ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Тимофеев В. А., д-р техн. наук, проф.,
Чуб О. И., аспирант
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
Новожилова М. В., д-р физ.-мат. наук, проф.
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

curly_4u@mail.ru

В условиях значительного износа основных фондов (инженерных коммуникаций, очистных сооружений и др.) коммунальных предприятий водоснабжения и водоотведения повышается роль ремонтно-строительных организаций в решении задачи обеспечения надежной непрерывной работы инфраструктуры мегаполиса. В качестве одной из предпосылок решения данной проблемы в работе рассматривается экономико-математическое моделирование и построение метода решения многокритериальной задачи управления ресурсным потенциалом ремонтно-строительной организации (РСО) в сфере водоснабжения. Предложено решение задачи оптимального распределения ограниченных ресурсов РСО при выполнении производственной программы (проекта ремонтных работ) как задачи оптимального размещения

Ключевые слова: *оптимальное планирование, стоимость ресурсов, задача оптимального размещения.*

Введение. Проблема обеспечения функционирования сложных социально-экономических и организационно-технических систем, к которым принадлежит инфраструктура современного мегаполиса, необходимо включает оптимальное использование разных видов ресурсов: финансовых, энергетических, трудовых и др. Объемы этих ресурсов строго ограничены, их стоимость возрастает во времени. Поэтому динамические задачи оптимального планирования и распределения ограниченных ресурсов как в детерминированной постановке, так и с учетом определенных видов неопределенности поведения внешней среды, являются предметом постоянного интереса специалистов, которые занимаются моделированием и созданием конструктивных средств решения оптимизационных задач ресурсосбережения.

Особенно актуальны такие задачи в организации деятельности ресурсо-ориентированных [1] коммунальных предприятий.

Анализ предыдущих исследований, посвященных моделированию и решению задач оптимального планирования ресурсов, позволил выделить три основные группы оптимизационных задач. Это задачи теории расписаний [2], задачи планирования ресурсов предприятия [3-5], которое осуществляет непрерывное или серийное производство, где условия уникальности действий, которые требуют определенного набора ресурсов и ограниченности временного ресурса отсутствуют или не являются критическими, а также задачи управления ресурсами проекта [6] как конечного множества операцийсуникальным набором свойств, выполняемого в жестко заданных временных рамках.

Особенностью деятельности ремонтно-строительной организации является то, что его производственная программа представляет собой непрерывную последовательность проектов ремонтных работ.

Для задач оптимального планирования ресурсов разработаны как точные (например, методы целочисленной оптимизации) так и целый спектр эвристических подходов на базе генетического алгоритма, алгоритма муравьиных колоний, tabu-search алгоритма, метода GRASP и др, эффективность которых с ростом количества ресурсов и выполняемых работ уменьшается.

Более перспективным представляется подход, основанный на моделировании задачи оптимального планирования ресурсов как задачи оптимального размещения геометрических объектов со специфическими ограничениями, которое позволяет осуществить дальнейшее развитие конструктивных методик решения задач данного класса на основе использования инструментальных средств решения задач размещения. В работах [7-9] рассмотрены некоторые задачи управления ресурсами и предложены подходы к определению оптимального решения с использованием конструктивных средств решения задач размещения [10-11]. Отметим, что в последнее время и в зарубежной печати появились научные публикации, в которых исследуется возможность представления задачи оптимального распределения ресурсов как задачи размещения [12].

Таким образом, целью статьи является экономико-математическое моделирование и построение и программная реализация метода решения многокритериальной задачи управления ресурсами ремонтно-строительной организации коммунального предприятия.

Постановка задачи. Пусть есть производственная программа A, состоящая из конечного множества ремонтных работ $A = \{A_j\}$, $j=1,2,\ldots,N$. Продолжительность каждой работы равна d_j. Обозначим r_{jk}. количество возобновляемого ресурса k, используемого в каждый момент времени выполнения работы A_j .Тогда кортеж $R_j = \{r_{j1},\ldots,r_{jM}\}$– это объем ресурсов, необходимых в каждый момент времени выполнения работы A_j, причем 1-й ресурс величины r_{j1} моделирует финансы, другие ресурсы в количестве $r_{j2},\ldots,r_{jM}$ – это различные типы оборудования.

Пусть также в каждый момент времени на программуA в целом в пределах горизонта планирования T^* выделены финансовые ресурсы R_1^* и множество $\{R_2^*,\ldots,\ R_M^*\}$ необходимых видов оборудования.

Важной характеристикой программы является наличие частичного упорядочения на множестве работ, задаваемого с помощью сетевой модели.

Время T измеряется в периодах, необходимое количество финансового ресурса – в денежных единицах, соотнесенных с избранным масштабом по временной оси.

Рассмотрим постановку оптимизационной задачи распределения ресурсов$\{T^*, R_1^*,\ \ R_2^*,\ldots,$ $R_M^*\}$ на множестве ремонтных работ программы как задачи оптимального размещения.

Каждая работа A_j в (M+1)-мерном пространстве ресурсов, графически может быть представлена как (M+1)-мерный гиперпараллелепипед A_j – в дальнейшем объект – причем множество $m_j= \{d_j,\ r_{j1},\ldots,r_{jM}\}$ определяет размеры графической модели A_j.

Величины $\{T^*, R_1^*, R_2^*,\ldots,\ \ R_M^*\}$ формируют область размещения Ω в пространстве ресурсов.

Замечание 1. Если для выполнения работы A_j нужный ресурс вида k, то соответствующее значение r_{jk}=0 и объект A_j имеет меньшую размерность.

Работы A_j, $j=1,2,\ldots,N$, размещаются в пространстве ресурсов, причем размещение A_j определяется вектором $(x_{j1},\ x_{j2},\ldots,x_{j(M+1)})$, связанным с некоторой вершиной A_j (рис. 1).

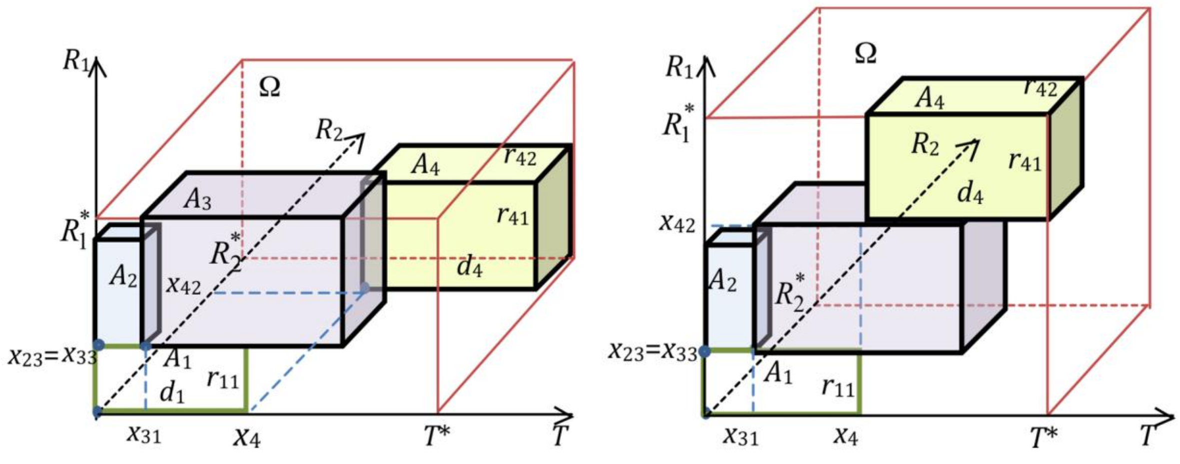


Рис.1. Размещение работ в пространстве ресурсов
а) размещение с учетом приоритетности финансовых ресурсов,
б) размещение с учетом приоритетности оборудования.

Замечание 2. Если для некоторой задачи оптимального планирования ресурсов программы имеют место соотношения

$$\sum_{j=1}^{N} r_{jk} \le R_k^*,\ k=1,2,\ldots,M, \qquad (1)$$

то такие задачи принадлежит к классу задач с неограниченными ресурсами.

Постановка задачи размещения. Необходимо разместить набор объектов A_j, j = 1,2, .. N, без взаимных пересечений в области размещения Ω с целью минимизации общего объема области. С точки зрения задачи планирования ресурсов это означает наиболее эффективное использование ресурсов при минимальном сроке выполнения программы.

Условия размещения объекта A_jв области Ω ($A_j \subset \Omega$) определяют выполнение данной работы в пределах программыAи аналитически описываются системой линейных неравенств вида:

$$\begin{cases} x_{jl} \geq 0, l = 1,...M+1, \\ \hat{T} \ - x_{j1} - d_j \geq 0, \\ \hat{R}_l \ - x_{j2} - r_{j1} \geq 0, \end{cases} , k=2,\ldots,M, \quad (2)$$

Далее, работы проекта не могут использовать один и тот же ресурс одновременно. При этом на практике для перемещения и подготовки сложного оборудования необходимо выделять некоторое время t_{k_μ}, k=1,2,…,M, $\mu \in$1,2,…, N.

Аналитически эти ограничения, принимая во внимание геометрическую форму представления работы в пространстве ресурсов, описываются набором линейных неравенств:

$$\left[\begin{array}{l} x_{j1} - x_{i1} \geq d_i + \max\limits_{k=2,..,M} (t_{k\_j} r_{k\_j}), \\ x_{i1} - x_{j1} \geq d_j + \max\limits_{k=1,..,M} (t_{k\_i} r_{k\_i}), \\ x_{jk} - x_{ik} \geq r_{il}, \\ x_{il} - x_{jl} \geq r_{jl}, \end{array} \right. \quad i, j = 1,2,\ldots,N, \ i \neq j; k=1,\ldots,M. \quad (3)$$

Условие частичного упорядочения означает, что работа A_ξ начинается в момент завершения работы A_η, если имеет место

$$A_\xi \succ A_\eta, \ \eta, \xi = 1,2,\ldots,N, \qquad \text{или} \qquad x_{\xi 1} - x_{\eta 2} - d_\eta = 0. \quad (4)$$

Для построения целевого функционала рассматриваемой задачи введеныдополнительные переменные T^{cr}, R_1^{cr} иR^{cr}

$$T^{cr} = \max_{j=1,..,N} (x_{j1} + d_j), \qquad R_1^{cr} = \max_{j=1,...,N} (x_{j2} + r_{j2}), \qquad R^{cr} = \sum_{i=1}^{M} \max_{j=1,...,N} (x_{ji} + r_{ji}). \quad (5)$$

Таким образом, целевой функционал $\Psi(u)$ задачи определяется выражением: $\Psi(u)$= $Tcr \times R_1^{cr} \times R^{cr}$, (6)

где $u=(x_{11}, x_{12},\ldots, x_{1M+1}, x_{21}, ..., x_{N(M+1)})$.

Оптимизационная математическая модель имеет вид:

найти: $$u^* = \underset{u \subset D \subset E^{(M+1)N+3}}{\arg\min} \Psi(u), \quad (7)$$

где область допустимых решений D описывается множеством ограничений (2-4).

Метод решения задачи (7). В данной работе использован подход,основанный на сведении задачи (7) в многокритериальной постановке к набору однокритериальных задач.

В качестве главного критерия (или первого в последовательности лексикографически упорядоченных частичных критериев) выступает время T^{cr}выполненияпрограммы (время критического пути).

Предлагаемый подход к решению задачи содержит в качестве первого этапа решение задачи планирования ресурсов проекта при условии выполнения ограничения (1):

$$T^{cr}(u^*) = \min_{u \in D_{uncon} \subset D \subset E^{(M+1)N+3}} \max(x_{j1} + d_j), \quad (8)$$

где область D_{uncon} задается условиями (2-4).

Наличие отношений (4) частичного упорядочения набора объектовA значительно сокращает множество возможных размещений. Поэтому в качестве метода решения на первом этапе достаточно рассмотреть метод оптимизации по группам переменных, на каждой итерации которого решается задача

$$T^{cr}(u_j^*) = \min_{u_j \in \Delta_{uncon}^j \subset E^M} \max(x_{j1} + d_j), \quad (9)$$

где область Δ_{uncon}^j имеет кусочно-постоянную границу и определяется ограничениями (2-4) с учетом неизменности параметров размещения объектов A_1, A_2,…,A_{j-1}. Очевидно, оптимальное решение $u_j^* = (x_{j1}^*, x_{j2}^*, x_{j3}^*)$ –вершина области

Δ_{uncon}^{j}.

Решение задачи (9) кроме длины критического пути T^{cr} определяет множество

$$A^{cr} = \{ A_1^{cr}, A_2^{cr}, ..., A_{\overline{K}}^{cr} \}$$

критических работ программы, суммарная продолжительность которых равнаT^{cr}, и множество некритических работ программы

$$A^{non\_cr} = \{ A_1^{non\_cr}, A_2^{non\_cr}, ..., A_K^{non\_cr} \}, \quad \overline{K} + K = N.$$

Кроме того, решение задачи (8) позволяет оценить реальный объем ресурсов, необходимых для выполнения производственной программы организации.

Задача второго этапа представляется в виде последовательности задач

$$R_k^*(v^*) = \min_{v \in D^{non\_cr}} \max(x_{jk} + r_{kj}), \qquad (11)$$

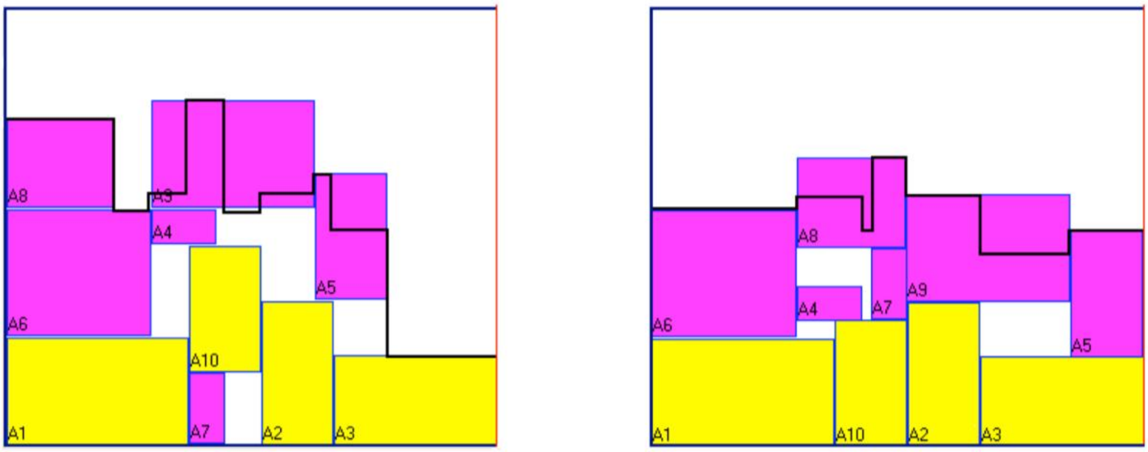
выравнивания ресурсов с учетом определенного критического пути и резервов времени для некритических операций. Задачи упорядочены по приоритетности ресурсов.

Для решения задачи второго этапа предложен модифицированный метод ветвей и границ [13], что позволило определить оптимальное решение задачи.

Программная реализация метода решения осуществлена в среде визуального проектирования Borland Delphi 7.0, язык программирования Object Pascal6.0. Файлы исходных данных и справочной документации созданы в стандартном редакторе текстовых документов Windows Notepad.exe.

Ряд численных экспериментов показал высокую эффективность предлагаемого подхода. На рис. 3. показан пример решения модельной задачи. В данном случае проект содержит 10 работ, для каждой из работ определены ее продолжительность и необходимый объем финансового ресурса. На рис. 2а) представлено решение задачи (8), где светлым цветом выделены критические операции. Непрерывной линией показануровень финансового ресурса, необходимый в каждый момент выполнения проекта.

На рис. 2.б) показано решение задачи (11) выравнивания финансового ресурса.



а) б)

Рис. 2. Реализация метода решения задачи оптимального планирования ресурсов проекта
а) решение задачи первого этапа,б) решение задачи второго этапа

При решении практической задачи распределения ресурсов для выполнения работ по реконструкции участков водопроводных сетей г. Харькова (пр. Московский, 248г) были получены следующие результаты. Проект содержит 30 укрупненных работ. Каждая из работ характеризуется временем выполнения, величиной финансовых ресурсов, а также набором необходимой сложной техники для выполнения работы (максимальное число типов оборудования – 4). Расчетный критический путь проекта (решение задачи первого этапа) составил 84 дня, что на 4 дня лучше результата, полученного программой MS Project (разработчик – фирма Microsoft). Решение задачи 2 выравнивания ресурсов (при неизменном критическом пути) позволило сократить дневное потребление ресурсов в среднем на 17 %.

Выводы Предложенный в статье инструментарий экономико-математического моделирования и решения многокритериальной многомерной задачи распределения ресурсов ремонтно-строительной организации при выполнении проекта ремонтных работ является базой управления ресурсным потенциалом коммунального предприятия в детерминированной постановке и с учетом неопределенностей влияния внешней среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуб О.И. Экономико-математическая модель задачи планирования работ ремонтно-строительных организаций // Вестник Запорожского национального университета. 2011. Вып. 3(11). С. 106-115.

2. Kis T. Cutting plane approach for integrated planning and scheduling // Computers&Operations Research. 2012. № 39.PP. 320–327.

3. Umble E. J., Haft R. R., Umble M. M. Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors // European Journal of Operational Research. 2003. № 146. PP. 241–257.

4. Михалевич В.С., Шкурба В.В. Последовательные схемы оптимизации в задачах упорядочения выполнения работ // Кибернетика. 1966. № 2. С. 34-40.

5. Эвристические методы календарного планирования / Т.П.Подчасова, В.М.Португал, В.А.Татаров, В.В.Шкурба. – К.: Техника. 1980. 140с.

6. Neumann K., Schwindt C., Zimmermann J. Project Scheduling with Time Windows and Scare Resources. Berlin: Springer, 2003. 340p.

7. Новожилова М.В., Мурин М.Н. Формализация ограничений одной задачи распределения ресурсов проекта // Научный вестник строительства. 2007. № 43. С. 229-231.

8. Чуб И.А., Иванилов А.С., Новожилова М.В. Постановка и решение оптимизационной динамической задачи управления ограниченными ресурсами проекта // Проблемы машиностроения. 2010. Т. 4. № 2. С. 79-84.

9. Новожилова М.В., Попельнюх Н.А. Анализ задачи управления ресурсами в условиях стабильности окружающей среды // Научный вестник строительства. 2005. № 31. С. 313-317.

10. Castro Pedro M., Oliveira Jose F. Scheduling inspired models for two-dimensional packing problems // European Journal of Operational Research. 2011. № 215. P.45-56.

11. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. К.: Наукова думка, 1986. 266 с.

12. Чуб И.А., Новожилова М.В. Конечный метод поиска глобального минимума задачи размещения прямоугольных объектов // ДАН Украины. 2011. №11. С. 56-61.