

УДК 519. 618

О.В. Косенко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ МНОГОИНДЕКСНЫХ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Целью данной работы является анализ возможности повышения эффективности решения многоиндексных задач распределения ресурсов большой размерности, основанный на применении приближенных методов. Увеличение индексности транспортной задачи позволяет оптимизировать более сложные планы распределения ресурсов и как следствие, учитывать большее число факторов, влияющих на стоимость перевозки товаров. При этом увеличение индексности транспортной задачи влечет за собой ряд особенностей, требующих внимания при ее решении. В работе показано, что нахождение оптимальных решений неоднородных распределительных задач большой размерности чрезвычайно сложно даже для современных вычислительных систем, особенно при использовании точных методов решения. Метод потенциалов, разработанный для решения задач распределения ресурсов практически непригоден для решения многоиндексных задач большой из-за длительного времени, необходимого для проведения расчетов. Это обстоятельство делает актуальной проблему построения и использования достаточно простых и эффективных приближенных методов решения многоиндексных задач распределения ресурсов, позволяющих получить наилучшее значение в оптимальное время. В статье проведена оценка эффективности приближенных методов решения многоиндексных задач. Анализ результатов решения тестовых примеров позволяет сделать вывод, что применение приближенных методов нахождения оптимального плана значительно сокращает число итераций, необходимых для получения оптимального значения целевой функции, что влечет уменьшение временных затрат решения задач большой размерности, обеспечивая при этом достаточно высокую точность.

Многоиндексность; распределение ресурсов; анализ методов; эффективность; оптимальность, метод потенциалов; метод приведения матрицы; размерность.

O.V. Kosenko

IMPROVING THE EFFICIENCY OF METHODS FOR SOLVING MULTI-OBJECTIVES RESOURCE ALLOCATION

The aim of this work is to analyze the possibility of increasing the efficiency in solving multi-index resource allocation problems of large dimension, based on the use of approximate methods. The increase in index the transportation problem allows to optimize more complex plans the allocation of resources and as a result, to take into account more factors that affect the cost of transportation of goods. The increase in index the transportation problem entails a number of peculiarities that require attention in addressing it. It is shown that finding the optimal solutions of the inhomogeneous distribution of large-scale problems are extremely difficult even for modern computing systems, especially when using exact methods of solution. Method of potentials developed for solving resource allocation problems virtually impossible to solve the multi-index problems due to the long time required for calculations. This circumstance makes the problem of construction and use is very simple and effective approximate methods of solution of multi-task resource allocation, allowing to obtain best value in the optimal time. The result of this article is to generalize the results of the analysis of efficiency of methods for solving the multi-task resource allocation, justifying the use of approximate methods for large scale problems. An evaluation of the effectiveness of approximate methods to solve the multi-objectives based on the analysis of the results of solving test examples, which allowed us to conclude that the use of approximate methods for finding the optimal plan reduces the number of iterations required to obtain the optimal objective function value and solution time of large-scale problems, while providing a sufficiently high accuracy.

Multi-index; allocation of resources; analysis methods; efficiency; optimality, method of potentials; the method of bringing the matrix dimension.

Введение. Существует широкий класс прикладных задач распределения ресурсов, формализуемых в виде многоиндексных распределительных задач транспортно-календарного планирования, задача распределения мощностей каналов передачи данных, задача формирования портфеля заказов, задачи добычи и транспортировки газа, задача переработки газового конденсата и др.

При решении многоиндексных распределительных задач зачастую сталкиваются со следующими проблемами [3–5]:

- ◆ большая размерность исходных данных (10^6 – 10^8);
- ◆ многопараметричность задачи оптимизации.

Различные подходы к отдельному решению данных проблем рассмотрены в работах [1, 5, 7].

Теория многоиндексных задач линейного программирования в общем виде наиболее полно изложена в работе [4].

Метод потенциалов [6, 7], разработанный для решения задач распределения ресурсов, используется для двухмерных, реже трехмерных задач небольшой размерности. Однако для многоиндексных задач большей размерности он практически непригоден из-за длительного времени, необходимого для проведения расчетов [9].

Целью данной статьи является разработка метода решения многоиндексной задачи распределения ресурсов, позволяющего учитывать возникающие проблемы при решении многоиндексных задач распределения ресурсов:

- ◆ проблема разрешимости задачи и связанная с ней проблема построения начального опорного плана, требующая разработки метода, позволяющего снизить возникновение вырожденности в многоиндексных задачах распределения ресурсов;
- ◆ проблема нахождения наилучшего решения при большой размерности задачи в приемлемое время.

Эти обстоятельства делают актуальной проблему построения и использования достаточно простых и эффективных приближенных методов, позволяющих получить наилучшее значение в оптимальное время при решении многоиндексной задачи распределения ресурсов большой размерности;

Общая постановка многоиндексной распределительной задачи. Примером многоиндексной распределительной задачи является трехиндексная транспортная задача с промежуточными центрами [10]. В качестве критерия оптимальности в классической (двухиндексной) транспортной задаче обычно используется затраты времени, либо суммарная стоимость перевозки [4, 7].

В практическом аспекте, если количество потребителей товара (пунктов потребления) значительно превышает количество поставщиков (пунктов производства), то задача снижения транспортных расходов и времени доставки товара приводит к необходимости создания промежуточных пунктов (промежуточных складов) распределения товара, формируя в целом транспортно – логистический комплекс (ТЛК).

Аналитически это приводит к добавлению в условие классической транспортной задачи с индексами i – поставщик и j – потребитель третьего индекса k – промежуточный склад распределения товара.

Схема взаимодействия элементов транспортно – логистического комплекса с промежуточными пунктами представлена на рис. 1.

где $C_{i_1 i_2 \dots i_k}$ – матрица стоимостей транспортировки единицы груза $X_{i_1 i_2 \dots i_k}$ при условиях (i_1, i_2, \dots, i_k) ; $b_{i_1 i_2 \dots i_{k-1}}$ – совокупный объем грузов, перемещаемого при условиях (i_1, i_2, \dots, i_k) .

Процесс решения многоиндексных транспортных задач является обобщением метода потенциалов для решения двухиндексной транспортной задачи. Решение трехиндексных задач методом потенциалов уже рассматривалось в ряде работ [4–8].

Особенностью метода потенциалов является то, что при проведении итерации дважды возникает необходимость в решении систем линейных уравнений. В двухиндексной транспортной задаче решение уравнений можно получить достаточно просто. В случае, когда число индексов больше двух трудоемкость вычислительной процедуры задач данного типа методом потенциалов очень быстро растет с увеличением размерности. Размерность задачи, определяемая произведением числа переменных на число ограничений может иметь порядок от 10^8 - 10^9 [10, 12, 13]. Очевидно, что получить точное решение таких задач в приемлемое время при использовании современной вычислительной техники не удастся. Это обстоятельство делает актуальной проблему построения и использования достаточно простых и эффективных приближенных методов решения многоиндексных задач распределения ресурсов. Рассмотрим эффективность применения данного подхода.

Сравнительный анализ эффективности методов решения. В настоящее время остро стоит вопрос в разработке методов повышения эффективности алгоритмов решения распределительных задач. В работах [13-14] разработаны методы повышения эффективности на основе алгоритма Романовского, но они применимы лишь для однородных систем.

В работах [4, 5, 16, 17, 19–20] рассмотрены приближенные методы нахождения оптимального плана многоиндексных транспортных задач. Исследование метода минимального элемента в сечении указывают на его эффективность, которая растет с увеличением размерности задачи [21]. При этом сечение может быть, как одномерным (метод минимального элемента в строке, столбце, колонке), двумерным (метод минимального элемента в горизонтальной, вертикальной, фронтальной плоскостях), так и трехмерным (метод минимального элемента матрицы).

Для оценки эффективности приближенных методов решения классической двухиндексной задачи распределения ресурсов были использованы тестовые примеры, решенные в среде Matlab. Размерность задачи 10×11 .

Коэффициент соответствия точному методу рассчитывался как соотношение результата, полученного точным методом, а именно методом потенциалов, к результату, полученному соответствующим приближенным методом. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка эффективности методов решения двухиндексной транспортной задачи

Метод	Значение целевой функции	Коэффициент соответствия точному методу
Последовательного распределения (метод северо – западного угла)	289	0,40
Минимального элемента в строке	205	0,57
Минимального элемента в сечении	185	0,63
Минимального элемента матрицы	139	0,84
Нуль – преобразований	127	0,92
Потенциалов (точный метод)	117	1

Аналогично для оценки эффективности приближенных методов решения трехиндексной задачи распределения ресурсов, размерностью $10 \times 11 \times 12$, были решены тестовые примеры. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка эффективности методов решения трехиндексной транспортной задачи

Метод	Значение целевой функции	Коэффициент соответствия точному методу
Последовательного распределения	3717	0,57
Минимального элемента в строке	3114	0,68
Минимального элемента в сечении	2751	0,77
Минимального элемента матрицы	2342	0,91
Нуль - преобразований	2196	0,96
Потенциалов (точный метод)	2132	1

Проанализировав полученные результаты, отметим, что эффективность приближенных методов растет с увеличением размерности задачи.

Как видно из табл. 1 и 2 приближенные методы решения транспортных задач – метод минимального элемента матрицы и метод нуль – преобразований обладают достаточно высокой эффективностью и могут успешно конкурировать с точными методами.

Наилучшие результаты соответствия точному методу показал метод – нуль – преобразований.

В приближенном методе минимального элемента в сечении использовались исходные значения коэффициентов целевой функции без каких-либо предварительных преобразований. В методе нуль – преобразования осуществляется приведение матрицы коэффициентов целевой функции путем вычитания минимального элемента в каждом ряду из каждого элемента такого ряда к модифицированной матрице, в которой каждый ряд содержит в себе хотя бы один нулевой элемент. Нулевые элементы, полученные таким образом, дают нам набор положений матрицы для наилучшего распределения ресурсов.

Метод приведения матрицы для решения многоиндексных задач распределения ресурсов. В основе метода приведения матрицы для решения пятииндексной транспортной задачи лежит метод нуль – преобразования определенный в [4] для решения трехиндексных транспортных задач.

Для задачи распределения разнородного товара с помощью различного транспорта от поставщика к потребителю через промежуточные центры, метод нуль - преобразования будет записан следующим образом:

$$c^*_{ijklr} = c_{ijklr} - (\alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \mu_l + \varphi_r) \quad (8)$$

при этом

$$\begin{aligned} \min_{jklr} \{c^*_{ijklr}\} &= 0, i \in \{1, 2, \dots, m\}; \\ \min_{iklr} \{c^*_{ijklr}\} &= 0, j \in \{1, 2, \dots, n\}; \\ \min_{ijlr} \{c^*_{ijklr}\} &= 0, k \in \{1, 2, \dots, s\}; \\ \min_{ijk r} \{c^*_{ijklr}\} &= 0, l \in \{1, 2, \dots, w\}; \\ \min_{ijkl} \{c^*_{ijklr}\} &= 0, r \in \{1, 2, \dots, h\}; \\ c^*_{ijklr} &\geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Для определенности параметры $\alpha_i, \beta_j, \gamma_k, \mu_l, \varphi_r$ вычисляются следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \min_{ijklr} \{c^*_{ijklr}\}, i \in \{1, 2, \dots, m\}; \\ \beta_j &= \min_{iklr} \{c^*_{iklr} - \alpha_i\} = 0, j \in \{1, 2, \dots, n\}; \\ \gamma_k &= \min_{ijlr} \{c^*_{ijlr} - \alpha_i - \beta_j\} = 0, k \in \{1, 2, \dots, s\}; \\ \mu_l &= \min_{ijkr} \{c^*_{ijkr} - \alpha_i - \beta_j - \gamma_k\} = 0, l \in \{1, 2, \dots, w\}; \\ \varphi_r &= \min_{ijkl} \{c^*_{ijkl} - \alpha_i - \beta_j - \gamma_k - \mu_l\} = 0, r \in \{1, 2, \dots, h\} \end{aligned} \tag{10}$$

Для многоиндексной транспортной задачи метод приведения матрицы будет записан следующим образом:

$$c^*_{i_1 i_2 \dots i_s} = c_{i_1 i_2 \dots i_s} - (\alpha^1_{i_1 i_2 \dots i_s} + \alpha^2_{i_1 i_2 \dots i_s} + \dots + \alpha^s_{i_1 i_2 \dots i_s}), \tag{11}$$

где

$$\begin{aligned} \alpha^1_{i_1} &= \min_{i_2, i_3, \dots, i_s} \{c_{i_1 i_2 \dots i_s}\} \\ \alpha^2_{i_2} &= \min_{i_1, i_3, \dots, i_s} \{c_{i_1 i_2 \dots i_s} - \alpha^1_{i_1}\} \\ &\dots \dots \dots \\ \alpha^s_{i_s} &= \min_{i_1, i_2, \dots, i_{s-1}} \{c_{i_1 i_2 \dots i_s} - \alpha^1_{i_1} - \alpha^2_{i_2} - \dots - \alpha^{s-1}_{i_{s-1}}\}. \end{aligned} \tag{12}$$

Последовательное применение данной процедуры приведения матрицы позволяет достичь минимального приращения значения целевой функции на единицу распределяемого ресурса, на каждом шаге вычисления, что определяет нахождение минимального значения целевой функции.

Оценка эффективности метода приведения матрицы при решении многоиндексных задач распределения ресурсов. Использование того или иного метода поиска наилучшего решения зависит от размера пространства поиска [18, 22]. При увеличении размерности системы увеличивается и время нахождения наилучшего решения задачи. Поиск данного решения может потребовать значительных машинных ресурсов и занять продолжительное время.

Для определения зависимости размерности задачи и числа итераций необходимых для решения трехиндексной задачи распределения ресурсов проведено 1000 экспериментов, средние значения которых отображены на рис. 2.

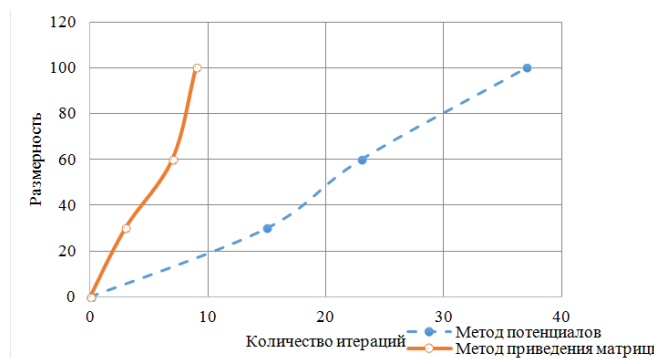


Рис. 2. График зависимости числа итераций и размерности при решении трехиндексных распределительных задач

Анализ показывает, что для решения задачи распределения ресурсов методом потенциалов необходимо в 4 раза больше итераций (без учета итераций по построению опорного плана), чем при решении данной задачи методом приведения матрицы.

Для определения зависимости времени решения задачи и ее размерности, проведем 1000 экспериментов, результаты которой отобразим на рис. 3. Анализ показывает, что по сравнению с выбранным в качестве базового метода – метода потенциалов, метод приведения матрицы при увеличении размерности имеет значительно меньшее расчетное время на поиск значения целевой функции. При этом погрешность найденного решения, согласно табл. 2 в частности для метода нуль-преобразований, составляет 4%.

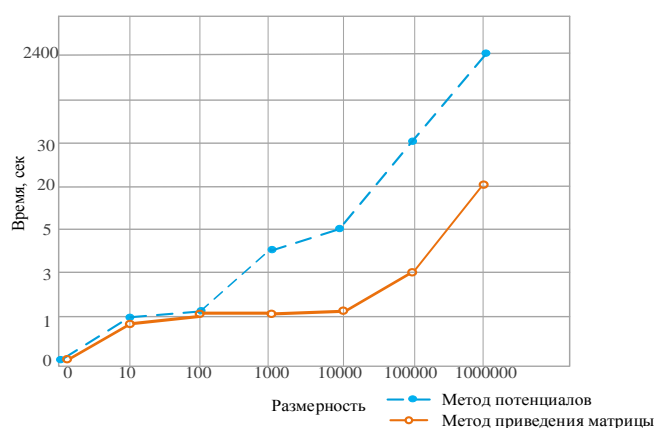


Рис. 3. График зависимости времени решения трехиндексных распределительных задач от размерности задачи

Выводы. В статье проведена оценка эффективности предложенного метода приведения матрицы для решения многоиндексных задач распределения ресурсов по сравнению с методом потенциалов, описанного в работах [4, 6, 7]. Применение предложенного метода, позволяет сократить число итераций нахождения оптимального решения, сократить время решения нахождения оптимального плана, обеспечивая при этом достаточно высокую точность. Также предложенный метод позволяет избежать тяжеловесности задачи, при этом вычислению может подвергаться вырожденная матрица, что позволяет избежать закливания процедуры нахождения наилучшего плана перевозки грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прилуцкий М.Х., Афраймович Л.Г. Распределение ресурсов в иерархических системах транспортного типа. – Нижний Новгород, 2007. – 80 с.
2. Hoover C.L., Rosso-Llopart M., Taran G. Evaluating Project Decisions: Case Studies in Software Engineering. – Addison-Wesley Professional, 2009. – 400 p.
3. Blank M. Ergodic properties of a simple deterministic traffic flow model // J. Stat. Phys. – 2003. - Vol. 111. – P. 903-930.
4. Раскин Л.Г., Кириченко И.О. Многоиндексные задачи линейного программирования. – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
5. Серая О.В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности: монография. – Харьков: ФОР Стенко И.И., 2010. – 512 с.
6. Taha H.A. Operations Research: An Introduction. – Prentice Hall, 2006. – 838 p.
7. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 535 с.

8. *Борисова Е.А., Финаев В.И.* Трехиндексные распределительные задачи с нечеткими параметрами. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. – 190 с.
9. *Bühlmann P., Van De Geer S.* Statistics for High-Dimensional Data: Methods, Theory and Applications. – Springer, 2011. – 575 p.
10. *Косенко О.В., Пушнина И.В.* Модель управления на основе решения несимметричных транспортных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 2 (139). – С. 175-180.
11. *Nunez A., Saez D.* Hybrid Predictive Control for Dynamic Transport Problems. – Springer-Verlag London 2013, XIX. – 169 p.
12. *Martorell S., Guedes Soares C., Barnett J.* (Eds) Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications // Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2008; Taylor & Francis Group, London, UK, 2009. – 3512 p.
13. *Nisbet R., Elder J., Miner G.* Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications. – Academic Press, 2009. – 864 p.
14. *Тимов Д.В.* Методы повышения эффективности алгоритмов решения распределительных минимаксных задач в однородных системах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – Ростов-на-Дону, 2010. – 148 с.
15. *Жикулин, А.А.* Исследование ресурсно-временных возможностей алгоритма полного перебора при решении однородных распределительных задач // Системный анализ, управление и обработка информации: Труды 4-го Международного семинара. – Ростов-на-Дону: ДГТУ 2013. – С. 17-22.
16. *Красный Д.Г.* Анализ эффективности модифицированного алгоритма Алексева приближенного решения неоднородной распределительной задачи // Системный анализ, управление и обработка информации. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2007. – С. 126-130.
17. *Prilutskii M. Kh. and Vlasov S. E.* “Optimal ResourceDistribution in Problems of Scheduling and Structural Scheduling // Proceedings of Nizhegorodskii Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet: Data Processing and Control Systems. – 2004. – No. 11.
18. *Яблочников Е.И., Молочник В.И, Ю.Н. Фомина, А.А. Саломатина, Гусельников В.С.* Методы управления жизненным циклом приборов и систем в расширенных предприятиях. – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 148 с.
19. *Житков В.А., Ким К.В.* Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок. - М.: Транспорт, 1982. - 184 с.
20. *Ланге Э.Г., Жусупбаев А.* Комбинаторный метод решения задачи размещения. – Фрунзе – Илим, 1990. – 152 с.
21. *Косенко О.В.* Распределение последовательности подзадач при календарном планировании производства // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 236-231.
22. *Borisova A.A., Kalyakina I.M., Bondarenko N.Y.* Development of methods of the solution of management problems in social and economic systems // International Business Management. – 2014. – Vol. 8, No. 6. – P. 348-352.

REFERENCES

1. *Prilutskii, M. Kh., Afraimovich, L. G.* Raspredelenie resursov v ierarkhicheskikh sistemakh [The Distribution of resources in hierarchical systems, the transport type]. Nizhniy Novgorod, 2007, 80 p.
2. *Hoover C.L., Rosso-Llopart M., Taran G.* Evaluating Project Decisions: Case Studies in Software Engineering. Addison-Wesley Professional, 2009, 400 p.
3. *Blank M.* Ergodic properties of a simple deterministic traffic flow model, *J. Stat. Phys.*, 2003, Vol. 111, pp. 903-930.
4. *Raskin, L. G., Kirichenko O. I.* Mnogoindeksnye zadachi lineynogo programmirovaniya [Multiindex linear programming.]. Moscow: Radio and communication, 1982, 240 p.
5. *Seraya O. V.* Mnogomernyi modeli logistiki v usloviyakh neopredelennosti: monografiya [A Multidimensional model of logistics in conditions of uncertainty: monograph]. Harkov: FOP Stetsenko I. I., 2010, 512 p.
6. *Taha H.A.* Operations Research: An Introduction. Prentice Hall, 2006, 838 p.
7. *Yudin D.B., Goldstein E.G.* Zadachi lineynogo programmirovaniya transportnogo tipa [Linear programming Problem of transport type.]. Moscow: Nauka, 1969, 535 p.
8. *Borisova E.A., Finaev V.I.* Trekhindeksnye raspredelitel'nye zadachi s nechetkimi parametrami [Three-index distribution problem with fuzzy parameters.]. Taganrog: TTI YUFU, 2007, 190 p.

9. *Bühlmann P., Van De Geer S.* Statistics for High-Dimensional Data: Methods, Theory and Applications. Springer, 2011, 575 p.
10. *Kosenko O.V., Pushnina I.V.* Model' upravleniya na osnove resheniya nesimmetrichnykh transportnykh zadach [Model-based management solution unbalanced transportation problems.], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 2 (139), pp. 175-180.
11. *Nunez A., Saez D.* Hybrid Predictive Control for Dynamic Transport Problems. Springer-Verlag London 2013, XIX, 169 p.
12. *Martorell S., Guedes Soares C., Barnett J.* (Eds) Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2008; Taylor & Francis Group, London, UK, 2009*, 3512 p.
13. *Nisbet R., Elder J., Miner G.* Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications. Academic Press, 2009, 864 p.
14. *Titov D.V.* Metody povysheniya effektivnosti algoritmov resheniya raspredelitel'nykh minimaksnykh zadach v odnorodnykh sistemakh: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.01. [Methods of increasing the efficiency of distribution algorithms for solving minimax problems in homogeneous systems. Cand. of eng. sc. diss.: 05.13.01.]. Rostov-on-Don, 2010, 148 p.
15. *Zhikulin, A.A.* Issledovanie resursno-vremennykh vozmozhnostey algoritma polnogo perebora pri reshenii odnorodnykh raspredelitel'nykh zadach [Study of the resource-time capabilities of the exhaustive algorithm when solving a homogeneous distribution of tasks], *Systemnyy analys, upravlenie i obrabotka informatsii: Trudi 4-go Meshdunarodnogo seminara* [System analysis, management and processing of information: Proceedings of the 4th International workshop]. Rostov-on-Don: DGTU 2013, pp. 17-22.
16. *Krasnyy D.G.* Analis effektivnosti modifitsirovannogo algoritma Alekseeva [Analysis of the effectiveness of the modified algorithm Alekseev approximate solution of the inhomogeneous distribution of tasks,] *Systemnyy analys, upravlenie i obrabotka informatsii* [System analysis, management and processing of information]. Rostov-on-Don: DGTU, 2007, pp. 126-130.
17. *Prilutskii M.Kh. and Vlasov S.E.* Optimal ResourceDistribution in Problems of Scheduling and Structural Scheduling, *Proceedings of Nizhegorodskii Gosudarstvennyi Tekhnicheskii Universitet: Data Processing and Control Systems*, 2004, No. 11.
18. *Yablochnikov E.I.* Metody upravleniya zhisennym tsiklom priborov i sistem v rasshirenykh predpriyatiyakh [Methods of lifecycle management of devices and systems in extended enterprises]. St. Petersburg: SPbGUITMO, 2008, 148 p.
19. *Zhitkov V.A., Kim K.V.* Metody operativnogo planirovaniya gruzovykh avtomobil'nykh perevozok [Methods of operational planning of freight automobile transportation]. Moscow: Transport, 1982, 184 p.
20. *Lange E.G., Zhusupbaev A.* Kombinatornyy metod resheniya zadachi razmeshcheniya [A Combinatorial method for solving the facility location problem]. Frunze – Ilim, 1990, 152 p.
21. *Kosenko O.V.* Raspredelenie posledovatel'nosti podzadach pri kalendarnom planirovanii proizvodstva [The Distribution of the sequence of subtasks for scheduling production], *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 2 (127), pp. 236-231.
22. *Borisova A.A., Kalyakina I.M., Bondarenko N.Y.* Development of methods of the solution of management problems in social and economic systems, *International Business Management*, 2014, Vol. 8, No. 6, pp. 348-352.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Косенко Олеся Валентиновна – Южный федеральный университет; e-mail: o_kosenko@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; старший преподаватель.

Kosenko Olesya Valentinovna – Southern Federal University; e-mail: o_kosenko@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347900, 347928, Russia; phone: +78634361789; the department of automatic control systems, senior teacher.