УДК 338.28 **DOI**: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-368-375

Об определении набора складских баз в условном экономическом районе с параллельным определением оптимальной работы логистики

Р. С. Рогулин, В. И. Максименко, М. О. Смолей, Е. С. Пугачева, В. В. Матвеев, Д. В. Злобина

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Цель данных исследований – вывести экономико-математическую модель, позволяющую определить, с одной стороны, район расположения производства исходя из стоимости затрат на производство, с другой стороны определить объем перевозимого товара с учетом времени и стоимости доставки от пункта производства (склада) до потребителя (заказчика). Сложность состоит в том, чтобы комплексно учесть все описанные выше проблемы при решении такой задачи. Если решать такую проблему последовательно, т. е. выделять подзадачи и решать их отдельно и в конце, перебрав все подзадачи, получить решение, то из строго математического доказательства следует, что решение может получиться не оптимальным, что противоречит цели данной статьи. Был проведен обзор методов и алгоритмов решения такой нетривиальной комбинаторной задачи. В качестве научной новизны представлена комплексная математическая постановка задачи (математическая модель) в рамках линейного целочисленного программирования. Так как все алгоритмы по поиску оптимального решения известны и достаточно проработаны, то при решении задач любого линейного программирования этот факт заметно упрощает скорость поиска оптимального решения. В данной статье предложено комплексное решение трех задач линейного программирования: транспортная задача, задача о максимальном потоке, задача размещения центров. Предложенная модель может быть использована на любом предприятии, где необходимо найти оптимальный комбинаторный вариант для доставки со склада готовой продукции с целью минимизации затрат на транспортировку. Задача, которую мы решаем, впервые появилась на предприятии лесоперерабатывающей направленности. Данное предприятие расположено территориально на российском Дальнем Востоке. Базовым предприятием, откуда поступили числовые данные, явилась организация, которая имеет полный цикл производства, включая добычу, переработку сырья, производство в самом широком понимании этого слова, транспортные возможности, дополнительный капитал для расширения складской базы. ***Результатом статьи*** является, во-первых, вывод математической комплексной модели, во-вторых, реализация модели и алгоритма по поиску оптимального решения на высокоуровневом языке программирования, что дает возможность читателю пользоваться аппаратным средством при решении подобной задачи на производстве.

Ключевые слова: математическое моделирование, линейное программирование, максимальный поток, размещение центров, производство.

On determining the set of warehouse bases in a conventional economic region with parallel determination of the optimal logistics

R. S. Rogulin, V. I. Maksimenko, M. O. Smoley, E. S. Pugacheva, V. I. Matveev, D. V. Zlobina

Far Eastern Federal University, Vladivostok

The purpose of this article is to derive an economic and mathematical model that allows, on the one hand, to determine the area of production based on the cost of production costs, on the other hand, to determine the volume of production and the volume of transported goods from the point of production (warehouse) to the consumer (customer). The difficulty is to comprehensively take into account all the problems described above when solving such a problem. If we solve this problem sequentially, that is, isolate the subtasks and solve them separately, and at the end go through all the subtasks to get a solution, then from a strictly mathematical proof it follows that the solution may not be optimal, which contradicts the purpose of this article. Methods and algorithms for solving such a nontrivial combinatorial problem were reviewed. A complex mathematical formulation of the problem (mathematical model) in the framework of linear integer programming is presented as scientific novelty. Since all algorithms for finding the optimal solution are known and well developed, when solving problems of any linear programming, this fact significantly simplifies the speed of finding the optimal solution. This article proposes a comprehensive solution to three linear programming problems: transport problem, maximum flow problem, center allocation problem. The proposed model can be used at any enterprise where it is necessary to find the optimal combinatorial option for delivery from a warehouse in order to minimize the cost of transporting finished products. The task we are solving first appeared at a timber processing enterprise. This enterprise is located territorially in the Russian Far East. The basic enterprise from which the numerical data came was an organization that has a full production cycle, including extraction, processing of raw materials, production in the broadest sense of the word, transportation capabilities, additional capital to expand the warehouse base.***The result*** of the article is, firstly, the derivation of a mathematical complex model, and secondly, the implementation of the model and algorithm for finding the optimal solution in a high-level programming language, which allows the reader to use hardware to solve similar problems in production.

Keywords: mathematical modeling, linear programming, maximum flow, center placement, production.

Введение

Каждое предприятие в ходе хозяйственной деятельности ставит главной задачей минимизацию издержек в процессе транспортировки. 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 предприятий: задача производства (оптимальный выпуск продукции), транспортная задача (определение пути и объема перевозок по двудольным графам), задача максимального потока (нахождение максимального по объему перевозок пути на графе), задача минимизации времени, задача о размещении центров сбыта (обслуживания), задача распределения людских ресурсов при производстве. В нашей статье мы рассмотрим только три из них: транспортную задачу, задачу размещения центров, задачу о максимальном потоке, как единую комплексную задачу.

При имеющихся денежных транспортных издержках необходимо найти оптимальный объем перевозки продукции напрямую. Такая задача получила распространение в литературе как транспортная задача [1].

Существует помимо этой задачи, и другая не менее сложная с точки зрения трудозатрат на ее решения: задача размещения центров [2] – в этой задаче ставится вопрос об определении расположения складов в рассматриваемом районе так, чтобы расстояние от всех грузополучателей до складов было минимально. Ограничения описаны в [4].

Стоит отметить еще одну проблему – задачу о максимальном потоке. Цель – найти максимально возможный поток на графе с учетом пропускной способности графа и объема, перевозимого по графу. Рассмотрим ряд методов и моделей, которые решают данные задачи (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Методы и модели решения поставленной задачи / Methods and models for solving the problem

Методы и модели. Факторы / Methods and models. Factors	**Описание стратегии / Strategy description**
Квадратическое программирование (КП) [1; 2]	Составляется отдельная квадратическая модель, после работы стандартных алгоритмов КП, представляется ответ к задаче в виде одномерного массива
Supply Chain Management (SCM) [2]	Управленческая концепция и организационная стратегия, заключающаяся в интегрированном подходе к планированию и управлению всем потоком информации о сырье, материалах, продуктах, услугах, возникающих и преобразующихся в логистических и производственных процессах предприятия, нацеленном на измеримый совокупный экономический эффект (снижение издержек, удовлетворение спроса на конечную продукцию). Концепция основана на генетическом алгоритме
Генетический алгоритм [1]	Эвристический алгоритм поиска, который используется для поиска решения задач оптимизации и моделирования. Стратегия заключается в случайном подборе, комбинировании и вариации изначальных параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе

Последнее время большое внимание научного общества приковано к эвристическим алгоритмам [1], в частности, к модификациям генетического алгоритма [9; 10]. Однако, несомненным минусом этого алгоритма является долгая сходимость на небольших объемах выборки [1]. Т. к. лесотехническая отрасль редко имеет задачи с большими выборками [1; 8], где генетический алгоритм себя показывает крайне эффективно [6; 8], то мы откажемся от его использования.

Методы из области Supply Chain Management крайне сложны при моделировании. Сложность возникает на стадии учета всех параметров [6]. Также в качестве сложности можно указать и вычислительную проблему [7].

Подобного рода задачи возможно решать в рамках квадратического моделирования, однако, как известно вычислительная сложность таких задач выше, чем у линейных, при этом, согласно теории [1; 7], квадратические модели всегда можно свести к линейным.

Математике известны отдельные модели по решению рассматриваемых задач [1; 2; 3; 4], но мы предлагаем комплексное решение трех вышеописанных отдельных задач. Под комплексным решением будем понимать единую линейную модель смешанно-целочисленного программирования для трех вышеуказанных проблем лесоперерабатывающего комплекса. Комплексное решение позволит найти оптимальное решение рассматриваемой экономической задачи в отличии от известных последовательных моделей и методов.

Сформулируем обобщенную экономическую постановку задачи: определить оптимальный вариант размещения складов так, чтобы стоимость доставки со склада (пункта производства) до покупателя товара была минимальной. Цель: минимизировать расходы на транспортировку (денежные), количество открытых пунктов складирования (*).

Такая модель может быть полезна для любой логистической компании.

Данная работа посвящена построению экономико-математической модели, выбору метода и алгоритма поиска оптимального решения описанной выше комбинаторной задачи. Решение всех вышеперечисленных проблем сводится к линейным моделям, что значительно упрощает нахождение оптимального решения, отдельно модели известны в литературе [1; 2]. Для решения вышеперечисленных задач используются алгоритмы поиска оптимального решения – метод отсечения (Гомори) [3], ввиду его наискорейшей сходимости на небольших выборках.

Материалы и методы

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

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

Обозначим матрицу пропускной способности графа как:

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

Пусть существует некоторое количество товара, определенное спросом потребителя (магазины, ИП и т. д.). Обозначим его за

$$a = \{a_j\}, \quad j = 1{:}m, \quad (3)$$

Кроме того, определим затраты на перевозку товара из пункта i в j. Обозначим как

$$C = \{c_{ij}\}, \quad i = 1{:}n, \quad j = 1{:}m. \quad (4)$$

Доопределим входные данные издержками на открытие предприятие в каждом рассмотренном пункте, как

$$f = \{f_i\}, \quad i = 1{:}n, \quad (5)$$

Максимальное количество пунктов производства определим количеством Q. Для полноты набора данных остается определить количество запасов товаров, необходимое доставить до потребителя, обозначим их как

$$b = \{b_i\}, \quad i = 1{:}n. \quad (6)$$

Транспортная задача. Пусть $x_{i_1 j_1}$ – есть количество товара, перевозимое из пункта i_1 в пункт j_1 [11; 12].

Необходимо минимизировать расходы, тогда целевая функция примет вид [4]:

$$\sum_{i_1=1}^{n} \sum_{j_1=1}^{n} x_{i_1 j_1} c_{i_1 j_1} \to \min. \quad (7)$$

Учтем спрос потребителя, тогда [15; 16]:

$$\sum_{i_1=1}^{n} x_{i_1 j} = a_j, \quad j = 1{:}m. \quad (8)$$

Также, учтем запасы на складе, тогда:

$$\sum_{j_1=1}^{n} x_{i j_1} \le b_i, \quad i = 1{:}m. \quad (9)$$

Задача о максимальном потоке. Цель рассматриваемой модели заключается в том, чтобы на исследуемом дорожном графе найти максимальный поток, т. е. такой поток, чтобы по нему можно было перевезти максимального много продукции. Математическая модель подробно представлена в [1, 2].

Задача о размещении центров обслуживания. Цель рассматриваемой математической модели заключается в том, чтобы лучший комбинаторный вариант (один пункт или несколько) из рассматриваемых пунктов (складов/ производственных центров) с условием, чтобы стоимость перевозки была минимальной от выбранных пунктов до потребителей. Математическая модель подробно представлена в [1; 5; 7].

Обозначим задачу F_0:

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c_{ij}x_{ij} + \sum_{i=1}^{n} f_i\, z_i \to \min, \qquad (*)(10)$$

$$k_i = \sum_{j=1}^{m} x_{ij}\,, \qquad i = 1{:}\,n, \qquad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{n} k_i = \sum a_j \qquad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = \sum_{i=1}^{n} x_{ij}\,;\ i = 1{:}\,n, \qquad j = 1{:}\,m, \qquad (13)$$

$$y_{ij} \le x_{ij}, \qquad i = 1{:}\,n, \qquad j = 1{:}\,m, \qquad (14)$$

$$0 \le x_{ij} \le d_{ij}, \qquad i = 1{:}\,n, \qquad j = 1{:}\,m \qquad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = a_j, \qquad j = 1{:}\,m, \qquad (16)$$

$$\sum z_j \le Q, \qquad (17)$$

$$z_i \in (0;1), \qquad i = 1{:}\,m, \qquad (18)$$

где:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{ij} > 0 \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \qquad (19)$$

другими словами, $y_{ij} = 1$, тогда и только тогда, когда происходит отправка продукции из склада i в пункт j,

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{ij} > 0 \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \qquad (20)$$

другими словами, $z_j = 1$, тогда и только тогда, когда происходит отправка продукции из склада i в пункт j. Ограничение (11) отражает объем i продукта, отправленного по всем дугам, инцидентным i вершине (пункту производства). (12) предназначено для того, чтобы модель в ходе поиска решения нашла весь суммарный объем, потребный для отправки и производства. (13) означает, что объем входящего потока равен объему выходящего потока. Ограничение (14) утверждает случай, когда происходит отправка продукции по дороге инцидентной складу i и покупателю j, тогда $y_{ij} = 1$, ограничение (14) служит усилением к ограничению (15). (16) служит частным конечным пунктом доставки. Ограничение (17) не дает задействовать больше, чем Q складов.

Подобные задачи часто возникают на любых производственных предприятиях: что производить и в каких объемах, 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 $X = r + 2n^2$. Первые r элементов отвечают за количество открытых пунктов складов. Следующие n^2 переменных – объем перевезенной продукции по каждой дуге. Последние n^2 элементов отвечают за значения вспомогательных переменных y. Рассмотрим ее подробнее.

Существует несколько методов решения таких задач. Среди них можно выделить: Метод Литтла, Метод ветвей и границ, Генетический алгоритм (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Сравнительные характеристики алгоритмов / Comparative characteristics of the algorithms

Название алгоритма\ признаки сравнения / Algorithm name\signs of comparison	**Скорость сходимости / Convergence rate**	**Учитывает ли проблему "Big Data" / If "Big Data" considers the problem**
Метод Литтла [5]	высокая	нет
Метод ветвей и границ [6]	низкая	нет
Генетический алгоритм [7]	низкая	да

Метод Литтла (метод отсечений) представляет собой итеративный алгоритм отсечений от допустимого множества решений путем генерации прямых (плоскостей, гиперплоскостей) и введением их в систему ограничений [3]. Метод ветвей и границ заключается в построении дерева решений, конечным результатом которого является оптимальное решение [8]. Описанные выше методы являются достаточно быстрыми алгоритмами для задач с небольшой выборкой. Но в случае, когда рассматриваемая проблема имеет большую размерность, тогда методы Литтла и Ветвей и границ не позволяют решить задачу. В обозримом прошлом был разработан генетический алгоритм. Ниже приведена общая схема алгоритма [9]. Данный алгоритм особенно хорош, когда необходимо решить задачи линейного программирования (ЛП). Согласно теории [10], допустимое множество решений, а значит и оптимальное в том числе, есть множество компакт [1; 10] – ограниченное и замкнутое. Из литературы известно, что одной из главных проблем этого алгоритма является тот факт, что существует ненулевая вероятность нахождения алгоритмом локального минимума и дальнейшее застревание в нем. Ввиду того, что множество допустимых решений является компактом, то за конечное время работы генетического алгоритма решение линейной задачи сойдется, даже если задача будет большой размерности. Сложность этого алгоритма заключается в составлении целевой функции.

Выберем метод Литтла, ввиду быстрой сходимости на небольшой выборке.

Результаты и обсуждение

Все входные данные представлены по ссылке[1]. Входные данные получены на одном из предприятий лесотехнической отрасли в Приморском крае. На рисунке 1 представлена произвольная визуализация графа D – дорожной сети, на которой предстоит провести работу алгоритму. Номера при вершинах – пункты производства (промежуточные пункты или пункты потребления). Веса дуг матрицы пропускных способностей – есть максимальное число единиц продукции, которое можно провезти по каждой дуге.

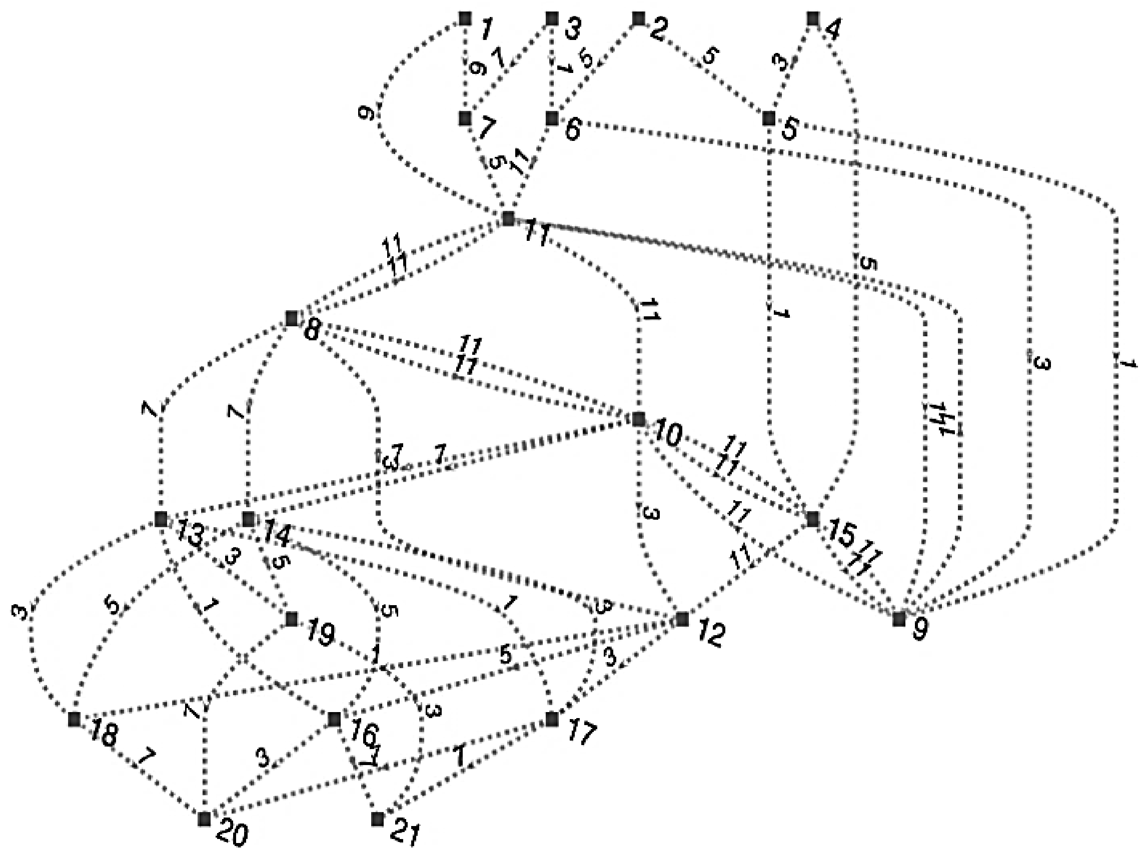

Рис. 1. Произвольная визуализация графа D /
Fig. 1. Arbitrary visualization of graph D

[1] https://pastebin.com/HJaet1ZW

Решим задачу с входными данными [12; 13].

Рассмотрим рисунки 2 и 3. На них отчетливо видно, что начинается перевозка из разных пунктов, что влечет за собой разные издержки, во-первых, по открытию нового пункта, во-вторых, по конечному варианту передвижения по графу дорог. Однако стоит заметить, что не всегда будут разниться решения, другими словами, будет существовать такой граф, последовательное решение на котором будет совпадать с решением комплексной модели. Этот фактор связан со структурой графа.

Рассмотрим таблицу 3. В таблице представлен суммарный объем заявки, который был выполнен. Однако, видно, что при последовательном методе решения такой экономической задачи оптимум не достигается, т. к. сущетсвует другое решение, в котором суммарные издержки ниже. Разница в издержках достигается путем выбора другого набора пунктов отправки и схемы подставки товаров до покупателя. Решение комплексной модели является оптимальным, т. к. вектор решения был найден с комплексным учетом всех ограничений.

Таблица 3 / Table 3

Параметр / Parameter	Последовательно* / Sequentially *	Комплексно** / Complex**
Объем перевезенной продукции (вектор), шт.	10	10
Суммарные затраты на перевозку, у. е.	3873	3469

* Программная реализация и входные данные предприятия представлены по ссылке: https://pastebin.com/HJaet1ZW

** Программная реализация и входные данные предприятия представлены по ссылке: https://pastebin.com/8KZ5Bf5j

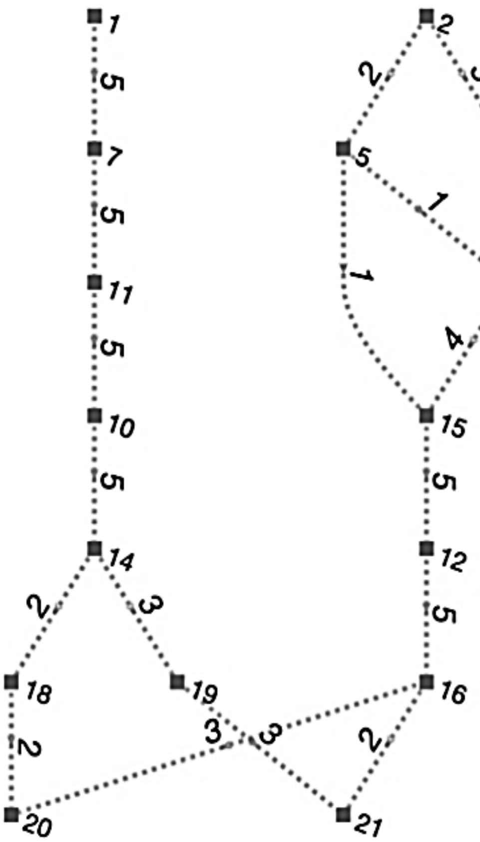

Рис. 2. Визуализация решения рассматриваемой задачи последовательным методом /
Fig. 2. Visualization of the considered problem solution by the sequential method

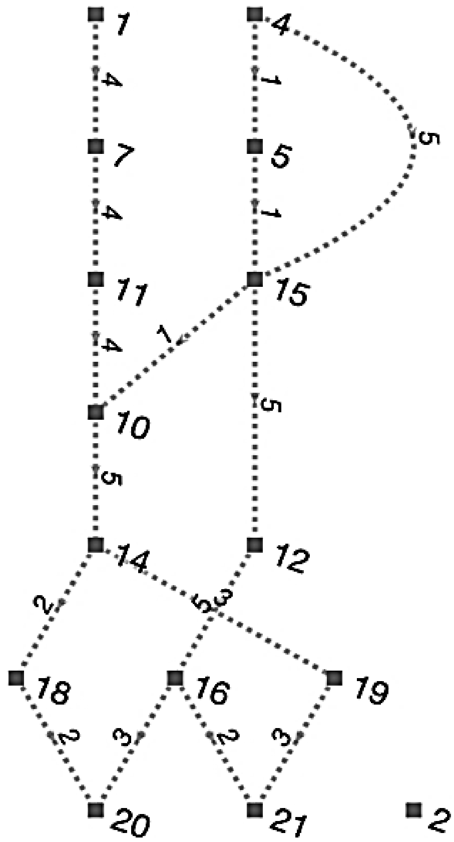

Рис. 3. Визуализация решения рассматриваемой задачи с использованием комплексной модели /
Fig. 3. Visualization of the considered problem solution using a complex model

Заключение

В данной статье была рассмотрена постановка комбинаторной задачи, которая комплексно обобщает ранее известные 3 классические задачи линейного программирования. В статье показано, что рассматриваемую проблему представляется возможным сформулировать в рамках задачи линейного программирования. Решен пример на 21 вершинах с 4 пунктами входа, 2 пунктами выхода. С помощью пакета Matlab была реализована программная среда для решения задачи. Рассмотрен ряд возможных добавлений ограничений в модель. Такая постановка задачи и модель могут быть использованы на любом предприятии, где необходимо найти оптимальный комбинаторный вариант для производства с целью минимизации транспортных издержек в ходе транспортировки. Показано, что сформулированную комбинаторную задачу стоит решать, используя комплексную модель линейного программирования.

Литература

1. Писарук Н.Н. Исследование операций. Минск : БГУ, 2015. 304 с.

2. Lee J., & Wiegele A. (2017). Another pedagogy for mixed-integer Gomory. EURO Journal on Computational Optimization, 5(4), pp. 455–466. DOI 10.1007/s13675-017-0085-3

3. Xiaoping Jiang, Ruibin Bai, Jason Atkin, Graham Kendall. (2017) A scheme for determining vehicle routes based on Arc-based service network design. INFOR: Information Systems and Operational Research 55:1, pp. 16–37.

4. Morrison D.R., Sewell E.C., & Jacobson S.H. (2014). An application of the branch, bound, and remember algorithm to a new simple assembly line balancing dataset. European Journal of Operational Research, 236 (2), pp. 403–409. DOI 10.1016/j.ejor.2013.11.033

5. 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, pp. 1–20. DOI 10.1007/s11263-017-0989-7

6. 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.

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

8. 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), pp. 343–356. DOI 10.1287/trsc.1030.0037

9. Hadi Heidari Gharehbolagh, Ashkan Hafezalkotob, Ahmad Makui, and Sedigh Raissi. A cooperative game approach to uncertain decentralized logistic systems subject to network reliability considerations. Kybernetes, vol. 46, no. 8, pp. 1452–1468, 2017.

10. Maysara Sayed, Linda C. Hendry, Marta Zorzini Bell, (2017) "Institutional complexity and sustainable supply chain management practices", Supply Chain Management: An International Journal, vol. 22, issue 6, pp. 542–563, DOI 10.1108/ SCM-10-2016-0365

References

1. Pisaruk N.N. Issledovanie operatsii [Operations Research]. Minsk, BSU, 2015, 304 p. (In Russ.).

2. Lee J. & Wiegele A. (2017). Another pedagogy for mixed-integer gomory. EURO Journal on Computational Optimization, 5 (4), pp. 455–466. DOI: 10.1007 / s13675-017-0085-3

3. Xiaoping Jiang, Ruibin Bai, Jason Atkin, Graham Kendall. (2017) A scheme for determining vehicle routes based on Arc-based service network design. INFOR: Information Systems and Operational Research 55:1, pp. 16–37.

4. Morrison D.R., Sewell E.C., & Jacobson S.H. (2014). An application of the branch, bound, and remember algorithm to a new simple assembly line balancing dataset. European Journal of Operational Research, 236 (2), pp. 403–409. DOI 10.1016/j.ejor.2013.11.033

5. 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, pp. 1–20. DOI: 10.1007 / s11263-017-0989-7

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

7. P. Sumathi (2016). A new approach to solve problems with intercept values, Journal of Information and Optimization Sciences, 37: 4, 495–510, DOI: 10.1080 / 02522667.2014.996031

8. Daganzo C.F., & Smilowitz K. R. (2004). Linear programming and other scalable network problems. Transportation Science, 38 (3), pp. 343–356. DOI: 10.1287/trsc.1030.0037

9. Hadi Heidari Gharehbolagh, Ashkan Hafezalkotob, Ahmad Makui, and Sedigh Raissi. A cooperative game approach to uncertain decentralized logistic systems subject to network reliability considerations. Kybernetes, vol. 46, no. 8, pp. 1452–1468, 2017.

10. Maysara Sayed, Linda C. Hendry, Marta Zorzini Bell, (2017) "Institutional complexity and sustainable food supply chain management", Supply Chain Management: An International Journal, vol. 22, issue 6, pp. 542–563, DOI 10.1108/ SCM-10-2016-0365

Статья поступила в редакцию 1.07.2019 г.; принята к публикации 3.08.2019 г.
Submitted 1.07.2019; revised 3.08.2019.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
All authors have read and approved the final manuscript.

Для цитирования:
Рогулин Р.С., Максименко В.И., Смолей М.О., Пугачева Е.С., Матвеев В.В., Злобина Д.В. Об определении набора складских баз в условном экономическом районе с параллельным определением оптимальной работы логистики // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 3. С. 368–375. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-368-375

Citation for an article:
Rogulin R.S., Maksimenko V.I., Smolej M.O., Pugacheva E.S., Matveyev V.V., Zlobina D.V. On determining the set of warehouse bases in a conventional economic region with parallel determination of the optimal logistics. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2019, vol. 5, no. 3, pp. 368–375. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-368-375 (In Russ.).

Об авторах

Рогулин Родион Сергеевич
магистрант, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, *rafassiaofusa@mail.ru*

Максименко Валерий Иванович
кандидат технических наук, доцент, Инженерная Школа, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, о. Русский, кампус, *maximenko.vi@dvfu.ru*

Смолей Марина Олеговна
студентка, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, *smoley.ma@students.dvfu.ru*

Пугачева Ева Сергеевна
студентка, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, *pugacheva.es@students.dvfu.ru*

Матвеев Владислав Викторович
студент, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, *matveev.vv@students.dvfu.ru*

Злобина Дарья Вячеславовна
студентка, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, *zlobina.dv@students.dvfu.ru*

About the authors

Rodion S. Rogulin
Undergraduate Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, *rafassiaofusa@mail.ru*

Valery I. Maksimenko
Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Engineering School, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russky Island, campus, *maximenko.vi@dvfu.ru*

Marina O. Smoley
Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, *zhandarmov.vo@students.dvfu.ru*

Eva S. Pugacheva
Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, *smoley.ma@students.dvfu.ru*

Vladislav V. Matveev
Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, *matveev.vv@students.dvfu.ru*

Darya V. Zlobina
Student, Far Eastern Federal University, Vladivostok, *zlobina.dv@students.dvfu.ru*