

Применение нечетких когнитивных карт для поддержки принятия решений при разработке рабочего учебного плана высшего учебного заведения на основе учебного плана

Рассматривается применение когнитивного подхода для поддержки разработки рабочего учебного плана высшего учебного заведения на основе учебного плана. Для формализации мнения эксперта предлагается использовать нечеткие когнитивные карты (НKK). Для оптимизации процесса составления рабочего учебного плана на основе учебного плана предлагается использовать результаты q-анализа НKK, а также решение ранцевой задачи для НKK.

Ключевые слова: рабочий учебный план, нечеткие когнитивные карты, полезность, q-анализ, задача о ранце.

APPLICATION OF FUZZY COGNITIVE MAPS FOR DEVELOPMENT THE WORK CURRICULUM OF AN INSTITUTE OF HIGHER EDUCATION BASED ON THE CURRICULUM

Application of the approach of cognitive maps for supporting development the work curriculum of an institute of higher education is considered. Using fuzzy cognitive maps (FCM) for formalization of opinion of an expert is offered. Using results of q-analysis of FCM and Knapsack problem for optimization the process of development the curriculum is offered.

Keywords: work curriculum, fuzzy cognitive maps, utility, q-analysis, Knapsack problem.

Введение

Современное высшее образование должно отвечать высоким и быстро изменяющимся требованиям. Согласно Федеральному стандарту высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) [1] вузы обязаны ежегодно обновлять основные образовательные программы (ООП) с учетом развития науки, культуры, экономики, техники, технологий и социальной сферы. При этом вуз обязан обеспечить обучающимся реальную возможность участвовать в формировании своей программы обучения, включая разработку индивидуальных образовательных программ, а при формировании своей индивидуальной образовательной программы получить консультацию в вузе по

выбору дисциплин (модулей) и их влиянию на будущую профессиональную подготовку.

ФГОС ВПО дает информацию о количестве зачетных единиц, отводимых на базовую и вариативную части рабочего учебного плана, однако не регламентирует распределение зачетных единиц по конкретным дисциплинам. В то же время, согласно [2, 3], порядок изучения дисциплин в учебном плане определяют экспертные оценки заведующих кафедрами, а также опыт и интуиция преподавателей, основывающихся на субъективных мнениях о месте и роли каждой дисциплины в процессе подготовки выпускника вуза. Кроме того, в ходе формирования учебных планов необходимо учитывать мнения

многих экспертов, в том числе администрации вуза, студентов и работодателей.

Немаловажной составляющей проектирования учебного процесса является составление рабочего учебного плана на основе учебного плана по направлению подготовки (специальности). Рабочий учебный план служит для организации учебного процесса в течение учебного года, а также для расчета трудоемкости учебной работы преподавателей.

Таким образом, принятие решений при проектировании и управлении учебными планами в сфере ВПО должно сочетать формальные и экспертные показатели. Как показывают исследования [4, 5], наибольшие трудности здесь вызы-



Галина Олеговна Артемова,
к.т.н., доцент кафедры
информационных систем
Тел.: (812) 232-8645
Эл. почта: glaya@inbox.ru
Национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики
www.ifmo.ru

Galina O. Artemova,
Ph.D. of Engineering Science
Тел.: (812) 232-8645
E-mail: glaya@inbox.ru
National Research University of
Informational Technologies, Mechanics
and Optics
www.ifmo.ru



Наталья Федоровна Гусарова,
к.т.н., с.н.с., доцент кафедры
интеллектуальных технологий в
гуманитарной сфере
Тел.: (812) 232-8645
Эл. почта: natfed@list.ru
Национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики
www.ifmo.ru

Nataliya F. Gusarova,
Ph.D. of Engineering Science
Тел.: (812) 232-8645
E-mail: natfed@list.ru
National Research University of
Informational Technologies, Mechanics
and Optics
www.ifmo.ru

вает оптимизация учебных планов. В свою очередь, в рамках составления учебных планов требуется оценить относительную трудоемкость каждой дисциплины и определить оптимальную последовательность их изучения. Эти задачи также решаются в условиях неформальности многих критериев и неполноты учитываемой информации.

Как показывает анализ [6, 7], для составления учебных планов и программ наиболее широкое применение находит модульный подход, а также подход, основанный на построении дерева целей подготовки специалиста. Среди недостатков модульного подхода выделяют большую трудоемкость формирования модулей, игнорирование целостности и логики учебного предмета, дублирование информации в различных модулях. Кроме того, в учебный план могут не войти модули, которые имеют большое значение для формирования знаний выпускника, но малое количество связей. Подход, основанный на построении дерева целей, также имеет ряд недостатков. Здесь связи между модулями не оцениваются, а формируются постфактум в процессе отбора содержания; поэтому для изучения некоторых модулей может выявиться информационная недостаточность.

Для формализации знаний людей о слабоструктурированной проблемной ситуации при решении управленческих задач широко применяются когнитивные карты [8]. Когнитивные карты позволяют представить знания эксперта или группы экспертов в виде структуры причинно-следственных влияний факторов, характеризующих объект исследования. При структурном анализе когнитивной карты определяются на качественном уровне оценки показателей функционирования изучаемого объекта.

В работе [9] предлагается использование когнитивных карт для моделирования содержания учебных курсов. Отмечается, что для решения задачи планирования требуются математические модели содержания учебного материала, учитывающие экспертную инфор-

мацию о его разделах и связях между ними, что позволит перейти к определению структуры содержания учебного материала и ввести его количественные характеристики.

В статье рассматриваются некоторые проблемы разработки рабочего учебного плана на основе учебного плана на базе когнитивного подхода, в том числе:

- формализация и анализ оценок экспертов относительно роли каждой дисциплины в учебном плане;
- определение последовательности изучения дисциплин;
- определение трудоемкости каждой дисциплины в оптимизационной постановке с учетом ограничений по общей продолжительности обучения;
- построение модели рабочего учебного плана на учебный год;
- метод поддержки расчета трудоемкости преподавателя на учебный год;
- метод поддержки внесения изменений в рабочий учебный план.

1. Построение нечеткой когнитивной карты эксперта

Когнитивная карта [8, 10] рассматривается как модель представления знаний экспертов и представляет собой причинно-следственную сеть, которая наглядно представляет концепты предметной области и логические связи между ними. Нечеткие когнитивные карты, представляемые в виде графа, отражают причинно-следственные связи между концептами, которые указывают направление влияния одного концепта на другой и степень этого влияния:

$$G = \langle E, W \rangle,$$

где W – бинарное отношение на множестве $E = \langle e_1, \dots, e_n \rangle$, которое задает набор связей между его элементами.

Для формализации представления о предметной области каждому эксперту предлагается построить свою нечеткую когнитивную карту. Для этого используется метод анкетирования. Основными вопросами, на которые необходимо ответить эксперту, являются вопросы типа:



Игорь Юрьевич Коцюба,
магистрант кафедры
интеллектуальных технологий в
гуманитарной сфере
Тел.: (812) 232-8645
Эл. почта: igor.kotciuba@gmail.com
Национальный исследовательский
университет информационных
технологий, механики и оптики
www.ifmo.ru

Igor Yu. Kotciuba,
Magister, the Department of Intellectual
Technologies in Humanitarian Sphere
Tel.: (812) 232-8645
E-mail: igor.kotciuba@gmail.com
National Research University of
Informational Technologies, Mechanics
and Optics
www.ifmo.ru

«В какой степени выражается влияние каждой учебной дисциплины на профессиональную подготовку в целом? Существует ли влияние одной учебной дисциплины на другую, и в какой степени оно выражается?» Компоненты отношения W задают степень влияния одной учебной дисциплины на другую (w_{ij}) и степень влияния учебной дисциплины на профессиональную подготовку в целом (w'_i): 0 – влияние отсутствует; 0,1 – влияние практически отсутствует; 0,3 – слабое; 0,7 – существенное; 0,9 – сильное; 1 – максимально возможное. Полученные оценки всех экспертов усредняются с использованием методов экспертного оценивания (например, метода Дельфи [11]). Результаты представляются в виде направленного графа.

На следующем этапе определяется опосредованное влияние между концептами нечеткой когнитивной карты, т.е. формализуется взаимовлияние между учебными дисциплинами в учебном плане. Для этого используется процедура транзитивного замыкания когнитивной матрицы [10]. В результате транзитивного замыкания определяются элементы матрицы w_{ij} , характеризующие силу влияния между каждой парой концептов, что позволит определить количество дисциплин, на которые влияет i -я дисциплина, $\sum_{j=1}^n w_{ij}$, и количество дисциплин, которые на нее влияют,

$\sum_{i=1}^n w_{ij}$, тем самым перейти к оп-
ределению количества учебных
дисциплин, которые должны быть
изучены как после изучения i -й
дисциплины, так и до нее.

Фрагменты нечеткой когнитив-
ной карты экспертов до и после
транзитивного замыкания представ-
лены на рис. 1 и 2 соответственно.

2. Анализ нечеткой когнитивной карты с использованием метода q-анализа

На следующем этапе когнитив-
ного моделирования необходимо
проанализировать структуру моде-
ли, в том числе с использованием
симплициального анализа (q -ана-
лиза связности) [12]. В отличие
от традиционных исследований
связности графа [13], метод q -ана-
лиза позволяет судить о связности
системы более глубоко, уста-
навливая наличие взаимовлияния
симплексов системы через связи
между ними. При использовании
 q -анализа связности системы вы-
являются симплексы, более всего
влияющие на процессы в системе,
а также вершины, которые рацио-
нальнее выбирать в качестве управ-
ляющих; появляется возможность
проследить влияние различных ло-
кальных изменений на остальные
элементы системы и на структуру
системы в целом.

Для применения метода q -ана-
лиза введем понятия симплекса и

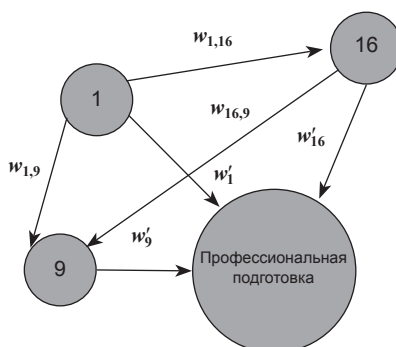


Рис. 1.

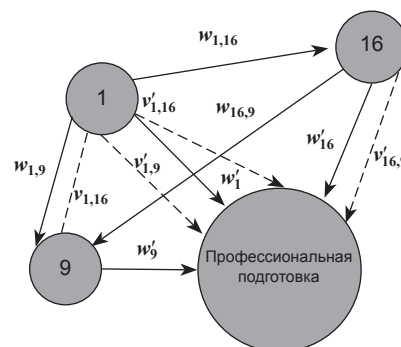


Рис. 2.

Здесь:

w'_i – степень влияния i -той учебной дисциплины на профессиональную подготовку в целом;
 v'_{ij} – степень влияния на профессиональную подготовку в целом, полученная при транзитивном замыкании;

w_{ij} – степень влияния одной учебной дисциплины на другую;

v_{ij} – степень влияния одной учебной дисциплины на другую, полученная в результате транзитивного замыкания

комплекса в предметной области. Для задачи построения учебного плана симплекс – это взаимосвязанные между собой учебные курсы, комплекс – множество всех симплексов в заданной системе. Согласно [14, 15] понятие «эксцентриситет» (*ecc*) является мерой гибкости к изменениям в системе, т. е. мерой интегрированности (многофункциональности) каждого симплекса в структуре всего комплекса.

По определению [14], эксцентриситет симплекса σ задается следующей формулой:

$$ecc(\sigma) = \frac{q' - q''}{q'' + 1},$$

где q' – размерность симплекса σ ;

q'' – наибольшее значение q , при котором σ становится связанным с каким-либо другим симплексом.

При решении задачи оптимизации учебного плана q -анализ исходной когнитивной карты позволяет выявить учебные дисциплины, которые являются наиболее гибкими к изменениям учебного плана, однако не учитывает опосредованные связи между ее концептами.

Проведем анализ нечеткой когнитивной карты с учетом опосредованных влияний после процедуры транзитивного замыкания. В этом случае повышается связность всех учебных дисциплин в комплексе, а значит, уменьшается их гибкость к изменениям учебного плана. При появлении значений *ecc*, равных ∞ , можно сделать вывод о том, что каждый симплекс данного комплекса полностью изолирован от остальных [14]. Значения, полученные при транзитивном замыкании когнитивной матрицы и определении *ecc*, говорят о целесообразности расположения наиболее многофункциональных учебных дисциплин ($0 < ecc < \infty$, $\sum_{i=1}^n w_{ij} = 0$) в первом семестре, а изолированных учебных дисциплин ($ecc = \infty$, $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 0$) в последнем семестре учебного плана. При расположении дисциплины в последнем семестре учебного плана также необходимо учитывать общую продолжительность обучения и число семестров, т. е. для послед-

него семестра должно выполняться неравенство $\sum_{i=1}^n w_{ij} > \frac{(m-1) * n}{m}$, где n – число дисциплин учебного плана, m – число семестров.

3. Определение полезности учебной дисциплины и задача максимизации полезности

Из-за субъективного характера полезности ее трудно оценить количественно. Тем не менее в целом ряде работ последнего времени [16–18] предлагаются различные подходы к формализации понятия полезности применительно к сфере образования.

В частности, подход, основанный на построении нечетких когнитивных карт и методах экспертного оценивания, позволяет формализовать и проанализировать полезность. А именно, суммарная полезность учебной дисциплины может быть рассчитана после процедуры транзитивного замыкания когнитивной матрицы как сумма всех степеней влияний (см. рис. 1 и 2):

$$u_i = w_i' + \sum_{j=1}^n v_{ij}' + \sum_{j=1}^n \frac{w_{ij}}{n} + \sum_{j=1}^n \frac{v_{ij}}{n},$$

где n – общее количество учебных дисциплин учебного плана.

Тогда математическая модель задачи максимизации суммарной полезности учебного плана может быть сформулирована как задача оптимизации в виде:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m x_i * u_i \rightarrow \max,$$

$$D = \left\{ x \in R^n \left| \sum_{i=1}^m x_i \leq V; x \in Z_+ \right. \right\};$$

$$a \leq x_i \leq b,$$

где V – общее количество зачетных единиц, отведенных на изучение дисциплин;

u_i – полезность зачетной единицы i -й учебной дисциплины;

a – минимальное количество зачетных единиц на изучение дисциплины;

b – максимальное количество зачетных единиц на изучение дисциплины.

$Z_+ = \{0\} \cup N$

В качестве алгоритма решения задачи при соблюдении ограни-

чений предметной области могут быть использованы метод ветвей и границ [4] или генетические алгоритмы [9].

4. Построение модели рабочего учебного плана и расчет трудоемкости учебной работы преподавателя на текущий учебный год

На предыдущих этапах были определены следующие характеристики учебного плана:

- количество зачетных единиц, отводимых на изучение каждой учебной дисциплины;
- расположение учебных дисциплин по семестрам.

Таким образом, с использованием этих характеристик после проектирования учебного плана возможно построение рабочего учебного плана.

Модель рабочего учебного плана может быть представлена в виде ориентированного графа, полученного из усредненной когнитивной карты экспертов (см. рис. 1 и 2) путем удаления концептов и их связей, если они расположены в семестрах, отличных от семестров текущего учебного года, а также концепта «Профессиональная подготовка».

Фрагмент данной процедуры представлен на рис. 3.

После определения концептов графа рабочего учебного плана добавим вершины, соответствующие преподавателям, трудоемкость учебной работы которых необходимо определить. Связь между концептом-преподавателем и концептом – учебной дисциплиной означает, что i -й преподаватель способен вести j -ую учебную дисциплину.

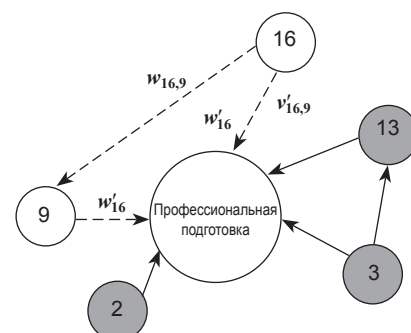


Рис. 3.

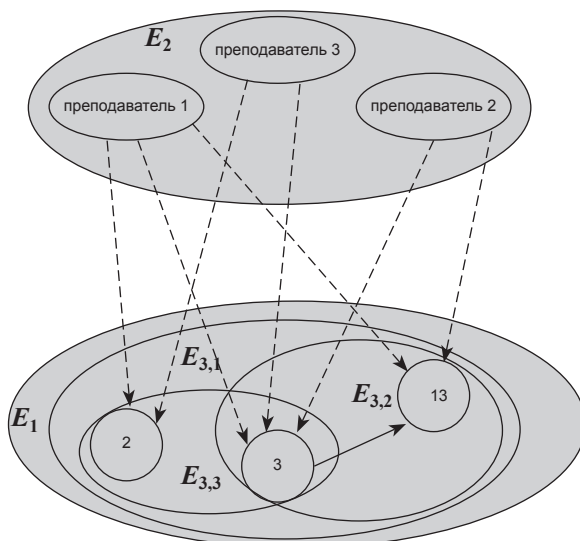


Рис. 4.

E_1 – множество учебных дисциплин рабочего учебного плана

E_2 – множество преподавателей, способных преподавать дисциплины данного учебного года

$E_{3,i}$ – множество дисциплин рабочего учебного плана, которые способен проводить i -тый преподаватель

Представим модель рабочего учебного плана в виде графа, фрагмент которого представлен на рис. 4.

После определения множества $E_{3,i}$ необходимо подсчитать суммарную продолжительность обучения P_i по данным дисциплинам в зачетных единицах, определенных на этапе решения ранцевой задачи, что будет соответствовать трудоемкости учебной работы преподавателя с данной группой на текущий период обучения (семестр).

Поскольку существуют рекомендации относительно минимальной (a) и максимальной продолжительности учебной нагрузки преподавателей разных категорий (b_1), а также рекомендации по работе одного преподавателя с учебной группой (b_2), введем ограничения для P_i вида $a \leq P_i \leq b_1$ и $P_i \leq b_2$, влияющие на распределение преподавателей по учебным дисциплинам рабочего учебного плана.

Тем самым задача построения рабочего учебного плана и расчета трудоемкости учебной работы преподавателя на текущий учебный год может быть сведена к задаче о назначениях, которую можно решить такими методами, как симплексный метод, метод, основанный на алгоритме максимального потока, и т.д. [20].

Таким образом, дополнительные ограничения для P_i позволят

поддержать процесс расчета трудоемкости учебной работы преподавателя, а значит, поддержать процесс разработки рабочего учебного плана вуза.

5. Метод поддержки внесения изменений в рабочий учебный план

Как показывает анализ регламентов работы с учебными планами, методических рекомендаций и положений о порядке разработки, утверждения рабочих учебных планов и внесения в них изменений при реализации ООП, внесение изменений в рабочие учебные планы может быть обусловлено такими причинами, как:

- введение или исключение дисциплины за счет перераспределения общих часов между дисциплинами цикла;
- замена одной дисциплины на другую;
- перенос дисциплины из одного семестра в другой;
- изменение формы контроля и промежуточной аттестации и т.д.

Среди экспертов, имеющих право вносить изменения в рабочий учебный план, выделяют преподавателей и заведующих кафедрами, реализующими данную ООП, ректоров вузов, их заместителей по учебной работе, ученый совет вуза,

Департамент по учебной и методической работе.

При изменении рабочего учебного плана заведующий профилирующей кафедрой готовит служебную записку с описанием предлагаемых изменений в рабочий учебный план.

При необходимости внесения изменений в рабочий учебный план эксперту (экспертам) предлагается построить и проанализировать новую нечеткую когнитивную карту по методам, рассмотренным в статье.

Отличительными особенностями новой нечеткой когнитивной карты будут измененные концепты – учебные дисциплины вследствие замены одной дисциплины на другую, изменения степени влияния дисциплины на профессиональную подготовку или на другие дисциплины.

В результате анализа новой нечеткой когнитивной карты появится возможность сравнить структуру учебного плана, полученного на этапе его первичного построения, с новой структурой учебного плана.

Полученные результаты также позволят определить изменения, которые необходимо внести в служебную записку заведующего кафедрой, места их возникновения, а также проанализировать целесообразность их внесения, а именно:

- значения ess учебных дисциплин вследствие замены одной дисциплины на другую могут измениться, что повлияет на расстановку дисциплин по семестрам;
- значения оптимального количества зачетных единиц, отводимых на изучение учебных дисциплин, могут измениться;
- общая полезность учебного плана может измениться, что позволит оценить целесообразность внесения изменений в рабочий учебный план (если общая полезность учебного плана с внесенными изменениями больше полезности первичного учебного плана, то внесение изменений является обоснованным).

Заключение

Таким образом, предложенный метод позволит формализовать, усреднить и проанализировать

оценки экспертов, участвующих в разработке учебного плана вуза, на их основании определить последовательность изучения учебных дисциплин, сформировать распределение зачетных единиц, при котором максимизирована полезность, построить модель рабочего учебного плана, тем самым поддержать процесс разработки рабочего учебного плана вуза на основе учебного плана, внесения изменений в рабочий учебный план и процесс расчета учебной нагрузки преподавателя.

Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 080500 «Бизнес-информатика» (квалификация (степень) «магистр»).
2. Воробьева Н.А., Носков С.И. Программное обеспечение для автоматизации процесса разработки учебных планов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6.
3. Глущенко А.И. Информационная система принятия решений по формированию индивидуальных учебных планов // Управление большими системами: сборник трудов. – 2006. – № 15.
4. Бабкина О.М., Бабкин Е.А. Об оптимизации учебных планов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2006. – № 7. – С. 19–20.
5. Дроздов Н.А. Оптимизация учебных планов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2008. – № 16. – С. 95–97.
6. Найханова В.А., Дамбаева С.В. Методы и алгоритмы принятия решений в управлении учебным процессом в условиях неопределенности: монография. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. – 164 с.: ил.
7. Харитонов И.М. Алгоритм формирования учебного плана с применением методики формализованного представления учебной дисциплины (на примере дисциплины «моделирование систем») // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 178–185.
8. Абрамова Н.А., Коврига С.В. Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт // Проблемы управления. – 2008. – № 6.
9. Семенов И. О. Методы и средства моделирования электронных учебных курсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Петрозаводск, 2013. – 23 с.
10. Ерохин Д.В. Моделирование инновационного механизма предприятия с применением нечетких когнитивных карт / Д.В. Ерохин, Д.Г. Лагерева, Е.А. Ларичева, А.Г. Подвесовский // Менеджмент в России и за рубежом. – 2006. – № 3.
11. Кузьмин А.М. Метод Дельфи // Методы менеджмента качества. – 2008. – № 4.
12. Горелова Г.В., Масленникова А.В. Имитационное моделирование на основе когнитивной методологии и системной динамики, анализ системы «Юг России» // Материалы научно-практической конференции «Системный анализ в экономике». – М.: ЦЭМИ РАН, 2012. – С. 54.
13. Горелова Г.В., Мельник Э.В. О возможности анализа и синтеза структур отказоустойчивых распределенных информационно-управляющих систем, основанных на когнитивном подходе // Искусственный интеллект. – 2008. – С. 638–644.
14. Касты Дж. Большие системы. Связность, сложность, катастрофы. – М.: Мир, 1982.
15. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров. – СПб.: СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
16. Скибицкий Э.Г., Скибицкая И.Ю. Механизм оценки педагогической полезности дидактического обеспечения подготовки специалистов в техническом вузе. Инновации в образовании. – 2009. – № 2. – С. 54–60.
17. Топоркова О.М. Полезность информации и рациональная организация учебного процесса // Ученые записки ИИО РАО. – 2008. – № 27. – С. 10–15.
18. Гуськова М.Ф. Полезность образовательной услуги // Вестник экономической интеграции. – 2007. – № 1. – С. 96–101.
19. Образовательный стандарт высшего профессионального образования НИУ ИТМО по направлению подготовки 080500 «Бизнес-информатика» (квалификация (степень) «магистр»).
20. Вагнер Г. Основы исследования операций: пер. с англ. – М.: Мир, 1972. Т. 1, Приложение I.2. Решение задачи о назначениях.