

ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-113-119
УДК 65.011

АЛГОРИТМ СОРТИРОВКИ ПАРТИЙ ГРУЗА ПО ПРИОРИТЕТАМ НА МОРСКОМ ТЕРМИНАЛЕ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ВРЕМЯ

В. И. Меньшиков, В. В. Шутов, А. С. Сандалов

*Мурманский государственный технический университет,
Мурманск, Российская Федерация*

Представлен алгоритм сортировки партий груза на морском терминале. Рассматриваются преимущества и недостатки морской транспортной системы; отмечено, что одновременно обработать все партии груза, поступающие в морской терминал, практически невозможно. Подробно описана процедура сортировки партий груза, обладающих различными приоритетами, основанная на идеях метода ветвей и границ. Для оценки верхней границы использован итерационно-градиентный метод. Эффективность рассматриваемого алгоритма сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время характеризуется простотой способа определения верхней границы целевой функции. Обосновывается необходимость предложенного алгоритма в работе российского морского терминала. Если компания способна поставлять свою продукцию потребителям быстро и с более низкими издержками, то она сможет получить определённые преимущества перед конкурентами в размере рыночной доли. В случае даже небольшого сбоя в порядке выполнения морских транспортных операций компании (производители продукции) могут столкнуться с проблемами производства или отгрузки, что приведёт к остановке производства в целом. Эффективная морская транспортная система конкретной судоходной компании – исключительный в своём роде комплекс операций и действий, скопировать который конкурентам крайне трудно. Приведено упрощенное описание сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время в виде последовательности десяти блоков, представляющих алгоритм. Блок первый включает формирование множества переменных, определяющих качество решений, принимаемых персоналом терминала при сортировке партий груза, и др. На последнем этапе будут рассмотрены все перспективные ветви и получено оптимальное значение приоритета партии груза, поступившей на морской терминал.

Ключевые слова: морской терминал, груз, алгоритм сортировки партий груза, ограничение на время, множество переменных, множество приоритетов сортировки.

Для цитирования: Меньшиков В. И., Шутов В. В., Сандалов А. С. Алгоритм сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 113–119. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-113-119.

Введение

На российских предприятиях и на предприятиях со смешанным капиталом морские перевозки чаще всего воспринимают утилитарно, как некий комплекс операций, привычных для любой компании (транспортировка, складирование, таможенная очистка и т. д.). Однако теория и практика транспортных операций доказывают, что для подобных операций всегда используется системный подход в управлении, необходимый для повышения рентабельности и показателей безопасности. Эффективная морская транспортная система конкретной судоходной компа-

нии – во многом уникальный комплекс операций, скопировать который конкурентам бывает очень сложно и, наверно, не нужно. Такая система одновременно является и самым главным преимуществом компании, и самым уязвимым её местом. С одной стороны, она позволяет компании сосредоточиться на главном: производстве материальных ценностей посредством сокращения затрат и высвобождения средств, которые могут быть направлены на развитие компании, с другой – её деятельность нацелена на сокращение затрат и запасов и осуществляется по принципу «в нужное время, в нужном месте». При малейшем сбое в порядке выполнения морских транспортных операций компании (производители продукции) могут столкнуться либо с проблемой производства, либо с проблемой отгрузки, что в свою очередь может привести к остановке производства в целом. Если же компания-производитель способна поставлять свою продукцию потребителям быстро и с более низкими издержками, то она будет получать определённые преимущества перед конкурентами в размере рыночной доли.

Цель работы – предложение алгоритма сортировки партий груза на морском терминале, основанного на идеях метода ветвей и границ. Алгоритм представлен в описательном виде и может быть использован при обработке и сортировке партий грузов с различными приоритетами при ограничении на время.

Материалы исследования

Рассмотрим процедуру сортировки партий груза, поступающих на морской терминал по направлению «берег – море», основанную на идеях метода ветвей и границ, при этом для оценки верхней границы решения задачи сортировки будем использовать итерационно-градиентный метод [1].

При ограниченном времени сортировки партий груза, поступающих на обработку в морской терминал, обработать все партии груза одновременно практически невозможно [2]. Поэтому если партии груза x_{ij} , подлежащие сортировке, обладают различными приоритетами, то для реализации этой операции целесообразно выбирать лишь те партии, для которых выполняется условие

$$\lambda = \max_{x_{ij} \in S} \sum \lambda_j x_{ij}$$

при заданном ограничении

$$\sum_{x_{ij} \in S} t_{ij} x_{ij} \leq T_d; \quad (1)$$

$$x_{ij} \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й параметр проверяется после } i\text{-го параметра,} \\ 0 & \text{– в противном случае,} \end{cases}$$

где λ_j – приоритет j -й партии груза, поступившей на морской терминал; T_d – допустимое время процедуры сортировки; S – множество переменных, определяющих качество решений, принимаемых персоналом терминала при сортировке партий грузов.

Время контроля j -го приоритета партии груза t_{ij} ($i, j = 0; n, i \neq j$) зависит от того, какой i -й приоритет партии груза проверяется непосредственно перед ним ($i = 0$ означает, что оператор, ответственный за сортировку партий груза, начинает просмотр элементов партии с исходного состояния). В то же время $j = 0$ означает, что оператор, ответственный за сортировку партий груза, после идентификации последнего приоритета возвращается к исходной партии груза [3].

Введём обозначения: U – множество приоритетов сортировки партий груза; E_S – запрещённое множество приоритетов сортировки, введение которых на множество S приводит к повторной проверке параметров, образованию недопустимых циклов или не приводит к улучшению принимаемого для необходимого результата; G_S – свободное множество приоритетов сортировки, из которого производится выбор очередной переменной для включения в множество S ; $h_{ij} = \lambda_j / t_{ij}$ – коэффициент эффективности сортировки партии груза по j -му приоритету, если ему предшествовал i -й приоритет.

На первом шаге решения $S = \emptyset$, $E_S = \emptyset$, а множество G_S включает партии груза, прибывшие на морской терминал x_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n$). С помощью выражения

$$\lambda_S(x_{0k}) = \max_{x_{kj} \in G_S} [\lambda_S(x_{0j})]; \quad (2)$$

определяется переменная x_{0k} , которая включается на множество S . При этом величина $\lambda_S(x_{0k})$ будет являться верхней границей целевой функции при включении на множество S переменной x_{0k} .

На втором шаге $x_{0k} \in S$, $x_{0k} \in E_S$ ($i = 1, 2, \dots, n$), $x_{kj} \in G_S$ ($j = 1, \dots, n, j \neq n$). Поэтому определив величину

$$\lambda_S(x_{ki}) = \max_{x_{kj} \in G_S} [\lambda_S(x_{kj})];$$

можно ввести переменную (партию груза) x_{ki} на множество S .

На всех последующих шагах выбор очередной партии груза для включения на множество S производится с помощью выражения, аналогичного (2).

Если в процессе решения окажется, что множество $G_S = \emptyset$, то величину

$$\Lambda_S = \sum_{x_{ij} \in S} \lambda_j x_{ij} = \lambda$$

можно принимать уже в качестве первого приближенного решения по сортировке партий груза в зависимости от приоритетов.

На следующем шаге из множества S исключается партия груза, вошедшая на последнем шаге (эта партия вводится на множество E_S), и поиск продолжается для вариантов, которые удовлетворяют условию

$$\lambda_S(x_{ij}) > \Lambda.$$

Выбор вариантов заканчивается, если для всех вершин дерева имеет место $G_S = \emptyset$, то есть рассмотрены все перспективные комбинации, и одновременно выполняются два условия:

$$S = \emptyset, \quad G_S = \emptyset.$$

Рассмотрим более подробно процесс определения верхней границы целевой функции. Допустим, что сортируемые партии груза (переменные) $x_{0,1}, x_{1,2}, \dots, x_{k-1,k}$ вошли во множество S ($k < n$). Тогда переменные x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j$), x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, k-1, j = k+1, k+2, \dots, n$), x_{i0} ($i = 1, 2, \dots, k-1$) образуют множество E_S , т. к. их введение на множество S приведёт к повторному процессу сортировки и образованию недопустимых циклов. Кроме того, на множество E_S заносятся сортируемые партии груза (переменные) x_{kj} ($j = k+1, k+2, \dots, n$), для которых выполняются неравенства

$$\lambda_S(x_{ij}) < \Lambda; \quad (3)$$

$$t_{kj}(x_{kj}) > T_d - \sum_{x_{ij} \in S} t_{ij} x_{ij}. \quad (4)$$

Условие (3) означает, что введение переменной x_{kj} на множество S не может привести к улучшению полученного на предыдущих шагах решения, а неравенство (4) следует из ограничения (1).

Допустим, что требуется определить верхнюю границу целевой функции

$$\Lambda_S = \sum_{x_{ij} \in S} \lambda_j x_{ij} + \max_{x_{ij} \in U \setminus [S \cup E_S]} \lambda_j x_{ij} \quad (5)$$

при условии

$$\sum_{x_{ij} \in U|S \cup E_S} t_{kj}(x_{kj}) \leq T_d - \sum_{x_{ij} \in S} t_{ij}x_{ij},$$

выполнение которого определяет принадлежность партии груза к множеству S .

Определим

$$h_j(x_{ij}) = \max_{x_{ij} \cup U|S \cup E_S} [h_{ij}(x_{ij})];$$

и значения

$$t_j(x_{ij}) = \min_{x_{ij} \cup U|S \cup E_S} [t_{ij}(x_{ij})];$$

Тогда, приняв, что выполняется условие

$$h_{k+1} > h_{k+2} \geq \dots \geq h_l, \quad l \leq n, \quad (6)$$

можно найти

$$\sum_{j=k+1}^l t_j(x_{ij}) \geq T_d - \sum_{x_{ij} \in S} t_{ij}x_{ij}; \quad (7)$$

$$\sum_{j=k+1}^l t_j(x_{ij}) < T_d - \sum_{x_{ij} \in S} t_{ij}x_{ij}. \quad (8)$$

Так как

$$\sum_{j=k+1}^{l-1} \lambda_j + h_l \Delta t > \max_{x_{ij} \in U|S \cup E_S} \sum \lambda_j x_{ij}$$

при

$$\Delta T = T_d - \sum_{x_{ij} \in S} t_{ij}x_{ij} + \sum_{j=k+1}^{l-1} t_j(x_{ij}),$$

то вместо (5) для определения верхней целевой функции может быть использована зависимость вида

$$\Lambda_S = \sum_{x_{ij} \in S} \lambda_j x_{ij} + \sum_{j=k+1}^{l-1} \lambda_j + h_l \Delta T. \quad (9)$$

Следовательно, для определения верхней целевой функции необходимо определить партии груза, для которых выполняются условия (6)–(8), и для этих партий вычислить величину, определяемую выражением (9).

Упрощенное описание алгоритма сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время может быть представлено в виде следующей алгоритмической последовательности.

Блок 1. Формируются множества S , E_S , G_S и принимается начальное значение $\lambda = 0$.

Блок 2. С помощью условий (6)–(9) с учётом E_S определяются значения $\lambda_S(x_{ij})$ ($x_{ij} \in G_S$) и по формуле (2) выбирается переменная x_{kl} , которая вводится в S .

Блок 3. С учётом введения x_{kl} в S пересчитываются G_S и E_S .

Блок 4. Проверяется условие $G_S = \emptyset$. Если условие не выполняется, то продолжается процесс формирования множества S . При выполнении условия процесс формирования множества S прекращается.

Блок 5. Проверяется условие $\lambda < \lambda_S$. При выполнении неравенства величина λ_S является новым приближенным решением.

Блок 6. Запоминается новое приближенное решение λ и соответствующее ему множество S .

Блок 7. Для движения вверх по дереву возможных вариантов из множества S исключается последняя переменная x_{kl} , которая для исключения повторного просмотра ветви вводится в множество E_S .

Блок 8. Находится множество G_S и E_S после исключения x_{kl} из множества S .

Блок 9. Проверяется условие $G_S = \emptyset$. Если условие не выполняется, то строится новая ветвь дерева возможных вариантов.

Блок 10. Проверяется условие $S = \emptyset$. Если условие не выполняется, то продолжается движение вверх по дереву возможных вариантов. Выполнение условия свидетельствует о том, что просмотрены все перспективные ветви и получено оптимальное значение λ и соответствующее ему множество S .

Таким образом, эффективность рассмотренного алгоритма сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время определяется простотой способа определения верхней границы целевой функции [4]. Кроме того, если ветви дерева возможных вариантов сортировки партий груза по заданным приоритетам строятся последовательно, то алгоритм достаточно просто реализуется [5].

Заключение

При ограниченном времени сортировки партий груза, поступающих на обработку в морской терминал, обработать все партии груза одновременно практически невозможно. Представлен алгоритм и упрощенное описание (в виде последовательности десяти блоков) сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время. Эффективность рассмотренного алгоритма сортировки партий груза по приоритетам на морском терминале при ограничении на время определяется простотой способа определения верхней границы целевой функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гермейер Ю. Б.* Введение в теорию исследований операций. М.: Наука, 1971. 384 с.
2. *Снопков В. И.* Технология перевозки грузов морем: учеб. СПб.: Профессионал, 2006. 560 с.
3. *Андронов Л. П.* Перевозка опасных грузов морем. М.: Транспорт, 1971. 208 с.
4. *Карташов С. В., Меньшиков В. И., Пеньковская К. В., Шутов В. В.* Операции по перевозке, обработке и размещению груза на судне: учеб. пособие. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. 114 с.
5. *Позняков С. И., Меньшиков В. И.* Методы разрешения нештатных ситуаций при управлении судовыми технологическими процессами. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. 184 с.

Статья поступила в редакцию 08.05.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Меньшиков Вячеслав Иванович – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовождения; kseniamgtu@rambler.ru.

Шутов Валентин Васильевич – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовождения; schutovan@yandex.ru.

Сандалов Артем Сергеевич – Россия 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; аспирант кафедры судовождения; schutovan@yandex.ru.



ALGORITHM OF SORTING CONSIGNMENTS IN ORDER OF PRIORITY AT SEA TERMINAL UNDER TIME LIMIT

V. I. Menshikov, V. V. Shutov, A. S. Sandalov

Murmansk State Technical University, Murmansk, Russian Federation

Abstract. The paper presents the algorithm for sorting consignments at the sea terminal. The advantages and disadvantages of the maritime transport system are considered. It has been stated that it is impossible to simultaneously handle all consignments entering the marine terminal. The procedure of sorting consignments in order of priority based on the principles of branch and bound method is specified. An iterative gradient method was used to estimate the upper bound. The effectiveness of the considered algorithm for sorting consignments in order of priority at the sea terminal under a time limit is defined by simplicity of determining the upper limit of a target function. The importance of the proposed algorithm in operation of the Russian sea terminal is justified. If a company is able to deliver its products to consumers quickly and at lower costs, then it will gain certain advantages over its competitors in the amount of market share. In the event of a malfunction in the marine transportation operations, the companies (product manufacturers) may face production or shipment problems, which will lead to business interruption. Efficient maritime transport system of a particular shipping company is an exceptional complex of operations and actions, which can't be copied by the competitors. A simplified description of sorting consignments in order of priority at the sea terminal under the time limit is presented in the sequence of ten modules representing the algorithm. The first module includes creating a set of variables that determine the quality of decisions made by terminal personnel when sorting consignments, etc. At the last stage, all promising branches will be considered and the optimum priority of the consignment entered at the marine terminal will be obtained.

Key words: sea terminal, cargo, algorithm of sorting consignments, time limit, set of variables, set of sorting priorities.

For citation: Menshikov V. I., Shutov V. V., Sandalov A. S. Algorithm of sorting consignments in order of priority at sea terminal under time limit. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;3:113-119. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-113-119.

REFERENCES

1. Germejer Yu. B. *Vvedenie v teoriyu issledovaniy operacij* [Introducing operations research into the theory]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 384 p.
2. Snopkov V. I. *Tekhnologiya perevozki грузов morem: uchebnik* [Technology of cargo transportation by sea: textbook]. Saint-Petersburg, Professional Publ., 2006. 560 p.
3. Andronov L. P. *Perevozka opasnyh грузов morem* [Transportation of dangerous cargo by sea]. Moscow, Transport Publ., 1971. 208 p.
4. Kartashov S. V., Men'shikov V. I., Pen'kovskaya K. V., SHutov V. V. *Operacii po перевозке, обработке и размещению груза на судне: учебное пособие* [Operations on transportation, handling and placement of cargo on board a ship: training manual]. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2017. 114 p.
5. Poznyakov S. I., Men'shikov V. I. *Metody razresheniya neshtatnyh situacij pri upravlenii sudovymi tekhnologicheskimi processami* [Methods for resolving abnormal situations in management of shipboard technological processes]. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2017. 184 p.

The article submitted to the editors 08.05.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Menshikov Vyacheslav Ivanovich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Navigation; kseniamgtu@rambler.ru.

Shutov Valentin Vasilevich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Navigation; schutovan@yandex.ru.

Sandalov Artem Sergeevich – Russia 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Navigation; schutovan@yandex.ru.

