УДК 338.28 08.00.13

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИОННО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ СКЛАДИРОВАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ТОВАРОВ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р.С. Рогулин
Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток

Данная статья содержит модель обобщения четырех ранее известных задач линейного программирования: производственная задача (классическая постановка) – решение представляет собой вектор количества произведенных конечных продуктов, найденный при ограничениях на количество ресурсов с учетом максимизации прибыли, задача учета времени – данная задача является скорее дополнительным условием в общей системе ограничений и относится к целевой функции (минимизация затраченного суммарного времени на транспортировку груза), задача максимального потока – нахождение максимального объема вывоза с мест производства при ограничении на пропускную способность и особенность строения графа дорог, задача размещения центров – определение пунктов производства из определенного ранее списка возможных мест. В частности, постановка задачи, которая объединяет все четыре вышеперечисленные проблемы в одну комплексную, в точности подходит к случаю, когда организация собирается выйти на новый рынок. Данная задача появилась на лесоперерабатывающем комплексе в процессе открытия новых производственных цехов. Данная работа посвящена построению линейной смешано-целочисленной модели, нахождению метода и подбора алгоритма для определения оптимального решения производственно-транспортной задачи. Такую задачу можно отнести к классу нетривиальных комбинаторных задач о принятии решений на предприятии.

Ключевые слова: максимальный поток, оптимизация времени, производство, линейное программирование, обобщение.

В эпоху высоких технологий каждое предприятие стремится к минимизации издержек и максимизации прибыли при различных ограничениях. При всем многообразии методов оптимизации процессов управления ресурсами предприятий в научной литературе недостаточно представлены единые алгоритмы и модели для нахождения оптимального решения комплексных проблем хозяйственной деятельности предприятия. На любом предприятии существуют следующие основные задачи: задача производства (оптимальный выпуск продукции), транспортная задача, задача максимального потока, задача минимизации времени, задача о размещении центров сбыта (обслуживания), задача распределения людских ресурсов при производстве. В нашей статье мы рассмотрим только четыре из них: задача производства (оптимальный выпуск продукции), минимизации времени, задача максимального потока, задача о размещении центров.

В литературе известны решения похожей проблемы [16]. Рассмотрим ее постановку задачи. Цель задачи: найти оптимальный вектор объема производстватоваров и оптимальный вектор транспортировки по двудольному графу при ограничениях: заданных объемах ресурсов на складе, данных о времени прохождения каждой дуги графа – дороги, имеющихся потребностях покупателей в каждом конечном пункте. Целевая функция: максимизировать доход от продажи и минимизировать издержки в процессе производства и транспортировки.

Представленная проблема, как видно из статьи, может быть решена комплексно и ее решение будет оптимальным, однако, мы предлагаем рассматреть более сложную задачу, как с точки зрения экономики, математики, так и объема вычислений (вычислительная сложность). Как следует из [16], граф рассматривается двудольным, но далеко не всегда в задачах оптимизации транспортный граф можно свести к такому виду. Также в [16] не рассмотрена ситуация, когда предприятие планирует либо расширение производства в виде открытия новых пунктов производства, либо, когда предприятие собирается впервые выйти на рынок. В этом дополнительном условии необходимо учесть расходы на открытие пункта производства и найти этот пункт так, чтобы расходы были минимальны при открытии и транспортировки от этого пункта до потребителей. Кроме того, перед отправкой продукции необходимо ее произвести и держать на складе временного хранения в пункте производства, соответственно, встает вопрос о том, чтобы учесть вместимость складов, что также у авторов работы [16] не представлено.

Сформулируем обобщенную постановку рассматриваемой в данной статье задачи: во-первых, в каком количестве и какого типа продукции стоит производить, во-вторых, каков объем перевозки продукции из каждого пункта производства (склада) с учетом минимизации суммарного затраченного времени на транспортировку и с учетом пропускной способности графа (дорог), в-третьих, определить районы развертывания производства из заранее заданного списка возможных пунктов производства.

Такая задача может возникнуть при планировании объемов производства у ряда предприятий, которые собираются вновь открыться или же зайти на рынок. Все вышеперечисленные задачи сводятся к линейным моделям, что значительно упрощает нахождения оптимального решения [10, 21].

Для того, чтобы построить оптимизационную модель для решения, сформулированной выше задачи, необходимо рассмотреть известные подзадачи. При имеющихся запасах ресурсов и заданных рынком ценах необходимо найти оптимальный объем при дополнительном условии наличия норм затрат ресурсов на производство единицы продукции. Такая подзадача получила распространение в литературе - производственная задача [10]. Обратим внимание на другую подзадачу – задачу минимизации времени (при транспортировке груза). Стоит отметить еще одну проблему, которая решена, но также является лишь отдельной маленькой подзадачей – задача максимального потока [10]. Модель этой задачи посвящена нахождению такого пути, пропускная способность которого была бы максимальной на всем графе дорог. Вопрос об оптимальном размещении пунктов производства рассмотрен в отдельной подзадаче – задача размещения центров [10]. При имеющихся временных затратах найти оптимальное решение транспортной подзадачи – задача учета времени [16].

Для решения каждой из четырех вышеописанных задач существуют отдельные модели [10, 16], но мы предлагаем комплексное решение четырех вышеописанных задач. Для решения вышеперечисленных задач используются алгоритмы поиска оптимального решения.

Постановка задачи

Пусть существует некоторый “рецепт” производства каждого вида товара из исходного вида сырья. Обозначим сам “рецепт” как

$$A = \{A_{i_1 j_1}\}, i_1 = 1{:}\,n_1, j_1 = 1{:}\,m_1, \quad (1)$$

Где - A_{ij} это элемент, соответствующий тому, сколько потребуется ресурса i для производства j товара. Пусть также существует граф дорог (матрица смежности) с ее пропускной способностью и обозначим ее как

$$d = \{d_{ij}\}, i = 1{:}n, j = 1{:}n. \quad (2)$$

Также экзогено задано время для транспортировки товара из пункта i в j, обозначим матрицу временных затрат как

$$T = \{t_{ij}\}, i = 1{:}n, j = 1{:}n. \quad (3)$$

Определим вектор цен реализации товара j, как

$$P = \{p_{j_1}\}, j_1 = 1{:}m_1 \quad (4)$$

Зададим максимальное количество производственных пунктов как Q. Оп ределим максимальную вместимость складов на пунктах производства, как

$$L = \{L_{j_1}\}, j_1 = 1{:}m_1 \quad (5)$$

Для полноты набора данных остается определить количество запасов сырья и нормы затрат на открытия новых пунктов производства в каждом из рассматриваемых пунктов, обозначим их соответственно

$$b = \{b_{i_1}\}, i_1 = 1{:}n_1 \quad (6)$$

$$f = \{f_{j_1}\}, j_1 = 1{:}m_1 \quad (7)$$

Сформулируем *практическую методику решения задачи* исходя из необходимости *разработки систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой*[1] на предприятии: необходимо построить математическую модель, смысл которой был бы в нахождении оптимума из соображений минимизации времени прохождения по графу, максимизации прибыли с учетом пропускной способности, норм затрат на производство единицы продукции каждого типа, запасов сырья, затрат на открытия новых мест производства. После построения модели запускаем известный алгоритм по поиску оптимального решения из условий класса, полученной модели (линейная, нелинейная, динамические и др.). В последнюю очередь запускаем алгоритм трассеровки – толкование вектора решения с экономической точки зрения.

Сформулируем производственную задачу.

Пусть k_j – есть количество товара j, которое подлежит производству из условия оптимума, пусть x_{ij} – есть количество товара, перевозимое из пункта i в пункт j.

Исходя из постановки задачи статьи, нужно максимизировать прибыль. Запишем это [1, 8].

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} k_{j_1} p_{j_1} \to \max \quad (8)$$

Исходя из наличия запасов сырья ограничение примет вид [1, 8]

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} A_{i_1 j_1} k_{j_1} \le b_i, i_1 = 1{:}\, n_1 \quad (9)$$

Количество продукции может быть только целым значением [1, 8], тогда

$$k_{j_1} \in Z^+ \quad (10)$$

Сформулируем задачу максимального потока [12, 13]

Целевая функции примет вид

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \to max, \quad (11)$$

Пусть существует определенная пропускная способность графа, тогда ограничение на объемы перевозок по графу примет вид [1, 8]:

$$0 \le x_{ij} \le d_{ij}, i = 1{:}\, n, j = 1{:}\, n \quad (12)$$

Определим объем выходящего потока равным входящему. Это значит, что не существует количества товара, которое бы осталось на промежуточных стадиях перевозки и каждый раз товар будет полностью вывезен [8, 14, 15], тогда

$$\sum_{i} x_{ij} = \sum_{j} x_{ij}\, ; i, j \in I, J, \quad (13)$$

где - I, J есть множества входных и выходных размеров дуг соответственно.

Определим задачу минимизации времени

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} t_{ij} y_{ij} \to \min, \quad (14)$$

,

где $y_{ij} \in (0; 1)$.

Математическая модель Задачиразмещения центров рассмотрена в [10, 21].

Заменим (12) на (16) и добавим ограничение (15), которое будет усиливать (16).

$$y_{ij} \le x_{ij} \quad (15)$$

$$0 \le x_{ij} \le y_{ij} d_{ij}, i = 1{:}\, n, j = 1{:}\, n \quad (16)$$

Ограничение (15) выполняют важную роль в системе ограничений, обеспечивая ей непустое множество решений.

Обозначим задачу F_0:

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} k_{j_1} p_{j_1} + \sum_{i}\sum_{j} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} t_{ij} y_{ij} - \sum_{j_1} f_{j_1} z_{j_1} \to max, \quad (17)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_j x_{ij}\,; i, j \in I, J \qquad (18)$$

$$y_{ij} \leq x_{ij}, i = 1{:}\,n, j = 1{:}\,n \qquad (19)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq y_{ij} d_{ij}, i = 1{:}\,n, j = 1{:}\,n \qquad (20)$$

$$k_{j_1} \in Z^+, j_1 = 1{:}\,m_1 \qquad (21)$$

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} A_{ij_1} k_{j_1} \leq b_i, i = 1{:}\,n_1, \qquad (22)$$

$$z_{j_1}, y_{ij} \in (0; 1), i = 1{:}\,n, j = 1{:}\,n, j_1 = 1{:}\,m_1 \qquad (23)$$

$$k_{j_1} \leq L_{j_1} z_{j_1}, j_1 = 1{:}\,m_1 \qquad (24)$$

$$\sum_{j_1} z_{j_1} \leq Q \qquad (25)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j_1 j} \leq L_{j_1} z_{j_1}, j_1 = 1{:}\,m_1 \qquad (26)$$

где m – число конечных пунктов потребления, m_1 – типы производимого товара, n – число вершин в графе, n_1 – типы сырья. F_0 является задачей линейного целочисленного программирования.

Подобные задачи часто возникают на любых производственных предприятиях: что производить и в каких объёмах, чтобы суммарная прибыль предприятия была максимальна с учетом минимизации временных и денежных издержек.

Задача F_0, решена с помощью пакета Matlab. Ответ получим в виде одномерных массивов X. Размерность $X = r + 2n^2 + r$. Первые r элементов отвечают за количество произведенного товара.

Следующие n^2 переменных - объем перевезенной продукции по каждой дуге. Следующи еn^2 элементов отвечают за значения вспомогательных переменных y. Последние r элементов отвечают за количество переменных для определения открытых пунктов производства. Рассмотрим ее подробнее.

В нашем примере количество пунктов производства r=4. Пусть M – число вершин графа, тогда M-r-m есть число остальных вершин (перекрестки, склады, перевалочные пункты и т.д.)

Обзор алгоритмов

Существует несколько методов решения таких задач. Среди них можно выделить: метод Литтла, метод ветвей и границ, генетический алгоритм.

Метод Литтла представляет собой алгоритм отсечений путем генерации прямых (плоскостей, гиперплоскостей) и введением их в систему ограничений [3].

Метод ветвей и границ представляет собой дерево решений, конечным результатом которой является оптимальное решение [4].

Таблица 1

Сравнительные характеристики алгоритмов

Название алгоритма\признаки сравнения	Скорость сходимости	Учитывает ли проблему "BigData"
Метод Литтла [3]	Высокая	Нет
Метод ветвей и границ [4, 9]	Низкая	Нет
Генетический алгоритм [5, 10, 11]	Низкая	Да

Вышеперечисленные методы являются достаточно быстрыми алгоритмами для задач небольшой выборки. Однако, когда объем данных слишком велик становится очевидным тот факт, что эти два метода не позволяют решить задачу.

Однако, уже в XXI столетии был разработан генетический алгоритм. Ниже приведена общая схема алгоритма [5]. Данный алгоритм особенно хорош, когда мы говорим о задачах линейного программирования (ЛП). Согласно теории [1], допустимое множество решений, а значит и оптимальное в том числе, есть множество компакт [7] – ограниченное и замкнутое. Как известно, одним из главных минусов этого эвристического алгоритма является тот факт, что существует вероятность нахождения алгоритмом локального минимума и далее застревание в нем. Так как, множество допустимых решений является компактом то, очевидно, что за конечное время генетический алгоритм найдет решение линейной задачи, даже если задача будет большой размерности. Сложность этого алгоритма заключается в составлении целевой функции.

Тестирование модели на реальных данных предприятия

Пусть даны матрицы норм затрат

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 6 & 2 & 4 & 5 & 6 & 7 & 1 & 2 & 6 & 2 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 2 & 6 & 9 & 4 & 5 & 3 & 2 & 6 & 2 & 6 & 9 & 4 & 5 & 3 & 2 & 6 \\ 5 & 4 & 5 & 2 & 1 & 7 & 1 & 5 & 5 & 4 & 5 & 2 & 1 & 7 & 1 & 5 \\ 4 & 8 & 9 & 8 & 3 & 2 & 4 & 5 & 5 & 4 & 5 & 2 & 1 & 7 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$, пропускной способности

графа D [6], время для прохождения каждого участка графа T [6] и матрицы цен $P = (4;\ 9;\ 10.5;\ 6.5)$, запасов ресурсов $b = (40; 60; 70; 100)$, максимальная вместимость на складах при производствах $L = 10I$,где I – есть единичный вектор размерностью 1х16, предельное количество пунктов производства Q=10, стоимость открытия пунктов производства $f = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 0, 8, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 16)$. Все данные представлены в [6].

На рисунке 1 можно увидеть произвольную визуализацию D. Номера вершин – пункты производства, промежуточные пункты, пункты потребления.

Решим задачу комплексно (код представлен в [6] и реализован на языке Matlab).

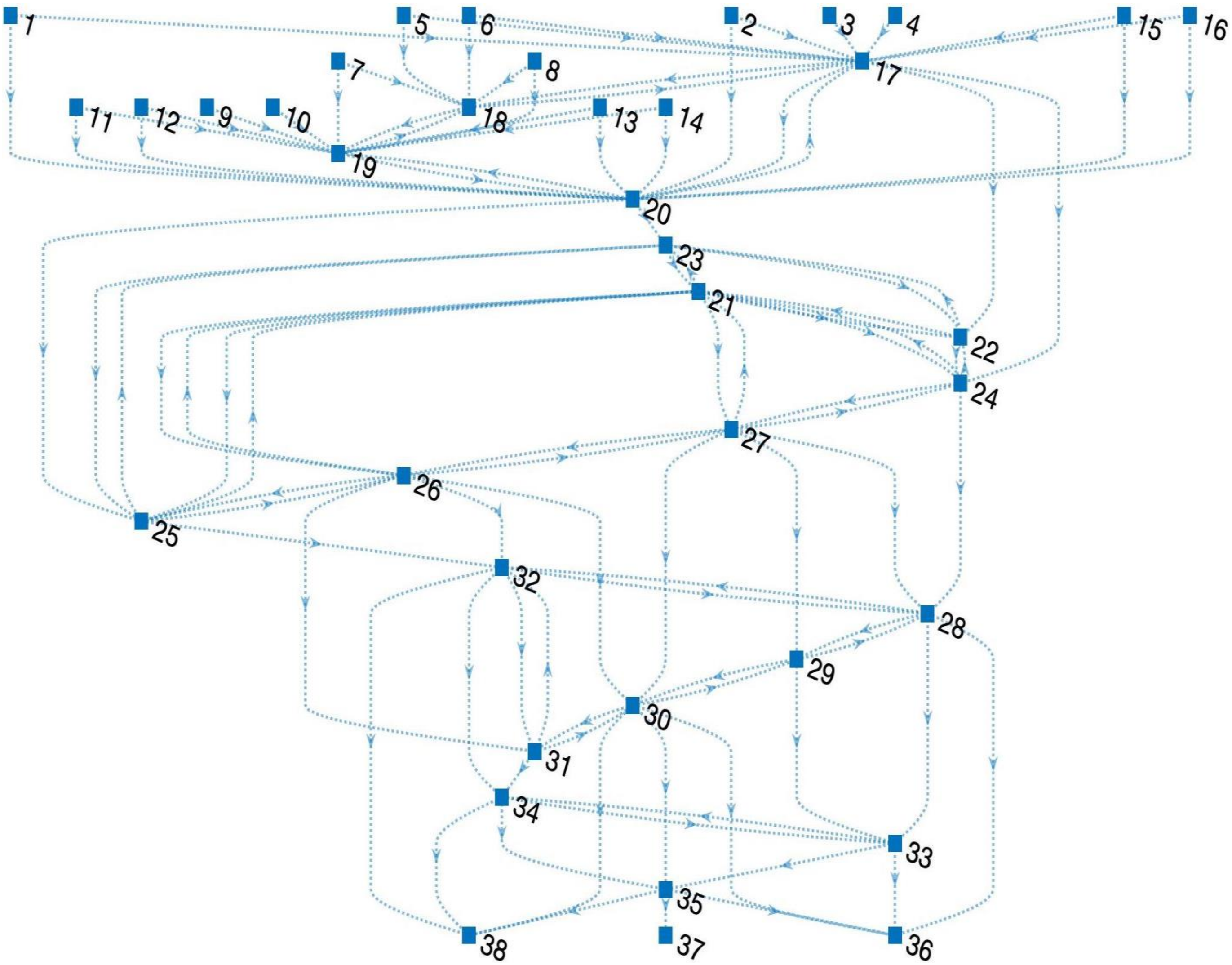

Рис. 1 Произвольная визуализация матрицы смежности D (пропускных возможностей)

На рисунке 2 представлена визуализация решения. Решить такую задачу последовательно представляется крайне трудоемким занятием, во-первых, придется перебрать все возможные способы последовательности решения такой задачи, что составит 4!=24 варианта, т. е. придется решить 24 отдельные задачи, во-вторых, это крайне долгий процесс особенно при достаточно большой выборке начальных данных, поэтому рассмотрим только решение комплексной задачи.

На рисунке 2 обнаружены «висячие» вершины, которые не вошли в граф решения в соответствии с алгоритмом Литтла.

В таблице 2 представлены выходные данные программных реализаций [6]. Веса дуг – есть объем транспортируемой продукции по графу.

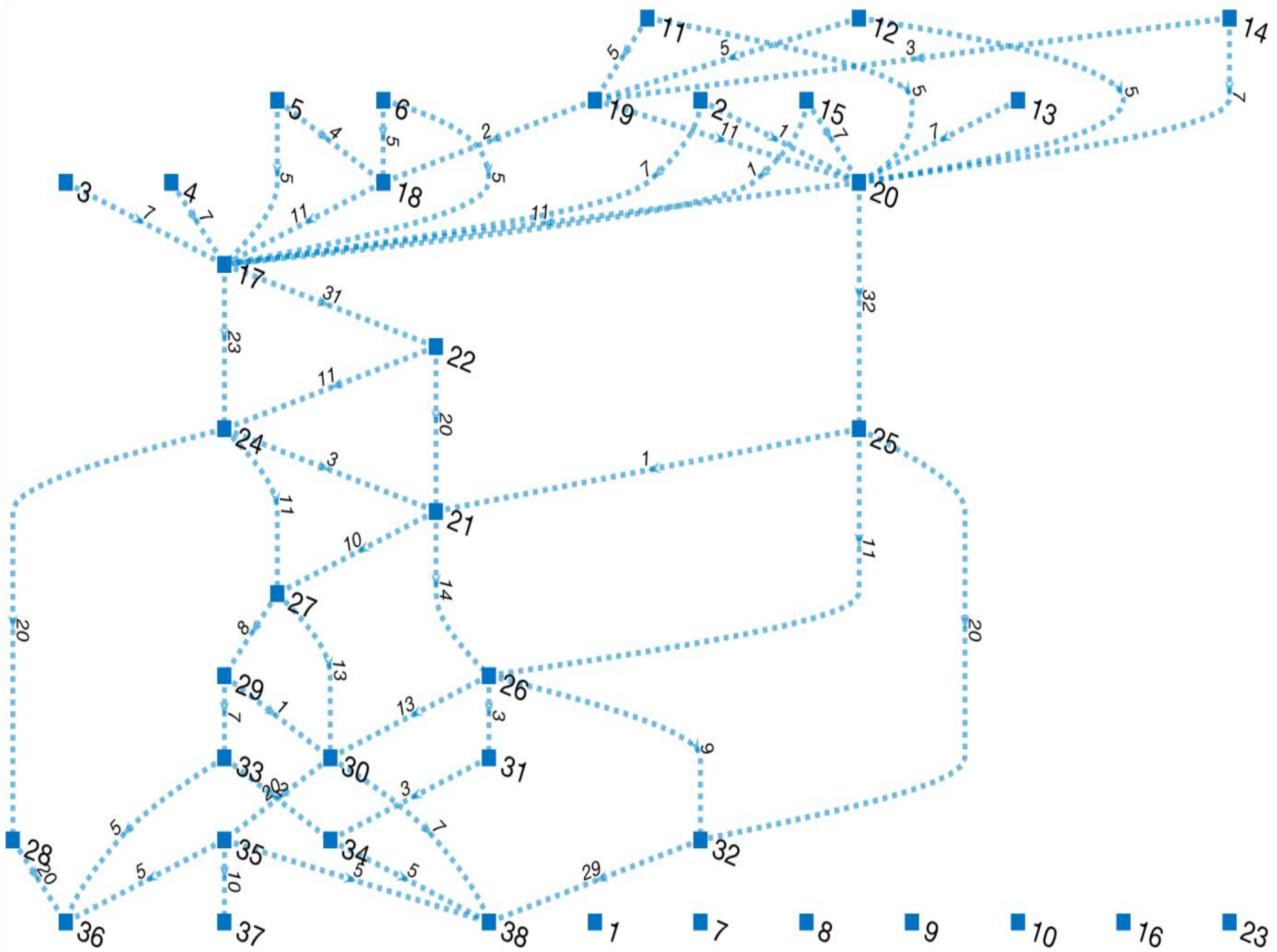

Рис. 2. Визуализация вектора ответа X (решение комплексной модели)

Таблица 2

Ответ к задаче

Критерий	Значение
Объем произведенной продукции (вектор), шт	(0, 8, 7, 7, 9, 10, 0, 0, 0, 0, 10, 10, 7, 10, 8, 0)
Суммарные затраты на перевозку по времени, у. е.	1444
Остатки сырья (вектор), шт	(36, 175, 385, 615)
Прибыль, у. е.	$7.0850 * 10^{12}$

Рассмотрим объемы произведенной продукции: (0, 8, 7, 7, 9, 10, 0, 0, 0, 0, 10, 10, 7, 10, 8, 0). Из него явствует, что первый завод произвел 0 единиц, второй 8 единиц, третий 7 единиц и т. д. Суммарное количество товаров равно 86 единиц.

Суммарные временные издержки на транспортировку минимальны исходя из условия (14).

Запасы ресурсов: (36, 175, 385, 615). Это означает, что первого ресурса на складе осталось 36, второго 175, 385 третьего, четвертого 615. Исходя из запасов можно сделать вывод, что существует возможность для дальнейшего продолжения производства, однако, существуют другие ограничения, которые не позволяют этого сделать: максимальное количество производственных пунктов (25).

Рассмотрим вершину 3. На рисунке 2 отчетливо видно, как из вершины 3 выходит следующие дуга: 3→17→24→14→27→29→33→36, с соответствующими весами: 7, 23, 11, 8, 7, 5. Тот факт, что вес каждой дуги не одинаков говорит о том, что в каждой пройденной вершине протекает некоторый процесс, по факту завершения которого, вес дуг может меняться. Такой результат может быть вызван целым рядом экономических факторов: переупаковка контейнеров с последующим изменением его веса/объема/стоимости и прочего, слияние в один поток несколько других потоков и другие. Также тот факт, что в матрицах D; T присутствуют такие элементы, что выполняется (на примере матрицы T) $t_{ij}=t_{ji}$, также наталкивает на мысль, что данный алгоритм и его програмная реализация могут решать не только задачи на обычных графах, но и на псевдо-графах.

Выводы

В данной статье была рассмотрена одна из возможных постановок задачи, которая обобщает ранее известные 4 классические подзадачи линейного программирования. Кроме того, был проведен анализ известной комплексной модели [16] по решению нетривиальной комбинаторной производственной проблемы. В ходе этого анализа были выведены недостатки в учете ряда важных производственных проблем. В работе представлено сравнение известных методов поиска оптимального решения. Было показано, что такую задачу возможно сформулировать в рамках задачи линейного программирования. Решен пример на 38 вершинах. Показано, что такую задачу возможно решать и визуализировать средствами пакета Matlab. Представлены возможные экономические ситуации, когда эта модель могла быть уместна. Рассмотрен ряд возможных модернизаций этой задачи и представленной модели. На примере показано, что решать задачу стоит комплексно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Е. В. Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. Примеры и задачи: Учеб. Пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. 131 с.
2. Писарук Н. Н., Исследование операций – Минск: БГУ, 2016. – 304 с.
3. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. – М.:Мир, 1971. – 534 с.
4. A. H. Land and A. G. Doig. An automatic method of solving discrete programming problems, стр. 497-520.
5. РутковскаяД., ПилиньскийМ., РутковскийЛ. Нейронныесети, генетическиеалгоритмыинечеткиесистемы = Siecineuronowe, algorytmygenetycznеisystemyrozmyte. — 2-еизд. — М: Горячаялиния-Телеком, 2008. — 452 с. — ISBN 5-93517-103-1.
6. URL: https://pastebin.com/L7ZTFtda
7. Протасов В. Ю. Максимумы и минимумы в геометрии. — М.: МЦНМО. — 56 с. — (Библиотека «Математическое просвещение», выпуск 31).
8. Писарук Н. Н., Исследование операций – Минск: БГУ, 2015. – 304 с.
9. Chu, W. S., de la Torre, F., Cohn, J. F., &Messinger, D. S. (2017). A Branch-and-Bound Framework for Unsupervised Common Event Discovery. International Journal of Computer Vision, 1-20. DOI: 10.1007/s11263-017-0989-7
10. Siew Mooi Lim, Abu Bakar Md. Sultan, Md. Nasir Sulaiman, Aida Mustapha, and K. Y. Leong, "Crossover and Mutation Operators of Genetic Algorithms," International Journal of Machine Learning and Computing vol. 7, no. 1, pp. 9-12, 2017.

11. X. Du, Z. Li, and W. Xiong, “Flexible Job Shop scheduling problem solving based on genetic algorithm with model constraints,” in Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2018, pp. 1239–1243, Singapore, December 2008.

12. P. Sumathi (2016) A new approach to solve linear programming problem with intercept values, Journal of Information and Optimization Sciences, 37:4, 495-510, DOI: 10.1080/02522667.2014.996031

13. Daganzo, C. F., &Smilowitz, K. R. (2004). Bounds and approximations for the transportation problem of linear programming and other scalable network problems. Transportation Science, 38(3), 343-356. DOI: 10.1287/trsc.1030.0037

14. HadiHeidariGharehbolagh, Ashkan Hafezalkotob, Ahmad Makui, and SedighRaissi, “A cooperative game approach to uncertain decentralized logistic systems subject to network reliability considerations,” Kybernetes, vol. 46, no. 8, pp. 1452–1468, 2017.

15. Палий И.А. ВВЕДЕНИЕ В ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2017. – 200 с. ISBN 978-5-93204-353-0

16. Рогулин Р.С., Нечаев П.В., Плешанов Д.Е., Евдакимова Н.С., Гончаров Е.Д., Максименко В.И. Обобщенная оптимизационная задача производственно-транспортных процессов на предприятии // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. No 6(78). С. 133–141

INTEGRATED OPTIMIZATION AND PRODUCTION MODEL OF WAREHOUSING PROCESSES AND TRANSPORTATION OF GOODS. INDUSTRIES

R. S. Rogulin

This article contains a model of generalization of four previously known linear programming problems: Production Problem (Classical Statement) - the solution is a vector of the number of finished products produced, found under restrictions on the amount of resources, taking into account of profit maximization. The task of time tracking is this task is rather an additional condition in general system of restrictions and refers to the objective function (minimizing the total time spent on the transportation of cargo), the task is maximum The main flow rate is finding the maximum volume of export from production sites with a restriction on the carrying capacity and structural feature of the road graph. The task of locating centers is to determine production points from a previously defined list of possible locations. In particular, the formulation of the problem, which combines all four of the above problems into one complex, exactly fits the case when the organization is going to enter a new market. This task appeared on the timber processing complex in the process of opening new production workshops. This work is devoted to building a linear mixed-integer model, finding a method and selecting an algorithm for determining the optimal solution of the production and transport problem. Such a task can be attributed to the class of non-trivial combinatorial decision-making problems in an enterprise.

Keywords: maximum flow, time optimization, production, linear programming, generalization.

References

1. Alekseyeva E. V. Construction of mathematical models of integer linear programming. Examples and tasks: Studies. Manual / Novosibirsk. state University-T. Novosibirsk, 2012. 131 p.

2. Pisaruk N. N., operations Research-Minsk: BSU, 2016. - 304 p.

3. Akof R., Sasieni M. Fundamentals of operations research. Moscow: Mir, 1971. – 534 p.

4. A. H. Land and A. G. Doig. An automatic method of solving discrete programming problems, page 497-520.

5. Rutkowska., Pilinski., Rutkowski. Neural networks, genetic algorithms = Siecineuronowe , algorithmygenetyczneisystemyrozmyte. - 2nd ed . - M: Goryachayaliniya-Telecom, 2008. - 452 s . — ISBN 5-93517-103-1.

6. URL: https://pastebin.com/L7ZTFtda

7. Protasov V. Yu. Maximums and minimums in geometry. — M.: Mosk. - 56 p.- (Library "Mathematical education", issue 31).

8. Pisaruk N. N., operations Research-Minsk: BSU, 2015. - 304 p.

9. Chu, W. S., de la Torre, F., Cohn, J. F., &Messinger, D. S. (2017). A Branch-and-Bound Common Framework for Unsupervised Event Discovery. International Journal of Computer Vision, 1-20. DOI: 10.1007/s11263-017-0989-7

10. Siew Mooi Lim, Abu Bakar Md. Sultan, Md. Nasir Sulaiman, Aida Mustapha, and K. Y. Leong, " Crossover and Mutation Operators of Genetic Algorithms," International Journal of Machine Learning and Computing vol. 7, no. 1, pp. 9-12, 2017.

11. X. Du, Z. Li, and W. Xiong, "Flexible Job Shop scheduling problem solving based on genetic algorithm with model constraints," in Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2018, pp. 1239-1243, Singapore, December 2008.

12. P. Sumathi (2016) A new approach to solve the linear programming problem with intercept values, Journal of Information and Optimization Sciences, 37:4, 495-510, DOI: 10.1080/02522667.2014.996031

13. Daganzo, C. F., &Smilowitz, K. R. (2004). Bounds and approximations for the transportation problem of linear programming and other scalable network problems. Transportation Science, 38(3), 343-356. DOI: 10.1287/trsc.1030.0037

14. HadiHeidariGharehbolagh, Ashkan Hafezalkotob, Ahmad Makui, and SedighRaissi, "A cooperative game approach to uncertain decentralized logistics systems subject to network reliability considerations," Kybernetes, vol. 46, no. 8, pp. 1452-1468, 2017.

15. Paliy I. A. INTRODUCTION to LINEAR PROGRAMMING: a Textbook. Omsk: SibADI Publishing house, 2017. – 200 p. ISBN 978-5-93204-353-0

16. Rogulin R. S., Nechaev P. V., Pleshanov D. E., Evdakimova N. S., Goncharov E. D., Maksimenko V. I. Generalized optimization problem of production and transport processes at the enterprise / / Applied Informatics. 2018. T . 13. No 6(78). C . 133-141