МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
INTERDISCIPLINARY RESEARCH

*Вестник Челябинского государственного университета.
2020. № 2 (436). Экономические науки. Вып. 68. С. 238–245.*

УДК 338.4 **DOI: 10.24411/1994-2796-2020-10224**
ББК 65.34

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ СКЛАДИРОВАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ТОВАРОВ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р. С. Рогулин[1,2], Н. С. Рогулин[2], В. Р. Говоров[1]

[1]*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

[2]*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток, Россия*

Представлена модель обобщения ранее известных четырёх задач линейного (смешанно-целочисленного) программирования: производственная задача (классическая постановка) — решение представляет собой вектор количества произведённых конечных продуктов, найденный при ограничениях на количество ресурсов с учётом максимизации прибыли; задача учёта 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 объёма вывоза с мест производства при ограничении на пропускную способность и особенность строения графа дорог; задача размещения центров — определение пунктов производства из определённого 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. Методы решения поставленной задачи: линейное смешанно-целочисленное программирование. Рассматриваемая задача появилась на лесоперерабатывающем комплексе в процессе открытия новых производственных цехов. Текущая работа посвящена нахождению метода и подбора алгоритма для определения оптимального решения производственно-транспортной задачи. Ограничения в работе приведены следующие: запас сырья на складе, пропускная способность дорог, время, затраченное на транспортировку, вместимость склада на заводе. Рассматриваемую задачу можно отнести к классу нетривиальных комбинаторных задач о принятии решений на предприятии. В качестве перспектив использования можно упомянуть широкую применимость данной модели, включая другие отрасли производства.

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

Введение. В эпоху высоких технологий каждое предприятие стремится к минимизации издержек и максимизации прибыли при различных ограничениях. При всём обилии методик оптимизации управленческих процессов на предприятии 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: производственная задача (оптимальный план выпуска товарной линейки), транспортная задача, задача максимального потока, задача минимизации времени, задача о p-медиане (теория графов), задача распределения специалистов при производстве. В предлагаемой работе рассмотрены 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 постановку задачи работы Р. С. Рогулина и соавторов [16]. Цель задачи: найти оптимальный вектор объёма производства товаров и оптимальный вектор транспортировки по двудольному графу при ограничениях: заданных объёмах 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 её решение будет оптимальным, однако мы предлагаем рассмотреть более сложную задачу, как с точки зрения экономики, математики, так и объёма 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 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 транспортировке от этого пункта до потребителей. Кроме того, перед отправкой продукции необходимо её произвести и держать на складе временного хранения в пункте производства. Соответственно, встаёт вопрос о том, чтобы учесть вместимость складов, что также у авторов работы [16] не представлено.

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

Такая задача может возникнуть при планировании объёмов производства у ряда предприятий, которые собираются вновь открыться или же зайти на рынок. Каждая из вышеупомянутых задач сводится к линейной форме модели, что серьёзно упрощает процесс поиска оптимального решения [10, 16].

Чтобы построить оптимизационную модель для решения сформулированной выше задачи, необходимо рассмотреть известные подзадачи.

Определить оптимальный набор выпускаемой продукции производством так, чтобы выручка была максимальной и этот набор удовлетворял условию о запасе ресурсов на складе (производственная задача [10]). Обратим внимание на другую подзадачу — задачу минимизации времени (при транспортировке груза). Рассмотрим дополнительно одну модель, которая имеет несколько формулировок, но её можно отнести к отдельной маленькой подмодели — модель максимального потока [10]. Цель этой задачи посвящена поиску пути, в котором пропускная способность была бы максимальной на всём графе дорог. Вопрос об оптимальном размещении пунктов производства рассмотрен в отдельной подзадаче — задача размещения центров [10]. При имеющихся временны́х затратах найти оптимальное решение транспортной подзадачи — задача учёта времени [16].

При решении каждой из четырёх вышеописанных задач можно найти линейные отдельные модели [10, 16], но в статье предлагается комплексное решение четырёх вышеописанных задач. Чтобы решить вышеперечисленные задачи, воспользуемся точными алгоритмами поиска оптимального решения.

Постановка задачи. Чтобы произвести единицу товара, необходимо определённое количество ресурсов. Обозначим производственную норму как

$$A=\left\{A_{i_1 j_1}\right\}, i_1=1:n_1,\ j_1=1:m_1, \tag{1}$$

где A_{ij} является элементом, отражающим объём ресурса i для производства j-го товара. Обозначим граф дорог с её пропускной способностью и обозначим её как

$$d=\left\{d_{ij}\right\}, i=1:n,\ j=1:n. \tag{2}$$

Также экзогенно задано время для транспортировки товара из пункта i в j. Обозначим матрицу временны́х затрат как

$$T=\left\{t_{ij}\right\}, i=1:n,\ j=1:n. \tag{3}$$

Определим вектор цен реализации товара j, как

$$P=\left\{p_{j_1}\right\},\ j_1=1:m_1. \tag{4}$$

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

$$L=\left\{L_{j_1}\right\},\ j_1=1:m_1. \tag{5}$$

Для полноты набора данных остаётся определить количество запасов сырья и нормы затрат на открытие новых пунктов производства в каждом из рассматриваемых пунктов. Обозначим их соответственно

$$b=\left\{b_{i_1}\right\}, i_1=1:n_1. \tag{6}$$

$$f=\left\{f_{j_1}\right\},\ j_1=1:m_1. \tag{7}$$

Сформулируем *практическую методику решения задачи* исходя из необходимости *вывода 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 учётом пропускной способности, норм затрат на производство единицы продукции каждого типа, запасов сырья, затрат на открытие 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 трассировки — толкование вектора решения с экономической точки зрения.

Сформулируем модель решения производственной проблемы.

Пусть k_j — количество товара j, которое подлежит производству из условия оптимума, пусть x_{ij} — количество товара, перевозимое из пункта i в пункт j. Исходя из постановки задачи статьи нужно максимизировать прибыль. Запишем это [1, 8]:

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} k_{j_1}\ p_{j_1} \to \max. \tag{8}$$

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

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} A_{i_1 j_1}\ k_{j_1} \le b_i, i_1 = 1:n_1. \tag{9}$$

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

$$k_{j_1} \in Z^+. \tag{10}$$

Сформулируем задачу максимального потока [12, 13].

Целевая функции примет вид

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \to \max. \tag{11}$$

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

$$0 \le x_{ij} \le d_{ij}, i = 1:n, j = 1:n. \tag{12}$$

Положим, что суммарный объём выходящего потока эквивалентен суммарному входящему, тогда

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

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

Определим задачу минимизации времени

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

где $y_{ij} \in (0; 1)$.

Математическая модель задачи размещения центров рассмотрена в [10, 21].

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

$$y_{ij} \le x_{ij}. \tag{15}$$

$$0 \le x_{ij} \le y_{ij}\, d_{ij},\ i = 1{:}\ n, j = 1{:}\ n. \tag{16}$$

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

Обозначим задачу F_0:

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} k_{j_1} p_{j_1} + \sum_{i}\sum_{j} x_{ij} \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} t_{ij} y_{ij} -$$

$$\sum_{j_1} f_{j_1} z_{j_1} \to \max; \tag{17}$$

$$\sum_{i} x_{ij} = \sum_{j} x_{ij}; i, j \in I, J. \tag{18}$$

$$y_{ij} \le x_{ij}, i = 1:n, j = 1:n. \tag{19}$$

$$0 \le x_{ij} \le y_{ij} d_{ij}, i = 1:n, j = 1:n. \tag{20}$$

$$k_{j_1} \in Z^+, j_1 = 1:m_1. \tag{21}$$

$$\sum_{j_1=1}^{m_1} A_{i j_1}\ k_{j_1} \le b_i, i = 1:n_1. \tag{22}$$

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

$$k_{j_1} \le L_{j_1} z_{j_1}, j_1 = 1:m_1. \tag{24}$$

$$\sum_{j_1} z_{j_1} \le Q. \tag{25}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j_1 j} \le L_{j_1} z_{j_1}, j_1 = 1:m_1. \tag{26}$$

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 смешанно-целочисленного программирования.

[1] Паспорт специальности 08.00.13 «Экономические и инструментальные методы экономики», ч. 2, п. 2.3. Режим доступа: https://teacode.com/online/vak/p08–00–13.html

Подобные задачи часто возникают на любых производственных предприятиях: какой вид товара производить и в каких объёмах так, чтобы прибыль предприятия была максимальна, набор товаров удовлетворял всем ограничениям с учётом минимизации временны́х и денежных издержек.

Задача F_0 решена с помощью пакета Matlab. Ответ получен в виде одномерных массивов X.

Обзор алгоритмов. В литературе известны многие методики и алгоритмы поиска оптимального решения линейных задач. Представим самые распространённые и эффективные: метод Гоморри, метод ветвей и границ, генетический алгоритм.

Метод Гоморри — это алгоритм, который работает на основе формирования отсечений прямыми (плоскостями, гиперплоскостями) и последовательным введением их в систему ограничений [3]. Метод ветвей и границ представляет собой дерево решений, конечным результатом которой является оптимальное решение [4]. Вышеперечисленные методы являются достаточно быстрыми алгоритмами для задач небольшой выборки. Однако, когда объём данных слишком велик, становится очевидным тот факт, что эти два метода не позволяют решить задачу. Однако уже в XXI столетии был разработан генетический алгоритм. Далее приведена общая схема алгоритма [5]. Этот 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 нём. Так как множество допустимых решений является компактом, то очевидно, что за конечное время генетический алгоритм найдёт решение линейной задачи, даже если задача будет большой размерности. Сложность этого алгоритма заключается в составлении целевой функции.

Тестирование модели на реальных данных предприятия

Положим матрицы норм затрат $A =$

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

максимальной пропускной способности графа D [6], временны́е нормы для прохождения каждого участка графа T [6] и матрицы цен реализации товара на рынке $P = (4; 9; 10{,}5; 6{,}5)$, запасов ресурсов $b = (40; 60; 70; 100)$, максимальная вместимость на складах при производствах $L = 10I$, где I — единичный вектор размерностью 1×16, 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 рис. 1 можно увидеть произвольную визуализацию D. Номера вершин — пункты производства, промежуточные пункты, пункты потребления.

Процесс поиска комплексного решения не рассматривается в статье, поскольку процесс реализован в программной среде (код представлен в [6]) Matlab. На рис. 2 представлена визуализация решения. Решить такую задачу последовательно представляется крайне трудоёмким занятием, во-первых, придётся перебрать все возможные способы последовательности решения такой задачи, что составит 4!=24 варианта, то есть придётся решить 24 отдельные задачи, во-вторых, это крайне долгий процесс особенно при достаточно большой выборке начальных данных, поэтому рассмотрим только решение комплексной задачи.

Обсуждение. На рис. 2 обнаружены «висячие» вершины, которые не вошли в граф решения в соответствии с алгоритмом Литтла. В табл. 2 представлены выходные данные программных реализаций [6]. Веса дуг есть объём транспортируемой продукции по графу.

Рассмотрим объёмы произведённой продукции: (0, 8, 7, 7, 9, 10, 0, 0, 0, 0, 10, 10, 7, 10, 8, 0). Из него явствует, что первый завод произвёл 0 ед.,

Таблица 1

Сравнительные характеристики алгоритмов

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

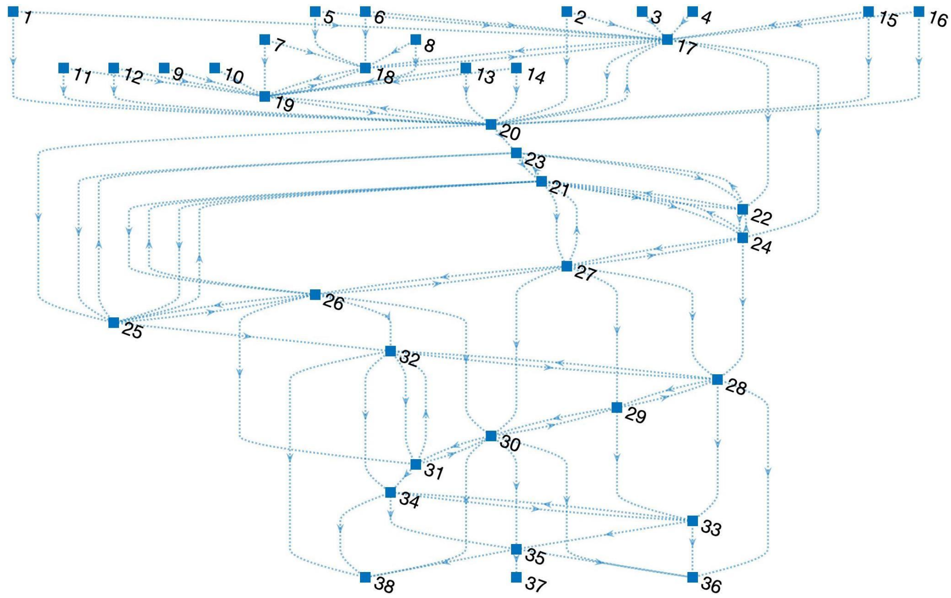

Рис. 1. Произвольная визуализация матрицы смежности D (пропускных возможностей)

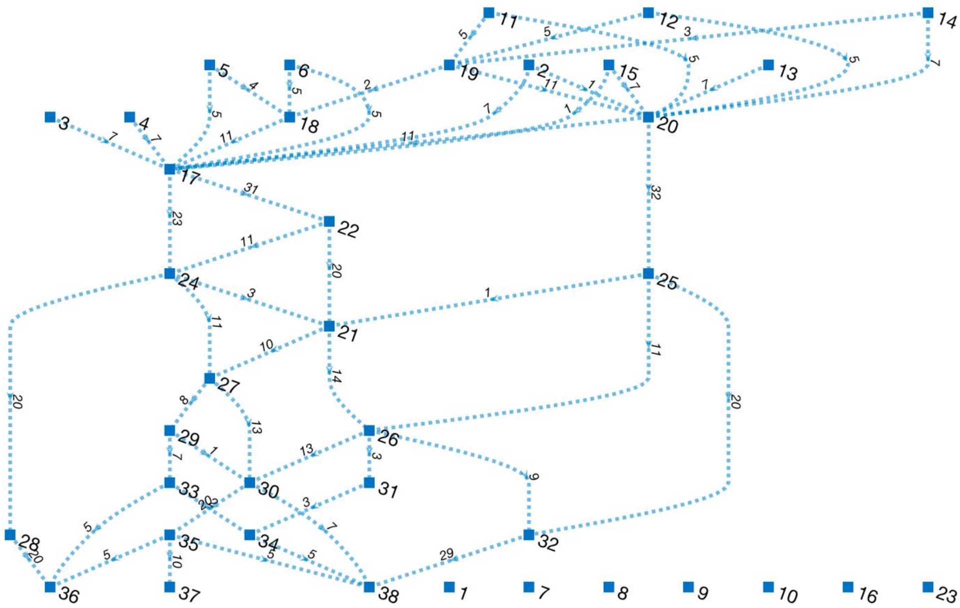

Рис. 2. Визуализация вектора ответа X (решение комплексной модели)

Таблица 2

Ответ к задаче

Критерий	Значение
Объём произведённой продукции (вектор), шт.	(0, 8, 7, 7, 9, 10, 0, 0, 0, 0, 10, 10, 7, 10, 8, 0)
Затраты на перевозку по времени, у. е.	1 444
Остатки сырья (вектор), шт.	(36, 175, 385, 615)
Прибыль, у. е.	$7.0508 \cdot 10^{12}$

второй — 8 ед., третий — 7 ед. и т. д. Суммарное количество товаров равно 86 ед.

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, третьего — 385, четвёртого — 615. Исходя из запасов можно сделать вывод, что существует возможность для дальнейшего продолжения производства, однако есть и другие ограничения, которые не позволяют этого сделать: максимальное количество производственных пунктов (25).

Рассмотрим вершину 3. На рис. 2 отчётливо 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 неодинаков, говорит о том, что в каждой пройденной вершине протекает некоторый процесс, по факту завершения которого, вес дуг может меняться. Наблюдаемый результат может иметь большое количество причин: перетасовка контейнеров с параллельным изменением его веса/объёма или стоимости, сложение в один поток нескольких других потоков и другое. Кроме того, матрицы D, T обладают следующими свойствами (на примере матрицы T) $t_{ij} = t_{ij}$. Этот факт наталкивает на мысль, что данный алгоритм и его программная реализация могут решать не только задачи на обычных графах, но и на псевдографах.

Выводы. В данной статье была рассмотрена одна из возможных постановок задачи, которая обобщает ранее известные четыре классические подзадачи линейного программирования. Кроме того, был проведён анализ известной комплексной модели [15] по решению нетривиальной комбинаторной производственной проблемы. В ходе этого анализа были выведены недостатки в учёте 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. Решён 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.

Список литературы

1. Pinho, T. M. Forest-based supply chain modelling using the SimPy simulation framework / T. M. Pinho, J. P. Coelho, J. Boaventura-Cunha // IFAC-PapersOnLine. — 2016. — № 49(2). — P. 90–95.

2. Pinho, T. M. Modelling a biomass supply chain through discrete-event simulation / T. M. Pinho, J. P. Coelho, A. P. Moreira, J. Boaventura-Cunha // IFAC-PapersOnLine. — 2016. — № 49(2). — P. 84–89.

3. Randhawa, S. U. An object-oriented modeling framework for sawmill simulation / S. U. Randhawa, C. C. Brunner, J. W. Funck, G. C. Zhang // Computers & Industrial Engineering. — 1993. — № 25 (1–4). — P. 565–568.

4. Rauch, P. Improving the primary forest fuel supply chain / P. Rauch // Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series. — 2013. — № II 6(55). — P. 1–8.

5. Rumpu, A. Assessing information-exchange risks and disruptions in supply chains / A. Rumpu, J. Vilko // International Journal of Intercultural Information Management. — 2011. — № 2(4). — P. 317–332.

6. Saranen, J. Evaluating the competitiveness of railways in timber transports with discrete-event simulation / J. Saranen, O.-P. Hilmola // World Review of Intermodal Transportation Research. — 2007. — № 1 (4). — P. 445–458.

7. Sargent, R. G. Verification and validation of simulation models / R. G. Sargent // Journal of simulation. — 2013. — № 7(1). — P. 12–24.

8. Seay, J. R. Current trends and directions in achieving sustainability in the biofuel and bioenergy supply chain / J. R. Seay, F. F. Badurdeen // Current Opinion in Chemical Engineering. — 2014. — № 6. — P. 55–60.

9. Shahi, S. Supply chain network optimization of the Canadian forest products industry: a critical review / S. Shahi, R. Pulkki // American Journal of Industrial and Business Management. — 2013. — № 3. — P. 631–643.

10. Spinelli, R. Alternative supply chains for logging residues under access constraints / R. Spinelli, G. Di Gironimo, G. Esposito, N. Magagnotti // Scandinavian Journal of Forest Research. — 2014. — № 29(3). — P. 266–274.

11. Sterman, J. D. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world / J. D. Sterman // McGraw-Hill. — 2000. — № 6 — P. 121–123.

12. Sukumara, S. A comprehensive techno-economic analy- sis tool to validate long-term viability of emerging biorefining processes/ S. Sukumara, J. Amundson, F. Badurdeen, J. Seay // Clean Technologies and Environmental Policy. — 2015. — № 17 (7). — P. 1793–1806.

13. Tako, A. A. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context / A. A. Tako, S. Robinson // Decision Support Systems. — 2012. — № 52 (4). — P. 802–815.

14. Väätäinen, K. Alternative operation models for using a feed-in terminal as a part of the forest chip supply system for a CHP plant / K. Väätäinen, R. Prinz, J. Malinen, J. Laitila, L. Sikanen // Global Change Biology Bioenergy. — 2017. — № 9. — P. 1657–1673.

15. Vacik, H. Past, current and future drivers for the development of decision support systems in forest management / H. Vacik, M. J. Lexer // Scandinavian Journal of Forest Research. — 2014. — № 29(1). — P. 2–19.

16. Рогулин, Р. С. Обобщённая оптимизационная задача производственно-транспортных процессов на предприятии / Р. С. Рогулин, П. В. Нечаев, Д. Е. Плешанов и др. // Приклад. информатика. — 2018. — Т. 13, № 6 (78). — С. 133–141.

Сведения об авторах

Рогулин Родион Сергеевич — ассистент кафедры прикладной математики, механики и программного обеспечения, Школа естественных наук Дальневосточного федерального университета; ассистент кафедры математики и моделирования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. Владивосток, Россия. rafassiaofusa@mail.ru

Рогулин Никита Сергеевич — студент кафедры информационных технологий и систем Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. Владивосток, Россия. rogulin.ns@vvsu.ru

Говоров Владислав Романович — студент кафедры прикладной математики, механики и программного обеспечения, Школа естественных наук Дальневосточного федерального университета. Владивосток, Россия. govorov.vr@students.dvfu.ru

Bulletin of Chelyabinsk State University.
2020. No. 2 (436). Economic Sciences. Iss. 68. Pp. 238–245.

COMPREHENSIVE OPTIMIZATION MODEL OF THE PROCESSES OF STORAGE AND TRANSPORTATION OF GOODS OF FORESTRY

R.S. Rogulin
Vladivostok State University of Economics and Service; Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia. rafassiaofusa@mail.ru

N.S. Rogulin
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia. rogulin.ns@vvsu.ru

V.R. Govorov
Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia. govorov.vr@students.dvfu.ru

The presented article contains a generalization model of four previously known linear programming problems: Production problem (Classic statement) — the solution is a vector of the number of final products produced, found under restrictions on the number of resources taking into account profit maximization, The task of accounting for time — this task is rather an additional condition in the general system of restrictions and relates to the objective function (minimizing the total time spent on cargo transportation), Problem m maximum flow — finding the maximum volume of export from places of production with a restriction on the throughput and structural features of the road graph. The task of locating the centers is to determine production points from a previously defined list of possible places. In particular, the statement 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. The problem under consideration appeared at the timber processing complex in the process of opening new production workshops. The current work is devoted to constructing a linear mixed-integer model, finding a method, and selecting an algorithm for determining the optimal solution to the production and transportation problem. The considered problem can be attributed to the class of non-trivial combinatorial problems of decision-making at the enterprise.

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

References

1. Pinho T.M., Coelho J.P., Boaventura-Cunha J. (2016). *IFAC-PapersOnLine*, no. 49(2), pp. 90–95.

2. Pinho T.M., Coelho J.P., Moreira A.P., Boaventura-Cunha J. (2016). *IFAC-PapersOnLine*, no. 49(2), pp. 84–89.

3. Randhawa S.U., Brunner C.C., Funck J.W., Zhang G.C. (1993). *Computers & Industrial Engineering*, no. 25(1–4), pp. 565–568.

4. Rauch P. (2013). *Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series II*, no. 6(55), pp. 1–8.

5. Rumpu A., Vilko J. (2011). *International Journal of Intercultural Information Management*, no. 2(4), pp. 317–332.

6. Saranen J., Hilmola O.-P. (2007). *World Review of Intermodal Transportation Research*, no. 1(4), pp. 445–458.

7. Sargent R.G. (2013). *Journal of simulation*, no. 7(1), pp. 12–24.

8. Seay J.R., Badurdeen F.F. (2014). *Current Opinion in Chemical Engineering,* no. 6, pp. 55–60.

9. Shahi S., Pulkki R. (2013). *American Journal of Industrial and Business Management*, no. 3, pp. 631–643.

10. Spinelli R., Di Gironimo G., Esposito G., Magagnotti N. (2014). *Scandinavian Journal of Forest Research*, no. 29(3), pp. 266–274.

11. Sterman J.D. (2000). *McGraw-Hill*, no. 6, pp. 1–10.

12. Sukumara S., Amundson J., Badurdeen F., Seay J. (2015). *Clean Technologies and Environmental Policy*, no. 17(7), pp. 1793–1806.

13. Tako A. A., Robinson S. (2012). *Decision Support Systems*, no. 52(4), pp. 802–815.

14. Väätäinen K., Prinz R., Malinen J., Laitila J., Sikanen L. (2017). *Global Change Biology Bioenergy*, no. 9, pp. 1657–1673.

15. Vacik H., Lexer M.J. (2014). *Scandinavian Journal of Forest Research*, no. 29 (1), pp. 2–19.

16. Rogulin R.S., Nechayev P.V., Pleshanov D.Ye., Yevdakimova N.S., Goncharov Ye.D., Maksimenko V.I. (2018) *Prikladnaya informatika*, vol. 13, no. 6 (78), pp. 133–141. (In Russ.).