

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА РЕСУРСОВ И ИХ ПОСТАВЩИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ И КОММЕРЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

А. Н. Будяков, К. Г. Гетманова, М. Г. Матвеев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 04.05.2017 г.

Аннотация. Рассматривается подход к решению задачи выбора ресурсов и поставщиков. Предлагается модель выбора, обеспечивающая одновременное удовлетворение техническим и коммерческим требованиям. Приводится пример использования предложенной модели.

Ключевые слова: задача о назначении, граф, закупки, распределение ресурсов.

Annotation. The approach to solving the problem of selecting resources and suppliers using a model of choice that provides simultaneous satisfaction of technical and commercial requirements is described.

Keywords: assignment problem, graph, purchase, resource distribution.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эффективные решения по выбору источников ресурсов являются основой создания устойчивого функционирования любой производственной компании. Организационная структура крупных современных компаний, включающих территориально распределенные предприятия, обычно содержит специальное головное подразделение – закупочную организацию (далее закупщик), которой поручается поиск и отбор потенциальных предприятий-поставщиков (далее поставщиков) сырья, материалов, комплектующих изделий (далее ресурсов) для обеспечения функционирования объектов предприятий компании (далее заказчиков). Выбор поставщиков производится на основе технических требований к ресурсу, определяемых заказчиками, и коммерческих требований закупщика. Технические требования определяются в виде перечня технических характеристик ресурса с указанием диапазона их допустимых значений, например, производительность, срок службы и т. п. Коммерческие требования определяются также в виде перечня харак-

теристик с указанием диапазона допустимых значений, например, цена, сроки поставки и т. п. Как правило, стремление к достижению более высоких технических требований влечет увеличение коммерческих характеристик, то есть выбор осуществляется в условиях противоречивости целевых установок.

Закупщик получает заявки на приобретение необходимого количества ресурсов от заказчиков с указанием допустимых диапазонов требуемых значений технических характеристик. Как правило, техническим требованиям в той или иной степени соответствует несколько типов ресурсов одинакового назначения, которые будем называть однородными ресурсами. Закупщик имеет информацию о предложениях поставщиков, включающих количество предлагаемых ресурсов различного типа с указанием соответствующих технических и коммерческих характеристик.

Задача закупщика так сформировать портфель закупок, чтобы соблюдался определенный баланс коммерческих и технических требований к типам закупаемых ресурсов. Как правило, оптимально соблюсти такой баланс в условиях множественности и противоречивости коммерческих и технических характеристик сложная задача, требующая

применения адекватного математического инструментария. Подтверждением актуальности такой задачи является ее появление в составе современных SRM-систем [1, 2]; при этом применяются запатентованные модели и алгоритмы, рассматриваемые как ноу-хау компании разработчика [1].

Разработка модели принятия решений при закупках с соблюдением коммерческих и технологических требований к ресурсам – задача настоящего исследования.

Формирование портфеля закупок относится к классу задач о назначениях, в которых необходимо установить оптимальное соответствие между двумя множествами, отображаемое в виде двудольного графа. Классическая модель такой задачи имеет вид

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i; i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j; j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где $x_{ij} \in R^1$ – неотрицательные веса ij -ребер двудольного графа; $a_i; b_j \in R^1$ – неотрицательные веса вершин левой и правой долей графа соответственно; c_{ij} – значимость веса ij -ребра.

В большинстве известных моделей выбора поставщика, например, [3–5], применяется классическая модель (1)–(3) с экономической интерпретацией критерия (1). Особенностью рассматриваемой задачи является необходимость установления оптимального соответствия между тремя множествами: типами однородных ресурсов, поставщиками и заказчиками в условиях противоречивости целевых требований.

1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА РЕСУРСОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И КОММЕРЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Однородными ресурсами будем называть конечное множество ресурсов одинакового назначения (например, насосов), различающихся значениями технических характери-

стик и допускающими, в той или иной степени, взаимную замену при назначении на производственный объект. Обозначим множество однородных ресурсов $J = \{j\}$, $j = 1, \dots, m$ – тип однородного ресурса. Будем рассматривать K заказчиков с уникальными именами $k = 1, \dots, d$, работающих с одним закупщиком. Каждый заказчик $k \in K$, заказывает ресурс из J ; при этом каждому сочетанию имен $jk \in J \times K$ присваивается значение $\eta_{jk} \in [0, 1]$ – значение соответствия j -го типа ресурса объекту k -го заказчика, определяемое техническими характеристиками. Будем считать, что каждый заказчик заполняет свой столбец матрицы (η_{jk}) , анализируя соответствие технических требований и характеристик типов ресурсов $j = 1, 2, \dots, m$. Соответствие характеристик типов ресурсов и технических требований заказчиков можно отобразить двудольным графом, показанным на рис. 1.

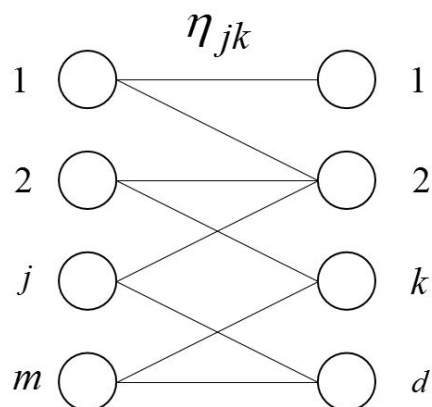


Рис. 1. Двудольный граф, задающий соответствие между типами ресурсов и техническими требованиями заказчиков

Количество j -го типа ресурса назначенного k -му заказчику обозначим y_{jk} , имея в виду, что потребность заказчика может быть обеспечена различными типами однородного ресурса. Потребное количество ресурса k -му заказчику обозначим $v_k = \sum_{j=1}^m y_{jk}$ и включим это значение, вместе со значениями соответствия в виде матрицы (η_{jk}) в заявку заказчика $z_k = \{(\eta_{jk}); v_k\}$, которую будем рассматривать как формализацию технических требований к закупкам.

Закупщик, получив заявки заказчиков по однородному ресурсу, формирует закупоч-

ный лот. Закупочный лот включает: общее количество потребного ресурса $v = \sum_{k=1}^d v_k$, матрицу (η_{jk}) , а также формализованные коммерческие требования. Формализация коммерческих требований осуществляется также, как и технических требований. Коммерческие требования задаются закупщиком в виде допустимых диапазонов коммерческих характеристик ресурса, например, верхнее значение цены p^{\max} ; желаемый диапазон сроков поставки (t^{\min}, t^{\max}) . Закупщик анализирует соответствие предложения i -го поставщика и коммерческие требования к j -му типу ресурса и оценивает степень соответствия – $\mu_{ij} \in [0,1]$. В результате формируется матрица (μ_{ij}) , задающая соответствие предложений поставщиков и коммерческих требований закупщика.

Теперь структуру выбора можно представить трехдольным графом (рис. 2).

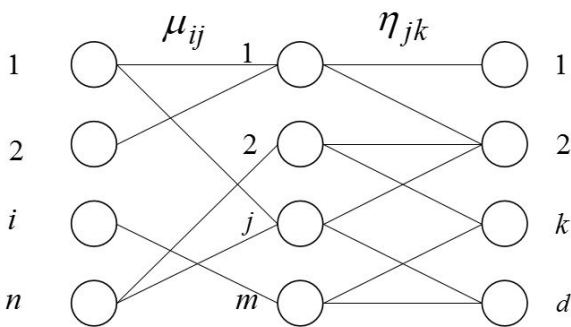


Рис. 2. Трехдольный граф, задающий соответствия между предложением и требованиями (техническими и коммерческими) к ресурсам

Будем считать, что каждый поставщик i предлагает один тип ресурса $j \in J$ в количестве a_i с уникальными значениями коммерческих и технических характеристик. Обозначим количество j -го ресурса закупаемого у i -го поставщика – x_{ij} .

Таким образом, задача закупщика может задаваться в следующей формулировке: закупить такое количество r_j каждого типа однородного ресурса, чтобы обеспечить максимальное соответствие коммерческим и техническим требованиям.

2. МОДЕЛЬ ВЫБОРА РЕСУРСОВ

Установление рационального соответствия между тремя множествами: ресурсами, поставщиками и заказчиками сводится к выбору значений переменных x_{ij} и y_{jk} таким образом, чтобы заказчики получили ресурсы с максимальным соответствием их техническим требованиям, а поставщики поставили эти ресурсы с минимальными отклонениями от коммерческих требований, сформулированных закупщиком. Эти технические и коммерческие требования могут не согласовываться, тогда возникает многоцелевая задача выбора. Рассмотрим эти требования подробнее.

Как уже отмечалось в разделе 1, допускается возможность замещения типов ресурсов с обязательным указанием заказчиком степени соответствия j -го ресурса k -му объекту η_{jk} . Тогда техническое требование предлагается формулировать в виде

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^d \eta_{jk} y_{jk} \rightarrow \max_y, \quad (4)$$

интерпретируемым как требование назначения на объекты предприятий как можно большего количества ресурсов с высокой степенью технического соответствия.

Автономное решение задачи (4) требует выполнения ограничений

$$\sum_j y_{jk} = v_k; \forall k, \quad (5)$$

$$r_j = \sum_k y_{jk}; \forall j. \quad (6)$$

Ограничение (5) означает, что каждое k -е предприятие должно получить ресурсов в требуемом количестве v_k . Ограничение (6) означает, что количество ресурсов j -го типа будет полностью распределено по предприятиям.

Сама идея конкурсного отбора поставщиков на основе коммерческих требований предполагает определенную гибкость в отношении удовлетворения коммерческих требований, т. е. допускается возможность отклонения параметров предложения от параметров закупочного лота. При этом разумно строить выбор, основываясь на минимизации всех отклонений. В нашей формализации отклоне-

ния представлены значениями соответствия коммерческих характеристик предложений и соответствующих коммерческих требований – μ_{ij} . Тогда коммерческие требования можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mu_{ij} x_{ij} \rightarrow \max_x. \quad (7)$$

То есть требуется закупать как можно больше ресурсов с максимальной степенью соответствия коммерческим требованиям закупочного лота.

Для (7) так же требуется выполнение ряда ограничений.

$$\sum_j x_{ij} = a_i; \forall i. \quad (8)$$

Ограничение (8) означает, что все предложения a_i потенциальных поставщиков должны быть удовлетворены. Это ограничение связано с математическими особенностями решения задачи. Чтобы привести это ограничение в соответствие с реальностью, вводится фиктивное предприятие, на которое назначаются все невостребованные предложения поставщиков. Тогда можно записать

$$\sum_i x_{ij} = r_j; \forall j. \quad (9)$$

Ограничение (9) означает, что все ресурсы с именем j , предлагаемые поставщиками, должны быть приобретены.

Критерии (4) и (7) могут вступать в противоречие по переменной r_j , значение которой зависит от искомым переменных x_{ij} и y_{jk} . Другими словами, удовлетворяя отдельно технологическим и коммерческим требованиям, будут получены разные значения r_j , т. е. приобретаться и распределяться будет разное количество ресурсов. Очевидно, что такое решение не может устраивать.

Выходом из положения является сведение многоцелевой задачи к одноцелевой (скалярной). Поскольку все функции критериев и ограничений являются линейными, можно воспользоваться аддитивной сверткой критериев (4) и (7), приняв, в частности, равные единице значения весовых коэффициентов свертки, т. е. признав коммерческие и технические требования равнозначными. В зависимости от вида приобретаемых ресурсов равнозначность

требований может не соблюдаться. В этом случае можно ввести весовой коэффициент λ , позволяющий определить доминирование одного из требований. Кроме того, поскольку величина r_j определяется в процессе решения и заранее не известна, необходимы условия сопряжения двух задач назначения. Сопряжение обеспечивается требованием равенства приобретаемых и распределяемых ресурсов:

$$\sum_i x_{ij} = \sum_k y_{jk}; \forall j. \quad (10)$$

Окончательно модель выглядит следующим образом:

$$\lambda \sum_i \sum_j \mu_{ij} x_{ij} + (1-\lambda) \sum_j \sum_k \eta_{jk} y_{jk} \rightarrow \max_{x,y}; \quad (11)$$

$$\sum_j y_{jk} = v_k; \forall k; \quad (12)$$

$$\sum_j x_{ij} = a_i; \forall i; \quad (13)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_k y_{jk}; \forall j; \quad (14)$$

$$x_{ij} \geq 0; y_{jk} \geq 0; \forall i, j, k. \quad (15)$$

Приведенная модель полностью укладывается в класс задач линейного программирования, поэтому решение полученной задачи не представляет трудностей.

3. ЧИСЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА РЕСУРСОВ

Пусть три заказчика подготовили в свою закупочную организацию заявки на некоторое оборудование, например, насосы, которое выпускается трех типов. В заявках указано, какой тип насоса наиболее подходит по техническим требованиям данного заказчика, а какие типы могли бы в той или иной степени заменить желаемый. Соответствующая информация показана в табл. 1.

Насосы обоих типов выпускают и продают два завода. Предложения этих заводов по количеству поставки и соответствию коммерческим требованиям заказчика, показаны в табл. 2.

Решение задачи выбора ресурсов и их поставщиков по предложенной модели удобно представить в виде трехдольного графа «поставщики» – «типы ресурсов» – «заказчики»

Таблица 1

Техническое соответствие η_{jk} типов насосов объектам заказчиков

| | Заказчик 1 | Заказчик 2 | Заказчик 3 |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Тип насоса, $j = 1$ | 1 | 1 | 0,8 |
| Тип насоса, $j = 2$ | 0,9 | 0,8 | 1 |
| Тип насоса, $j = 3$ | 0,7 | 0,9 | 1 |
| Количество в заказе | 5 | 7 | 3 |

Таблица 2

Коммерческое соответствие μ_{ij} предложений заводов и требований закупщика

| Предложение заводов | | Коммерческие требования закупщика | | |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| Кол-во поставки | Завод /тип насоса | Тип насоса 1 | Тип насоса 2 | Тип насоса 3 |
| 3 | 1 / 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 1/2 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 1/3 | 0 | 0 | 0,9 |
| 5 | 2/1 | 0,9 | 0 | 0 |
| 4 | 2/2 | 0 | 0,8 | 0 |
| 5 | 2/3 | 0 | 0 | 1 |

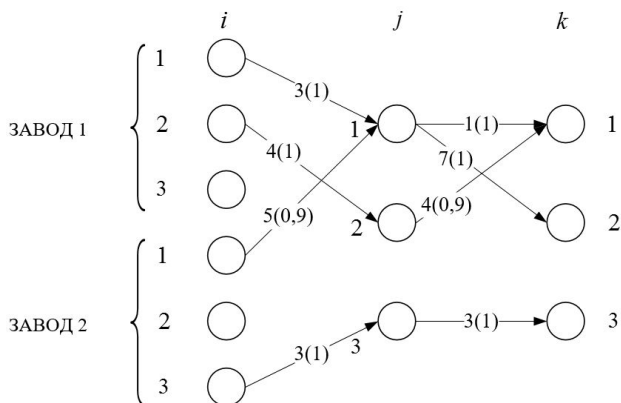


Рис. 3. Результаты закупки и распределения насосов по заказчикам

(рис. 3), на котором показано: у каких поставщиков произведена закупка, в каком количестве (вес дуги) распределены насосы и с каким соответствием (в скобках) коммерческим и техническим требованиям.

Результаты решения при $\lambda = 0,5$ показывают, что на заводе 1 были закуплены на выгодных условиях 1 и 2 типы насосов. Поскольку наиболее востребованный 1 тип насосов оказался в дефиците (потребность в качестве основного ресурса 12, при выгодном коммерческом предложении 3), пришлось закупить коммерчески менее выгодную партию насосов типа 1 на заводе 2. Насосы типа 3 полностью и выгодно закуплены на заводе 2.

Распределение полученных ресурсов осуществлено также вполне логично. Заказчики 2 и 3 качеством закупки удовлетворены полностью. Вследствие дефицита насосов типа 1, заказчику 1 дополнительно поставлены менее желаемые насосы типа 2. Все заказчики получили требуемое количество насосов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Численный пример апробации модели показал ее работоспособность, логичные выбор поставщиков и распределение закупленных ресурсов по заказчикам. Модель может быть использована закупщиком для поддержки принятия решений при организации закупок.

Особенность модели состоит в том, что она обеспечивает одновременное удовлетворение коммерческим требованиям при выборе поставщика и техническим требованиям при распределении закупленных ресурсов по заказчикам. В условиях противоречивости коммерческих и технических требований задачу можно рассматривать как многоцелевую. Предложенная линейная свертка (11) позволяет найти одно из компромиссных решений с помощью варьирования коэффициента λ , что обеспечивает возможность адап-

тации модели к меняющимся требованиям финансовой и технической политики компании.

Дальнейшее развитие модели выбора ресурсов и их поставщиков связано с совершенствованием алгоритмов задания соответствий η_{jk} – технических требований заказчика и технических характеристик типов ресурсов, а также соответствий μ_{ij} – коммерческих характеристик предлагаемых поставщиками ресурсов и требований к этим характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SAP Ariba – глобальная площадка для закупок и продаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sap-ariba.ru> (дата обращения: 30.04.2017)

2. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент: анализ, планирование, внедрение, контроль :

пер. с англ. / Ф. Котлер. – 2-е рус. изд., испр. – СПб. : Питер Ком, 1999. – 896 с.

3. Еремина Е. А. Информационная система выбора поставщика на основе метода нечеткого логического вывода [Электронный ресурс] : электрон. науч. журнал. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/pdf/2013/3/211.pdf> (дата обращения: 30.04.2017)

4. Еремина Е. А. Модель выбора поставщика материалов и комплектующих на основе метода нечеткого логического вывода / Е. А. Еремина // Альманах современной науки и образования. – Тамбов : Грамота, 2010. – № 2(33): в 2-х ч. Ч. I. – С.144–146.

5. Востриков А. В. Использование модели транспортной задачи при выборе поставщика, способа доставки и организации складирования продукции / А. В. Востриков // Вектор науки ТГУ. – 2009. – № 7 (10). – С. 47–51.

Будяков А. Н. – руководитель направления по методологии автоматизированных систем снабжения Дирекции по закупкам и капитальному строительству ПАО «Газпром нефть».
E-mail: Budyakov.AN@gazprom-neft.ru

Budyakov A. N. – Head of the Directorate for Procurement and Capital Construction in the direction of the methodology of automated supply systems of Gazprom Neft PJSC.
E-mail: Budyakov.AN@gazprom-neft.ru

Гетманова К. Г. – магистрант кафедры информационных технологий управления, факультет компьютерных наук, Воронежский государственный университет.
E-mail: christina.getmanova@yandex.ru

Getmanova K. G. – Undergraduate, Department of Information Technologies in Management, Computer Sciences Faculty, Voronezh State University.
E-mail: christina.getmanova@yandex.ru

Матвеев М. Г. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий управления, факультет компьютерных наук, Воронежский государственный университет.
E-mail: mgmatveev@yandex.ru

Matveev M. G. – Dr. Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Information Technologies in Management, Computer Sciences Faculty, Voronezh State University.
E-mail: mgmatveev@yandex.ru