, тем в большей степени он является элементом этого нечеткого множества.

Нечётким числом называется нечёткое множество с кусочно-непрерывной и выпуклой функцией принадлежности, заданное на универсальном множестве действительных чисел. Мы для простоты ограничимся треугольными нечеткими числами, которые можно рассматривать как линейные приближения нечётких чисел нелинейного вида.

Треугольным нечётким числом называется нечёткое множество, обозначаемое $\langle a,b,c\rangle$ и имеющее функцию принадлежности

$$\mu(v)=\begin{cases}\dfrac{v-a}{b-a}, если\ v\in[a,b],\\ \dfrac{c-v}{c-b}, если\ v\in[b,c].\\ 0, иначе.\end{cases}$$

Пересечением нечетких множеств A^* и B^* заданных на U, называется нечеткое множество C^* с функцией принадлежности $\mu_{C^*}(u)=\min\{\mu_{A^*}(u), \mu_{B^*}(u)\}$ для всех $u\in U$.

В рамках нечеткой логики рассматриваются высказывания, которые могут быть ложными или истинными в какой-то степени, эти высказывания называются нечеткими [4, 12, 13]. Степень истинности нечеткого высказывания принимает значения в рамках замкнутого промежутка [0;1]. Нечеткое высказывание со степенью истинности равной единице воспринимается как «истина», со степенью истинности равной нулю – как «ложь».

Над нечеткими высказываниями вводятся логические операции, в частности операции конъюнкция.

Степень истинности нечеткого высказывания А** будем обозначать $\mu_{A^{**}}$.

Пусть даны нечеткие высказывания А** и В**. Нечеткая логическая операция конъюнкция ($\wedge$) по аналогии с теоретико-множественной операцией пересечения выполняется по правилу:

$$\mu_{A^{**}\wedge B^{**}} = \min\{\mu_{A^{**}}, \mu_{B^{**}}\}. \qquad (1)$$

Дадим постановку, упомянутой в начале статьи задачи, в терминах теории графов.

Дан неориентированный трёхдольный взвешенный граф $G=(V,E)$ с l вершинами в каждой доле. Под весом ребра понимается надежность выполнения соответствующего требования (получение качественного образования, качественное выполнение служебных обязанностей). Требуется построить полное трёхвершинное сочетание максимального веса.

Введем понятия и ограничения, используемые в дальнейшем.

Под весом сочетания понимается минимальный вес ребра из ребер, образующих это сочетание. Множество вершин представим в виде $V=V_1\cup V_2\cup V_3$, при этом вершинам из множества V_1 соответствуют курсанты, вершинам из V_2 – программы обучения, вершинам из V_3 – вакантные должности. Предполагается, что все курсанты, программы обучения и должности перенумерованы соответственно числами от 1 до k.

Обозначим:

i (i=1,2,...,l) – номер курсанта (вершины из V_1,

j (j=1,2,...,l) – номер программы обучения (вершины из V_2,

k (k=1,2,...,l) – номер вакантной должности (вершины из V_3).

Наличие на графе ребра (i,j) означает, что курсант с номером i обучался по программе с номером j. Наличие ребра (j,k) – курсант, прошедший обучение по программе с номером j занимает должность с номером k.

Предполагается, что курсанты осваивают программу обучения с определенной оценкой, измеряемой по 100 балльной шкале. Степень соответствия этой оценки требованиям по освоению необходимых компетенций не однозначна и является нечеткой. Будем задавать ее нечетким числом D_{ij}^p, $D_{ij}^p=\left\langle a_{ij}^p, b_{ij}^p, c_{ij}^p \right\rangle$, функцию принадлежности которого обозначим $\mu_{D_{ij}^p}$. Мы считаем, что курсант i надежно освоил программу, если его оценка 90 баллов и выше. Тогда степень истинности нечеткого высказывания «курсант надежно освоил программу» равна $\mu_{D_{ij}^p}(90)$.

Степень готовности к исполнению k-й вакантной должности курсанта, прошедшего обучение по j-ой программе, так же оценивается по 100 балльной шкале и является нечетким числом $D_{jk}^d=\left\langle a_{jk}^d, b_{jk}^d, c_{jk}^d \right\rangle$, функцию принадлежности которого обозначим $\mu_{D_{jk}^d}$. Так же будем считать, что курсант надежно будет исполнять должность, если его оценка по окончанию курсов 90 баллов и выше. Тогда степень истинности нечеткого высказывания «курсант готов надежно исполнять должность» равна $\mu_{D_{jk}^d}(90)$.

Пусть, например, график функции принадлежности нечеткого числа $D_{11}^p=\left\langle 30,70,100 \right\rangle$ представлен на рисунке 2. Тогда $\mu_{D_{11}^p}(90)=0{,}33$.

Рассматриваемую задачу выбора оптимального плана осуществления программы обучения курсантов и их последующего назначения на вакантные должности в дальнейшем кратко будем называть задача об обучении. В сформулированных выше терминах это задача построения полного трёхвершинного сочетания.

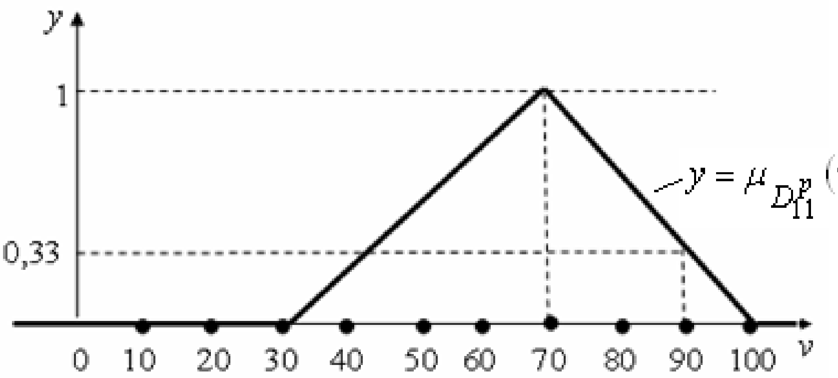

Рис. 2. График функции принадлежности нечёткого числа

Для решения этой задачи будем использовать алгоритм решения транспортной задачи с промежуточными пунктами [14].

Поэтому для лучшего понимания порядка решения задачи об обучении целесообразно дублировать (в скобках) постановку этой задачи в терминах транспортной задачи.

Даны: множество курсантов, которые будут обучаться по различным программам (множество складов) – V_1; множество программ обучения (множество перевалочных баз) – V_2; множество вакантных должностей (множество потребителей) – V_3.

Количество курсантов, которые могут заместить вакантную должность (объём запасов), количество курсантов, которые должны заместить вакантную должность (объём потребностей), количество курсантов, обучающихся по каждой программе обучения (возможности по переработке грузов) равны единицам, степень не соответствия оценки i-го курсанта требованиям по овладению необходимыми компетенциями j-ой программы обучения (расстояния между пунктами $i \in V_1$ и $j \in V_2$) равны $1-\mu_{D_{ij}^{p}}(90)$, степень не готовности курсанта, завершившего обучение по j-ой программе обучения к исполнению k-ой должности (расстояния между пунктами $j \in V_2$ и $k \in V_3$) равны $1-\mu_{D_{jk}^{d}}(90)$.

Замечание 1. При решении задачи об обучении, приведённые степени несоответствия будут минимизироваться.

Приведём алгоритм решения задачи об обучении.

Шаг 1. Решая задачу об обучении, получим $z*$ оптимальный план (решение) указанной задачи:

$z* = \left(x_{11}^{*}, x_{12}^{*}, \ldots x_{1l}^{*}, x_{21}^{*}, \ldots x_{2l}^{*}, \ldots, x_{l1}^{*}, \ldots x_{ll}^{*}, y_{11}^{*}, \ldots, y_{ll}^{*}\right)$, где:

- x_{ij}^{*} $(i = 1,2,\ldots,l;\ j = 1,2,\ldots,l)$ – назначение i-го курсанта на обучение по j-ой программе обучения,
- y_{jk}^{*} $(j = 1,2,\ldots,l;\ k = 1,2,\ldots,l)$ – назначение курсанта, завершившего обучение по j-ой программе обучения на k-ю вакантную должность.

Замечание 2. Искомое трёхвершинное сочетание (решение задачи об обучении) состоит из таких пар рёбер $\{(i,j),(j,k)\}$, для которых $x_{ij}^{*} = 1$ и $y_{jk}^{*} = 1$.

Шаг 2. Если искомого сочетания нет, то задача не имеет решения (плана) и осуществляется переход на Шаг 5.

Шаг 3. Найдём вес (пусть он равен m) полученного трёхвершинного сочетания графа и удалим из рассматриваемого графа все рёбра, вес которых не превосходит m, для чего положим вес таких рёбер равным большому числу, например 100, делающим неприемлемым использование таких рёбер в плане обучения курсантов по соответствующим этим рёбрам программам обучения или назначение курсантов, завершивших программы обучения на вакантные должности, соответствующие этим рёбрам.

Шаг 4. Рассматривая получившийся граф в качестве исходной информации для решения задачи об обучении, переходим на шаг 1.

Замечание 3. Выполнение итераций алгоритма (шаги 1–4) осуществляется до тех пор, пока не получим граф, не имеющий искомого трёхвершинного сочетания. Сочетание, полученное на предыдущей итерации, и есть искомое.

Шаг 5. Стоп.

Проиллюстрируем предлагаемый алгоритм на содержательном примере.

Имеются 4 курсанта, кандидаты на обучение, 4 программы обучения и 4 вакантные должности. Веса соответствующих ребер указаны в таблицах 1 и 2. В них и далее $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4$ – кандидаты, $\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4$ – программы (таблица 1), $\chi_1,\gamma_2,\chi_3,\chi_4$ – должности (таблица 2). Условия исходной задачи об обучении (транспортной задачи) приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Исходные данные для определения порядка обучения курсантов

Кандидаты на обучение(V_1)	Программы обучения (V_2)			
	β_1	β_2	β_3	β_4
α_1	0.6	0.7	0.8	0.9
α_2	0.7	0.5	0.9	0.8
α_3	0.9	0.7	0.9	0.6
α_4	0.8	0.8	0.7	0.9

Таблица 2 – Исходные данные для определения порядка замещения вакантных должностей

Программы обучения (V_2)	Вакантные должности (V_3)			
	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4
β_1	0.8	0.5	0.7	0.9
β_2	0.9	0.8	0.9	0.7
β_3	0.6	0.9	0.6	0.9
β_4	0.5	0.9	0.8	0.7

Таблица 3 – Исходные данные для задачи об обучении (транспортной задачи)

Кандидаты на обучение (α_i) и программы(β_i)	Программы (β_i) и вакантные должности (χ_i)								Наличие кандидатов
	β_1	β_2	β_3	β_4	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4	
α_1	0.4	0.3	0.2	0.1	100	100	100	100	1
α_2	0.3	0.5	0.1	0.2	100	100	100	100	1
α_3	0.1	0.3	0.1	0.4	100	100	100	100	1
α_4	0.2	0.2	0.3	0.1	100	100	100	100	1
β_1	100	100	100	100	0.2	0.5	0.3	0.1	1
β_2	100	100	100	100	0.1	0.2	0.1	0.3	1
β_3	100	100	100	100	0.4	0.1	0.4	0.1	1
β_4	100	100	100	100	0.5	0.1	0.2	0.3	1
Потребности в кандидатах	1	1	1	1	1	1	1	1	

Замечание 4. Так как для решения задачи об обучении используется алгоритм решения транспортной задачи, в котором целевая функция минимизируется, то в качестве характеристик рёбер использованы разности между максимальным (единица) и получившимися значениями надёжности.

В результате решения задачи об обучении с использованием метода решения транспортной задачи получаем оптимальное решение (план) в виде полного трёхвершинного сочетания максимального веса (в скобках указаны надёжности трёхвершинных ансамблей):

$$\alpha_1 - \beta_4 - \chi_3(0.8),\ \alpha_2 - \beta_3 - \chi_2(0.9),$$
$$\alpha_3 - \beta_1 - \chi_4\ (0.9), \alpha_4 - \beta_2 - \chi_1(0.8). \qquad (2)$$

Отметим, что надёжность трёхвершинного ансамбля равна минимуму из надёжностей его рёбер, надёжность полного трёхвершинного сочетания, в соответствии с формулой (1) равна минимальной из надёжностей трёхвершинных ансамблей его составляющих, и, следовательно, равна 0.8.

В соответствии с указаниями шага 3, запрещаем использование рёбер надёжностью 0.8 и меньше (в таблице 3 – 0.2 и больше) и проводим решение задачи об обучении с полученными данными. Для рассматриваемого в статье примера эта задача не имеет допустимых решений (планов) и, следовательно, оптимальным решением (планом) задачи является решение (2), полученное на предыдущей итерации.

Приведём вербальную постановку оптимального решения (2) задачи об обучении: первый кандидат обучался по четвёртой программе и занял третью должность; второй кандидат обучался по третьей программе и занял вторую должность; третий кандидат обучался по первой программе и занял четвёртую должность; четвёртый кандидат обучался по второй программе и занял первую должность.

В заключение, в соответствии с принципами подготовки специалистов [15–16], предложим обобщение предложенной в статье постановки задачи об обучении, учитывая два следующих соображения.

1. Если на обучение по некоторой программе может быть принято несколько (t) кандидатов, то можно считать, что в множестве V_2 графа имеется t вершин, соответствующих этой программе. Аналогично для случая, когда имеется несколько одинаковых вакантных должностей.

2. Если число вершин в двух долях трёхдольного графа одинаковое, но больше числа вершин в третьей доли графа, то к вершинам этой доли надо добавить несколько вершин так, чтобы число вершин во всех трёх долях графа стало бы одинаковым. Добавленные вершины, по аналогии с тем как это делается при рассмотрении несбалансированной транспортной задачи, будем называть фиктивными. Вес ребра, инцидентного фиктивной вершине, положим равным единице. Тогда искомое трёхвершинное сочетание состоит из таких пар ребер $\{(i,j),(j,k)\}$, не инцидентных фиктивным вершинам, для которых:

$$x_{ij}^{*} = 1 \text{ и } y_{jk}^{*} = 1$$

Таким образом, предложено решение указанной задачи, реализующее оптимальный порядок организации обучения курсантов одновременно учитывающее, как разницу в программах их обучения, так и порядок их последующего назначения на вакантные должности, которое может быть использовано кадровыми органами для подбора наиболее компетентных офицеров для вакантных должностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилков В.Б., Черных А.К. Теория и практика оптимизации управленческих решений в условиях ЧС на транспорте: монография. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. 162 с.
2. Берж К. Теория графов и ее применения. М.: ИЛ, 1962. 320 с.
3. Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1968. 352 с.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.
5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 429 с.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 725 с.

7. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 206 с.

8. Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином, 2006. 315 с.

9. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. 1965. vol.8. N 3. P. 338–353.

10. Черных А.К., Вилков В.Б. Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 52–59.

11. Черных А.К., Козлова И.В., Вилков В.Б. Вопросы прогнозирования материально-технического обеспечения с использованием нечётких математических моделей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4. С. 107–117.

12. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нёчеткие системы. М.: Мир, 1993. 368 с.

13. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. 71 с.

14. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 1. М.: Мир, 1972. 335 с.

15. Костюк А.В., Черных А.К., Малыгина Е.А. Использование инновационных технологий в подготовке специалистов для силовых структур // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 2. С. 134–138.

16. Vilkov V.B.; Shcherbakova O.I.; Chernykh A.K.; Andreev V.P.; Khudyakova T. L.; Kazakova S. N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods. Revista ESPACIOS. Vol. 39, 2018. P. 16.

