

УДК 681.3

В.В. Меньших, Е.Н. Середа
**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА
НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ
ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОМ ОБУЧЕНИИ**

*Воронежский институт Министерства
внутренних дел Российской Федерации, Воронеж, Россия*

В статье решается задача оптимального распределения обучающихся по направлениям подготовки в группах многоцелевого обучения. Задача подготовки и переподготовки профессиональных кадров фактически является задачей поиска оптимальной индивидуальной образовательной траектории для каждого специалиста. Учитывая, с одной стороны, уникальность некоторых направлений деятельности и, как следствие, малочисленность соответствующих категорий обучающихся, а, с другой стороны, близость траекторий обучения для родственных направлений подготовки, возникает необходимость формирования групп многоцелевого обучения, что обеспечивает экономию ресурсов образовательной организации, а в ряде случаев и повышает эффективность обучения. Траектории обучения в таких группах могут пересекаться, что создаёт возможность динамического перераспределения обучающихся по подгруппам, в которых осваиваются те или иные компетенции. Первоначальной задачей при организации многоцелевого обучения является выбор направления подготовки для каждого специалиста, вопросы разработки математического аппарата оптимизации которого изучены недостаточно. В работе осуществлена математическая постановка данной задачи. Описаны два этапа её решения: 1) определение оценок возможности формирования у обучающихся компетенций, соответствующих направлениям подготовки; 2) определение оптимального варианта распределения обучающихся по направлениям подготовки. Предложен алгоритм решения задачи.

Ключевые слова: компетенция, направление подготовки, время обучения, ресурс, оптимизация, многоцелевое обучение.

Введение

В связи с появлением новых видов профессиональных задач возрастает роль повышения квалификации и переподготовки кадров. Существует значительное число областей профессиональной деятельности, в которых требуется подготовка специалистов, получающих как базовые, так и специализированные компетенции [1]. Часть компетенций может быть присуща нескольким специалистам, а часть является уникальной, выраженной, например, только у одного специалиста. В связи с этим вопрос подготовки и переподготовки таких специалистов является весьма затратным. Выходом из этой ситуации является формирование групп многоцелевого обучения специалистов по близким направлениям деятельности. Основанием для их формирования является тот факт, что траектории обучения указанных групп специалистов частично пересекаются. Это создаёт возможность формирования временных подгрупп для освоения некоторых компетенций.

Следует учесть, что у некоторых специалистов определённые компетенции могут быть сформированы до начала обучения, что является основанием подбора для них таких направлений подготовки, обучение по которым будет осуществлено за кратчайшее время и (или) с использованием минимального количества ресурсов. При этом могут существовать ограничения, характеризующие квалификационные требования к возможностям выполнения той или иной роли, которые дополняют требования к специалистам, не учитываемые в компетенциях (наличие профильного образования, стажа работы, опыта практической деятельности, связанного с данной ролью и т.п.) [2].

В процессе обучения требуется определить уровень сформированности компетенций обучающихся и в программу обучения включить именно те действия, которые направлены на преодоление интервала между имеющимися и необходимыми компетенциями, имеет место задача выбора оптимальной траектории обучения [3–6].

Общая задача организации многоцелевого обучения имеет большую размерность. В связи с этим целесообразно осуществить её декомпозицию. В данной работе рассматривается первый этап – оптимизация распределения специалистов по направлениям подготовки, для чего используются методы математического моделирования.

1. Постановка и формализация задачи

Анализ процесса многоцелевого обучения группы специалистов показывает, что в нем можно выделить множества следующих типов:

$K = \{k_1, \dots, k_{|K|}\}$ – множество компетенций, которые имеются или требуется сформировать у обучающихся;

$N = \{n_1, \dots, n_{|N|}\}$ – множество направлений подготовки, обучение по которым осуществляет образовательная организация;

$M = \{m_1, \dots, m_{|M|}\}$ – множество модулей (курсов, программ) обучения, каждый из которых позволяет сформировать одну или несколько компетенций;

$L = \{l_1, \dots, l_{|L|}\}$ – множество обучающихся.

Каждая компетенция $k_p, p = 1, \dots, |K|$ имеет соответствующий уровень ее сформированности. Для упрощения математической модели описания процесса обучения будем считать каждый уровень самостоятельной компетенцией. Оценка сформированности компетенций определяется по результатам тестирования и может принимать следующие значения: 1 – компетенция сформирована, 0 – не сформирована. Компетенции имеют ограничения на последовательность их формирования.

Каждое направление подготовки $n_i, i = 1, \dots, |N|$ имеет перечень компетенций, которыми должен обладать специалист, чтобы быть на него назначенным.

Под модулем обучения $m_k, k = 1, \dots, |M|$ будем понимать дисциплину, раздел дисциплины, отдельную тему и др. Модули выполняются в определенной последовательности, направлены на формирование одной или нескольких взаимосвязанных компетенций. Модули также включают модули самостоятельной работы, и их целью является совершенствование имеющихся компетенций.

Множество модулей характеризуются временами выполнения $T = (t(m_1), \dots, t(m_{|M|}))$ и требуют известного заранее набора ресурсов $\vec{R} = (\vec{r}(m_1), \dots, \vec{r}(m_{|M|}))$. Для получения некоторых компетенций может использоваться несколько альтернативных вариантов модулей по обучению. Например, наличие тренажеров позволяет сэкономить время обучения, но при этом увеличивает используемые ресурсы и ограничивает количество обучающихся, одновременно осваивающих соответствующих модуль. К ресурсам следует отнести наличие в образовательной организации, осуществляющей процесс обучения: материально-технической базы (лабораторий, тренажеров и т.д.), квалифицированного профессорско-преподавательского состава, имеющего соответствующий уровень подготовки, технических средств обучения и др. Ввиду особой важности в составе ресурса следует отметить стоимость обучения, которая определяется оплатой труда профессорско-преподавательского состава, затратами на его переподготовку и т.д.

Учитывая необходимость решения задачи минимизации ресурса, он может быть представлен в скалярном виде как обобщенный ресурс $R = (r(m_1), \dots, r(m_{|M|}))$, представляющий собой взвешенную сумму различных видов ресурса. Весовые коэффициенты присваиваются с учётом важности конкретных видов ресурса, что может быть осуществлено, например, с использованием метода анализа иерархий [7].

Каждый обучающийся $l_j, j = 1, \dots, |L|$ имеет начальный, определяемый по результатам тестирования, промежуточный, получаемый после изучения части модулей, и итоговый уровень подготовки, в процессе обучения получает компетенции, необходимые для заданного для него направления подготовки (роли). Уровни подготовки полностью характеризуются множеством компетенций $l_j \rightarrow \{k_{p_1}^j, \dots, k_{p_{|K|}}^j\}$.

Рассмотрим вопрос о выборе оптимального варианта распределения обучающихся по направлениям подготовки. Указанное распределение

должно соответствовать одному из двух вариантов оптимизации процесса подготовки:

1) минимизация общего времени T при ограничениях на ресурс \bar{R} , выделенный на образовательный процесс для данной группы обучающихся;

2) минимизация обобщенного ресурса R для обеспечения образовательного процесса в данной группе при ограничении времени обучения T .

Задачи решаются в два этапа:

на первом этапе определяются оценки возможности формирования у обучающихся компетенций, соответствующих направлениям подготовки;

на втором этапе определяется оптимальный вариант распределения обучающихся по направлениям подготовки.

2. Оценки возможности обучения по соответствующим направлениям

Обратимся к рассмотрению первого этапа.

Пусть по результатам тестирования определено, что обучающийся l_j владеет множеством компетенций $K(l_j) \subseteq K$;

для s -го направления подготовки требуется владение множеством компетенций $K_s^0 \subseteq K$.

Тогда для обучения специалиста l_j по s -му направлению подготовки необходимо, чтобы он освоил множество компетенций $K_s(l_j) = K_s^0 \setminus K_0(l_j)$.

Кроме того, следует учитывать дополнительные ограничения o_{js} на возможность обучения l_j по s -му направлению подготовки:

$$o_{js} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й обучающийся может быть назначен на } s\text{-е направление} \\ & \text{подготовки;} \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

Считая заданным отношение между компетенциями и модулями обучения для каждого $k_p \in K_s(l_j)$, найдем множество всех модулей, обеспечивающих получение данной компетенции $M(k_p) \subseteq M$. Учитывая, что модули могут формировать сразу несколько компетенций, их возможности по формированию компетенций могут частично или даже полностью дублироваться. Поэтому возможны альтернативные варианты обучения по этим модулям.

Обратимся к нахождению и оценке указанных альтернативных вариантов.

Часть компетенций может формироваться безальтернативным образом. Соответствующие модули $M'(k_p) \subseteq M(k_p)$ обязательно включаются в программу обучения.

После этого определяются все компетенции $K'_s(l_j) \subseteq K_s(l_j)$, формирование которых обеспечивают модули множества $M'(k_p)$.

Рассмотрим допустимость использования модулей $M'(k_p)$ для обучения по s -му направлению подготовки.

Если решается задача оптимизации времени T_j для обучающегося l_j и окажется, что не выполняется векторное условие

$$\sum_{m_k \in M'(k_p)} \vec{r}(m_k) \leq \hat{R}, \quad (1)$$

то обучающийся l_j не может быть подготовлен по s -му направлению подготовки.

Если решается задача оптимизации обобщенного ресурса R и окажется, что не выполняется условие

$$\sum_{m_k \in M'(k_p)} t(m_k) \leq \hat{T}, \quad (2)$$

то обучающийся l_j не может обучаться по s -му направлению подготовки.

Обозначим

$$\tilde{M}(k_p) = M(k_p) \setminus M'(k_p),$$

$$\tilde{K}_s(k_p) = K_s(k_p) \setminus K'_s(l_p).$$

Задача сведена к нахождению модулей из множества $\tilde{M}(k_p)$, формирующих множество компетенций $\tilde{K}_s(k_p)$ по одному из перечисленных выше вариантов оптимизации процесса обучения.

Решением задачи будет такое подмножество $M''(k_p)$ множества $\tilde{M}(k_p)$, которое обеспечивает получение всего множества компетенций $\tilde{K}_s(k_p)$ и минимизирует

либо оценку общего времени обучения специалиста l_j по s -му направлению подготовки, которая определяется по формуле:

$$T_{js} = \sum_{m_k \in M'(k_p)} t(m_k) + \sum_{m_k \in M''(k_p)} t(m_k);$$

либо оценку обобщённого ресурса –

$$R_{js} = \sum_{m_k \in M'(k_p)} r(m_k) + \sum_{m_k \in M''(k_p)} r(m_k).$$

Если число таких подмножеств $2^{|\tilde{M}(k_p)|}$ невелико, то подмножество $M''(k_p)$, обеспечивающее получение минимальных значений, может быть найдено как точное решение задачи методом полного перебора.

Если время решения задачи недопустимо велико, то в качестве приближенного может быть выбрано последнее найденное решение.

Рассмотрим численный пример, поясняющий описанный метод.

Предположим, что для подготовки обучающегося l_j требуется освоить компетенции k_1, k_2, k_3, k_4 . Это может быть обеспечено с помощью модулей m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 , описание которых и возможности по формированию компетенций представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Описание модулей обучения

Обозначение	Модули		Компетенции			
	Время, усл. ед.	Обобщенный ресурс	k_1	k_2	k_3	k_4
m_1	10	5	1	0	0	0
m_2	6	5	0	1	0	0
m_3	6	5	0	0	1	1
m_4	10	15	0	1	1	1
m_5	8	12	0	1	0	1

Компетенция k_1 может быть получена только с использованием модуля m_1 . Следовательно, выбор этого модуля обязателен.

Остальные компетенции могут быть получены тремя способами:

- 1 способ – с помощью модулей m_2 и m_3 ,
- 2 способ – с помощью модуля m_4 ,
- 3 способ – с помощью модулей m_3 и m_5 .

Первый способ формирования компетенций обеспечивает минимизацию затрат ресурса (15 условных единиц), а второй способ –

минимизацию суммарного времени (18 условных единиц времени). Третий способ неэффективен ни по одному из критериев.

3. Оптимизация выбора направлений подготовки

Возможности формирования компетенций по направлениям подготовки можно представить в виде взвешенного двудольного графа

$$G = (L \cup N, E, V),$$

где N – множество направлений подготовки для группы обучающихся, причем $|L|=|N|$ (допускается несколько одинаковых направлений подготовки в группе);

E – ребра, связывающие вершины, соответствующие обучающимся с вершинами, соответствующими направлениям подготовки;

V – веса ребер, численно равные оценкам времени (для решения первой оптимизационной задачи) или ресурса (для решения второй оптимизационной задачи) для обучения специалиста по соответствующему направлению подготовки (рис. 1).

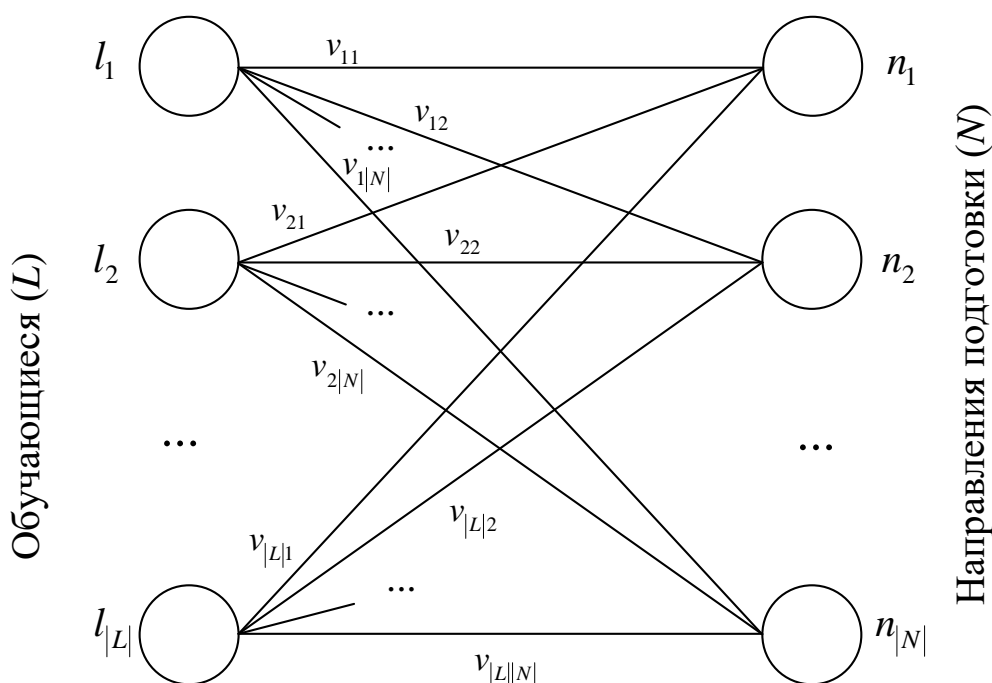


Рисунок 1 – Граф взаимосвязи обучающихся и направлений подготовки

Введём переменные:

$$x_{js} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й обучающийся назначен на } s\text{-е направление} \\ & \text{подготовки;} \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$
$$X = \{x_{js}\}_{j=1,|L|;s=1,|N|}$$

При распределении обучающихся по направлениям подготовки должны соблюдаться следующие условия, учитывающие квалификационные требования:

1) на одно направление подготовки должен быть назначен только один обучающийся, т.е.

$$\sum_{j=1}^{|L|} x_{js} o_{js} = 1; \quad (3)$$

2) каждый обучающийся может быть назначен не более, чем на одно направление подготовки

$$\sum_{j=1}^{|L|} x_{js} o_{js} \leq 1; \quad (4)$$

3) каждый обучающийся может быть назначен только на то направление подготовки, к которому он допущен

$$\forall j \forall s x_{js} \leq o_{js}. \quad (5)$$

Тогда задача выбора всей группы обучающихся имеет следующий вид:

1) найти

$$X^* = \underset{s \in N}{\text{Arg min}} \sum_{j=1}^{|L|} x_{js} \cdot T_{js} \quad (6)$$

при ограничениях (3)–(5), если требуется минимизировать время обучения;

2) найти

$$X^* = \underset{s \in N}{\text{Arg min}} \sum_{j=1}^{|L|} x_{js} \cdot R_{js} \quad (7)$$

при ограничениях (3)–(5), если требуется минимизировать требующийся для обучения ресурс.

Решение задачи (6), (3)–(5) и (7), (3)–(5) можно интерпретировать как классическую задачу о назначениях, для решения которой известно множество методов.

Итак, считаем, что имеются $|L|$ обучающихся, которых необходимо распределить по направлениям подготовки, число которых $|N|$, причём $|L|=|N|$. Известно время (или обобщенный ресурс), требующееся для подготовки j -го обучающегося по s -му направлению подготовки T_{js} (или R_{js}). Требуется таким образом распределить обучающихся по направлениям подготовки, чтобы минимизировать общее время (или ресурс), требующееся для обучения группы. Используем алгоритм, который описан в [8].

Шаг 0. Назначаем каждого обучающегося на то направление подготовки, по которому его быстрее всего (или с минимальным ресурсом) обучить.

$$x_{js}^0 = \begin{cases} 1, \text{ если } T_{js} = \min_k T_{ks} \\ 0, \text{ если иначе.} \end{cases}$$

Если при этом покрыты все вершины множества N и выполняются ограничения (3)–(5), то оптимальное распределение обучающихся по направлениям подготовки найдено. Если же на какие-либо направления подготовки не назначено ни одного обучающегося, то задача не решена. Следовательно, переходим к шагу k .

Шаг k . Вводим подмножества дуг:

$$F_1 = \{(j, s) | x_{js} = 1\},$$
$$F_2 = \{(j, s) | x_{js} = 0\}.$$

Формируем сеть, причем множество вершин, обозначающих направления подготовки, на которых назначено несколько обучающихся, принимаем за вход сети, множество вершин, обозначающих направления подготовки, на которых не назначено ни одного обучающегося – за выход сети. Изменяем направления дуг из подмножества F_1 на противоположные, принимаем их длины равными $(-T_{js})$, а длины дуг из подмножества F_2 – равными T_{js} . Находим в полученной сети путь минимальной длины μ^k .

Затем вычисляем:

$$x_{js}^k = \begin{cases} x_{js}^{k-1}, & \text{если } (j, s) \notin \mu^k \\ 1 - x_{js}^{k-1}, & \text{если } (j, s) \in \mu^k. \end{cases}$$

Шаг k повторяется до тех пор, пока будет найдено оптимальное назначение.

Заключение

Описанная модель и алгоритм позволяют распределить специалистов по направлениям подготовки, что позволит в дальнейшем осуществить выбор индивидуальных траекторий обучения для каждого из них. Указанные траектории должны представлять собой последовательности действий по реализации модулей обучения. Для каждого действия должны быть определены подгруппы обучающихся, оптимизация выбора которых обеспечит оптимизацию всего процесса многоцелевого обучения, что является целью дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимняя И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. – 2003. – № 5. – С. 34–42.
2. Меньших В. В. Концептуальная модель и технология обучения коллективным действиям по принятию решений при возникновении чрезвычайных обстоятельств / В. В. Меньших, Е. Н. Серeda // Труды Академии управления МВД России. – 2016. – № 2. – С. 51–56.
3. Денкс К. А. Задача синтеза индивидуальных планов обучения в пространстве виртуальных учебных групп / К. А. Денкс, Ю. Ю. Якунин, Д. И. Ярещенко // Экономика, статистика и информатика. – 2015. – № 6. – С. 118–127.
4. Меньших В. В. Автоматизированное формирование адаптивных траекторий коллективного обучения / В. В. Меньших, Е. Н. Серeda // Современные сложные системы управления : НТCS'2017 : мат-лы XII междунар. науч.-практ. конф., 25-27 октября 2017 г. В 2 ч. Ч. 2. – Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – С. 270–274.
5. Меньших В. В. Моделирование процесса выбора траекторий обучения сотрудников органов внутренних дел действиям при чрезвычайных обстоятельствах / В. В. Меньших, Е. Н. Серeda, А. Н. Копылов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2016. – № 2. – С. 203–212.

6. Меньших В. В. Оптимизация выбора траектории адаптивного группового обучения / В. В. Меньших, Е. Н. Середа // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-30 : сб. трудов XXX Междунар. науч. конф. : в 12 т. Т. 1 / под общ. ред. А. А. Большакова ; Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Минск : БГАТУ, БГТУ, БНТУ, БГУИР. – СПб : Изд-во политехн. ун-та, 2017. – С. 139–144.
7. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.
8. Бурков В. Н. Теория графов в управлении организационными системами : учебное пособие / В. Н. Бурков, А. Ю. Заложнев, Д. А. Новиков. – М. : Синтег, 2001. – 124 с.

V.V. Menshikh, E.N. Sereda

MODEL AND ALGORITHM THAT OPTIMIZE THE CHOICE OF A TRAINING AREA AT A MULTI-PURPOSE TRAINING

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,
Voronezh, Russia*

The article deals with the problem of how to optimize the distribution of students according to the areas of training in the groups of multi-purpose training. Training and retraining of professionals in fact presupposes facilitating the optimal individual educational trajectory for each specialist. There is a need to form groups of multi-purpose training since, on the one hand, certain training areas are unique and there is a lack of the pertinent categories of students, and on the other hand, related areas require similar training trajectories. It will contribute to saving resources of an educational institution and sometimes can increase the training efficacy. The training trajectories in such groups can overlap, which makes it possible to dynamically redirect students to subgroups that master different competences. When organizing a multi-purpose training the primary task is to choose the training area for each specialist, and the corresponding mathematical apparatus to optimize this task has not been studied sufficiently. This research carries out a mathematical approach to this problem. The article defines two stages of its solution: 1) assessing the perspectives of students to form competencies in accordance with the training areas; 2) finding an optimal way to distribute the trainees in the areas of training. The paper suggests an algorithm for solving the problem.

Keywords: competence, the areas of training, training time, resource, optimization, a multi-purpose training.

REFERENCES

1. Zimnyaya I. A. Klyucheverye kompetentsii – novaya paradigma rezultata obrazovaniya / I. A. Zimnyaya // Vyishee obrazovanie segodnya. – 2003. – N 5. – S. 34–42.
2. Menshih V. V. Kontseptualnaya model i tehnologiya obucheniya kollektivnyim deystviyam po prinyatiyu resheniy pri vzniknovenii chrezvyichaynykh obstoyatelstv / V. V. Menshih, E. N. Sereda // Trudy Akademii upravleniya MVD Rossii. – 2016. – N 2. – S. 51–56.
3. Denks K. A. Zadacha sinteza individualnykh planov obucheniya v prostranstve virtualnykh uchebnykh grupp / K. A. Denks, Yu. Yu. Yakunin, D. I. Yareschenko // Ekonomika, statistika i informatika. – 2015. – N 6. – S. 118–127.
4. Menshih V. V. Avtomatizirovannoe formirovanie adaptivnykh tra-ektoriy kollektivnogo obucheniya / V. V. Menshih, E. N. Sereda // Sovremennyye slozhnyie sistemyi upravleniya : HTCS'2017 : mat-lyi XII mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 25-27 oktyabrya 2017 g. V 2 ch. Ch. 2. –Izd-vo Lipetskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, 2017.–S. 270–274.
5. Menshih V. V. Modelirovanie protsessa vyibora traektoriy obucheniya sotrudnikov organov vnutrennih del deystviyam pri chrezvyichaynykh obstoyatelstvakh / V. V. Menshih, E. N. Sereda, A. N. Kopyilov // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. – 2016. – # 2. – S. 203–212.
6. Menshih V. V. Optimizatsiya vyibora traektorii adaptivnogo grup-povogo obucheniya / V. V. Menshih, E. N. Sereda // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologiyah – MMTT-30 : sb. trudov XXX Mezhdunar. nauch. konf. : v 12 t. T. 1 / pod obsch. red. A. A. Bolshakova ; Sankt-Peterburg : SPbGTI(TU), SPbPU, SPIIRAN; Minsk : BGATU, BGTU, BNTU, BGUIR. – SPb : Izd-vo politehn. un-ta, 2017. – S. 139–144.
7. Saati T. L. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy / T. L. Saati. – M. : Radio i svyaz, 1989. – 316 s.
8. Burkov V. N. Teoriya grafov v upravlenii organizatsionnyimi sistemami : uchebnoe posobie / V. N. Burkov, A. Yu. Zalozhnev, D. A. Novikov. – M. : Sinteg, 2001. – 124 s.