

Божко Леся Михайловна

доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург. ORCID: 0000-0002-3329-7977, SPIN-код:4076-2375, Author ID: 648758

Электронный адрес: lemib@rambler.ru

Lesya M. Bozhko

Doctor of Economic Sciences, Docent, Professor at the Department of information and computing systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg. ORCID: 0000-0002-3329-7977, SPIN-code: 4076-2375, Author ID: 648758

E-mail address: lemib@rambler.ru

Дергачев Алексей Иванович

кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург. ORCID: 0000-0001-9061-8530, SPIN-код: 6282-7442, Author ID: 747502

Электронный адрес: d_adler@mail.ru

Aleksey I. Dergachev

Ph.D. of Military Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of information and computing systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg. ORCID: 0000-0001-9061-8530, SPIN-code: 6282-7442, Author ID: 747502

E-mail address: d_adler@mail.ru

Дергачев Сергей Алексеевич

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург. ORCID: 0009-0000-9513-6530, SPIN-код: 2513-5950, Author ID: 750463

Электронный адрес: deburg@mail.ru

Sergey A. Dergachev

Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of information and computing systems, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg. ORCID: 0009-0000-9513-6530, SPIN-code: 2513-5950, Author ID: 750463

E-mail address: deburg@mail.ru

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО ДОКУМЕНТА ПРИ РЕШЕНИИ СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Аннотация. Поскольку проблема экономии ресурсов является одной из актуальных, то встает вопрос о нахождении оптимального варианта использования ограниченных ресурсов. Цель исследования – разработка алгоритма решения задачи линейного программирования, способствующего принятию оптимального варианта решения. В статье в качестве образца проектной документации (подготовки к решению на ЭВМ) выбрана задача линейного программирования, применен симплекс-метод. Решение такой задачи позволяет находить наилучший вариант использования выделенных ресурсов. Изложены этапы разработки алгоритма задачи линейного программирования по выдаче результата решения в соответствии с задаваемым макетом выходного документа. Предложенный порядок оформления результата решения задачи позволяет сокращать время на принятие управленческого решения.

Ключевые слова: линейное программирование, задача линейного программирования, симплекс-метод, транспортная задача, алгоритм формирования документа.

Для цитирования: Божко Л.М., Дергачев А.И., Дергачев С.А. Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом транспортной задачи // Вестник Российской новой университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ, управление. 2025. № 4. С. 11 – 23. DOI: 10.18137/RNUV9187.25.04.P.11

THE ALGORITHM FOR GENERATING OUTPUT DOCUMENT WHEN SOLVING A SIMPLEX TRANSPORT PROBLEM

Abstract. Since resource efficiency is a pressing issue, the question arises as to how best to use limited resources. The purpose of the study is to develop an algorithm for solving a linear programming problem that contributes to the adoption of the optimal solution. In the article, a linear programming problem was chosen as a sample of project documentation (preparation for a computer solution), and a simplex method was used. Solving this problem enables to find the best option for using the allocated resources. Stages of development of an algorithm of linear programming problem on output of solution result in accordance with specified output document layout are described. The proposed procedure for formalizing the result of solving the problem allows to reduce the time for making a management decision.

Keywords: linear programming, linear programming problem, simplex method, transport problem, document generation algorithm.

For citation: Bozhko L.M., Dergachev A.I., Dergachev S.A. (2025) The algorithm for generating output document when solving a simplex transport problem. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, analysis, management*. Pp. 11 – 23. DOI: 10.18137/RNUV9187.25.04.P.11 (In Russian).

Введение

Математическая модель задачи, как правило, не является точным и безотказным предписанием действий, которое необходимо для ЭВМ (являющейся бездумным исполнителем). Таким предписанием для ЭВМ является программа, составляемая на основе разработанной схемы алгоритма решения задачи. Необходимость использования схемы алгоритма объясняется тем, что в ней наряду с записью выполняемых действий чётко определены все логические связи (наиболее слабое звено при составлении программы для ЭВМ).

Задачи линейного программирования решаются разными методами: апекс-методом [1], геометрическим методом [2], методом смешанного целочисленного линейного программирования [3], нейросетевым методом [4] и др.

Цель данного исследования – разработка алгоритма решения задачи линейного программирования с использованием симплекс-метода, что способствовало бы принятию оптимального решения при ограниченных ресурсах. Симплекс-метод находит широкое применение, в том числе для задач оптимизации [5–8]. Помимо преимуществ по сравнению с другими методами (например, методом Гомори [9]), выбор симплекс-метода связан с его использованием при разработке математической модели решения задачи линейного программирования [10] и в алгоритме решения такой задачи [11]. Так, была составлена укрупненная (принципиальная) схема алгоритма симплекс-метода [11, с. 86].

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом
транспортной задачи

Программа рассматриваемой задачи получила имя simplex.bas. Структуру программы решения задачи определил сконструированный на основе укрупненной схемы алгоритма главный программный модуль, приведенный на Рисунке 1.

Структуры вспомогательных программных модулей обеспечили соответствующие схемы алгоритмов пяти рассмотренных подзадач.

Анализ схем алгоритмов подзадач [10] показал, что эти схемы, во-первых, выполняют чётко ограниченные функции, во-вторых, позволяют составить на их основе программные модули.

Программные модули рассматриваемой задачи получили следующие имена:

WDZSIT – «Ввод данных и заполнение симплексной таблицы»;

WKS – «Выбор ключевого столбца»;

PWSTR – «Поиск ведущей строки»;

PESIT – «Пересчёт симплексной таблицы»;

FWPWD – «Формирование и выдача на печать выходного документа».

Математические модели подзадач графических символов 2, 4, 6, 8 укрупненной схемы алгоритма представлены в статьях [10; 11], указанные в них действия приведены в соответствующих символах на схеме главного модуля программы simplex.bas.

Исходный текст программы simplex.bas [12] оформлен в соответствии с требованием п. 30 ГОСТ 19781–90, где записано: «Язык высокого уровня – язык программирования, понятия и структура которого удобны для восприятия человеком».

Конструирование исходного текста программы началось с разработки программных модулей.

Основная часть. Формирование выходного документа

Математическая модель выходного документа, содержащего текстовый и табличный материал, обычно не разрабатывается. В этом случае текст программы составляется при непосредственном рассмотрении макета выходного документа, тогда текстовый и табличный материал не включается в схему алгоритма. В то же время при необходимости отдельные фразы текста могут быть включены в математическую модель в виде математических множеств. Для распечатки окончания слов, согласуемого с целым числом, использовалась подпрограмма FWPWD.

Для формирования выходного документа используются схемы алгоритмов всех предыдущих подзадач [10], в которых определена логика вычислительных процессов и использованы формулы вычисления значений величин, указанных в макете выходного документа. Расположение выдаваемых на печать выходных данных определяется также макетом выходного документа.

Схема главного модуля программы simplex.bas приведена на Рисунке 1.

В рассматриваемой задаче не имеет смысла разрабатывать схемы алгоритмов для выдачи на печать всех текстовых и табличных данных (из-за неоправданно большой трудоёмкости). Большая часть таких данных включена в программу для ЭВМ на основе непосредственного общения с содержанием и формой выходных данных.

Анализ величин, указанных в макете выходного документа, и тех величин, значения которых определяются в четырех сконструированных схемах алгоритмов, показывает, что в этих схемах алгоритмов не определялись значения величин F , H , X и S [11], поэтому вычисление этих величин включено в схему алгоритма подзадачи 5 (графический символ номер 11) с использованием (см. Рисунок 2):

- а) формулы $F = -S_{(n+m+1)}$ (т. е. знания того, что оптимальное значение целевой функции F с обратным знаком находится в клетке итоговой симплексной таблицы с координатами $0, (n + m + 1)$;
- б) формулы (18) [10] (т. е. знания того, что индексы базисных неизвестных $X_{(j)}$ находятся в нулевом столбце ($j = 0$) в строках с 1-й по m (<>Eqn001.wmf>), а их значения – в соответствующих строках последнего столбца ($j = n + m + 1$);
- в) формулы (18) [10] (т. е. знания того, что свободные неизвестные $X_{(j)}$ равны нулю);
- г) формулы (19) [10], позволяющей получить значения элементов вектора H ;
- д) значений величин, полученных в процессе вычислений и размещённых в памяти ЭВМ в виде итоговой симплексной таблицы S с оптимальным планом.

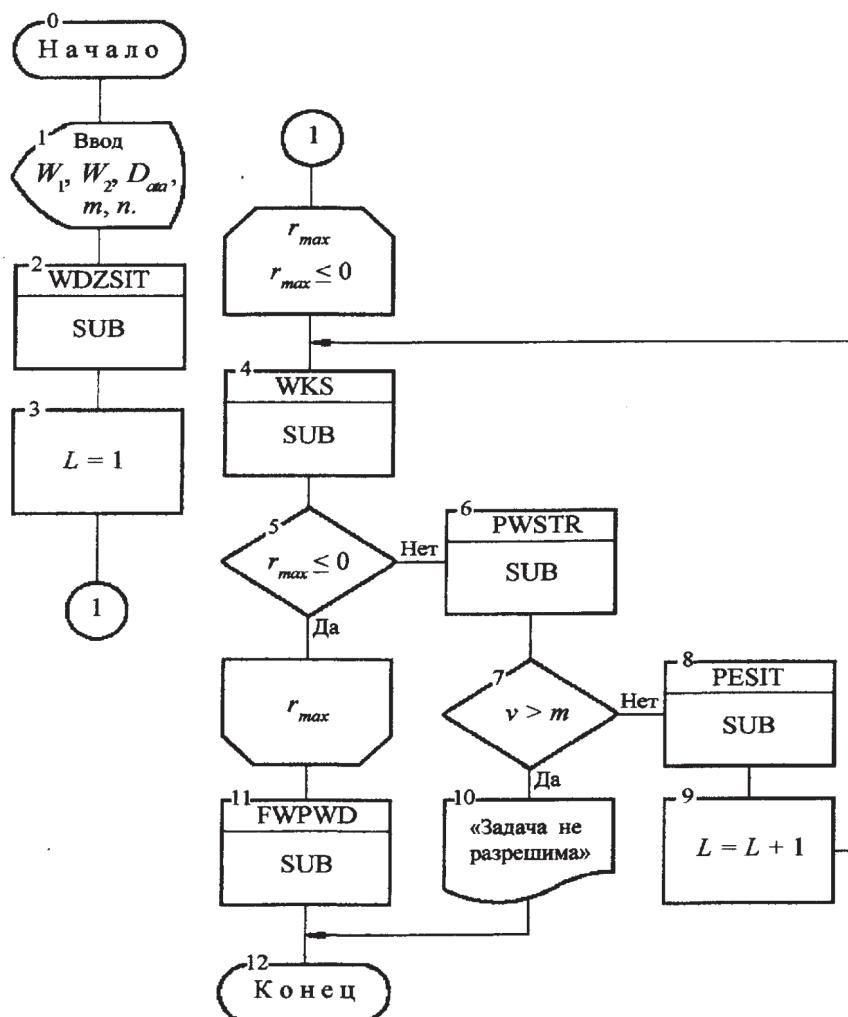
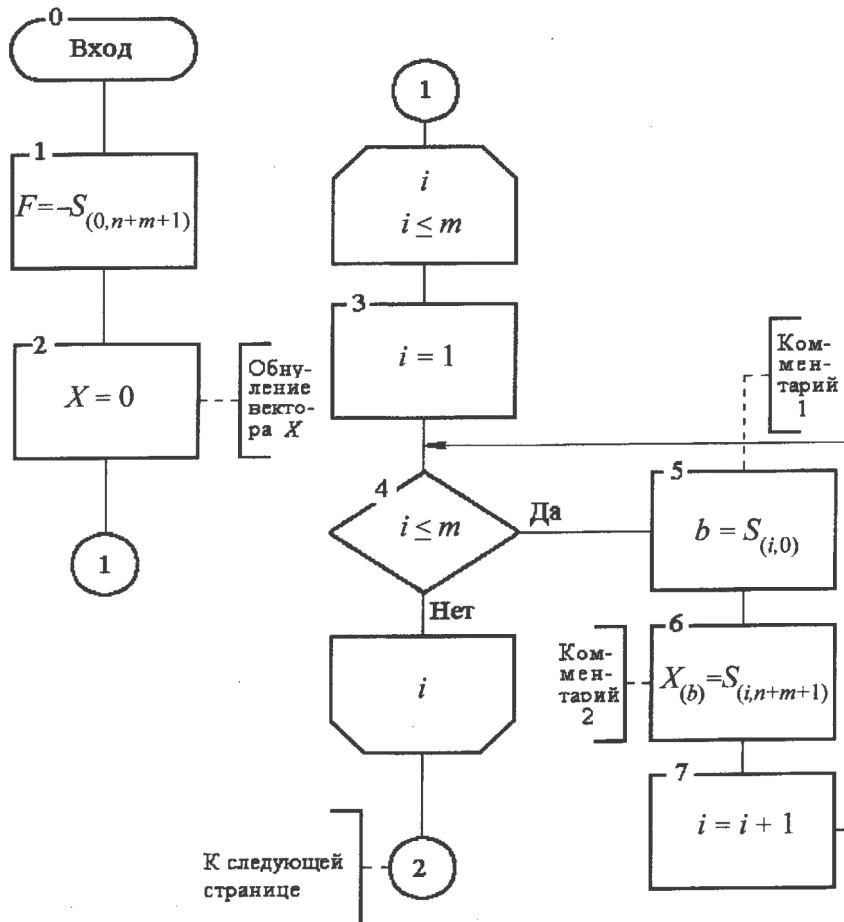


Рисунок 1. Схема главного модуля программы simplex.bas
 Источник: здесь и далее рисунки выполнены авторами

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом транспортной задачи



Содержание комментариев

Комментарий 1. Определение значения очередного индекса b элемента вектора X . В символе 2 обнуляются все элементы (как базисных, так и свободных неизвестных) вектора X (его полная запись $\{X_{(b)}\}_{b=1,n+m}$), а в символе 5 индексам b присваиваются значения только индексов базисных неизвестных.

Комментарий 2. Определение значения очередного элемента $X_{(b)}$ (являющегося базисным неизвестным) вектора X (значения свободных неизвестных остаются нулевыми – эти значения свободных неизвестных были присвоены в символе 2).

Рисунок 2. Схема алгоритма подзадачи 5
«Формирование и выдача на печать выходного документа»

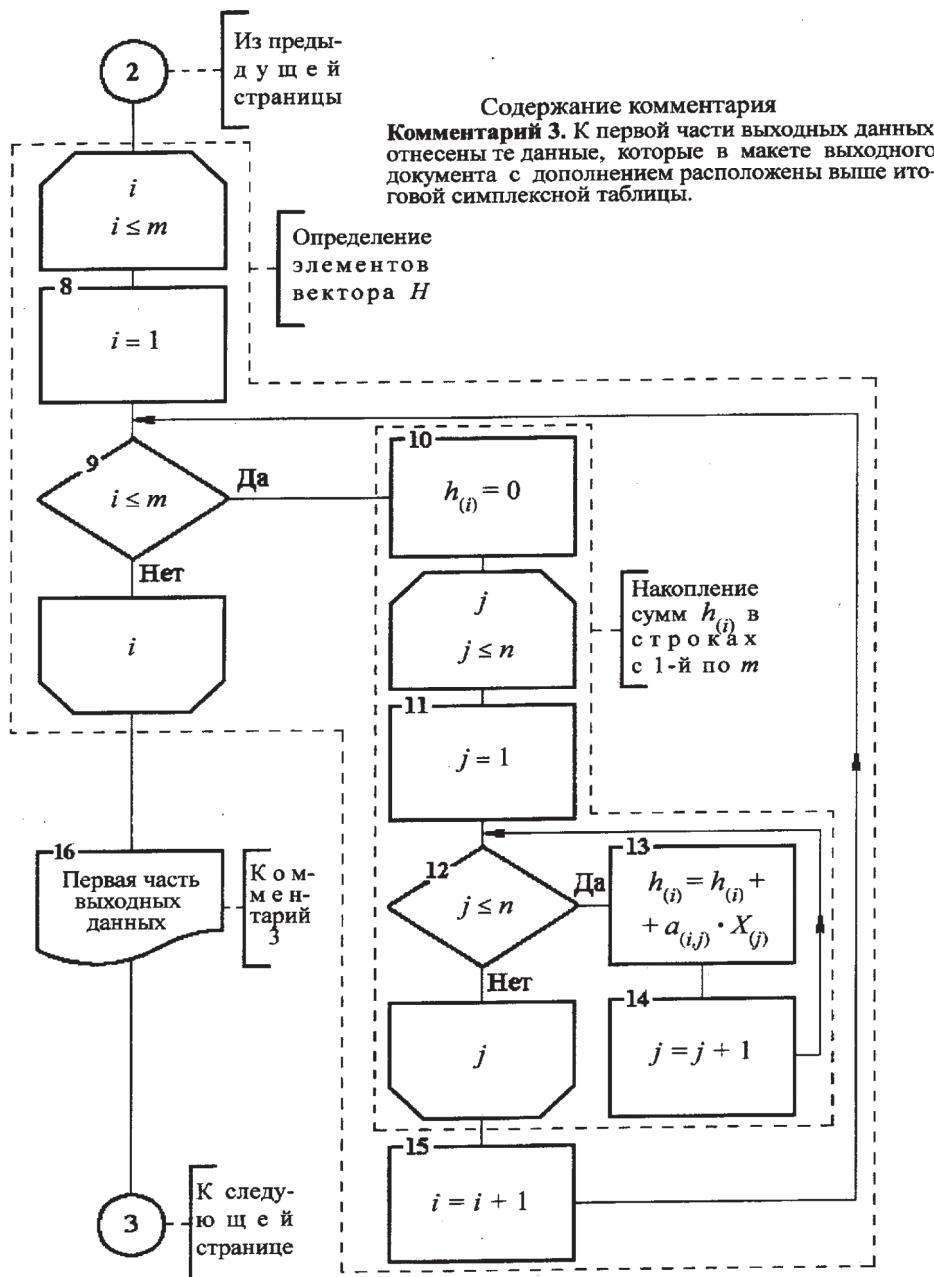


Рисунок 2. Продолжение, начало на с. 15

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом
транспортной задачи

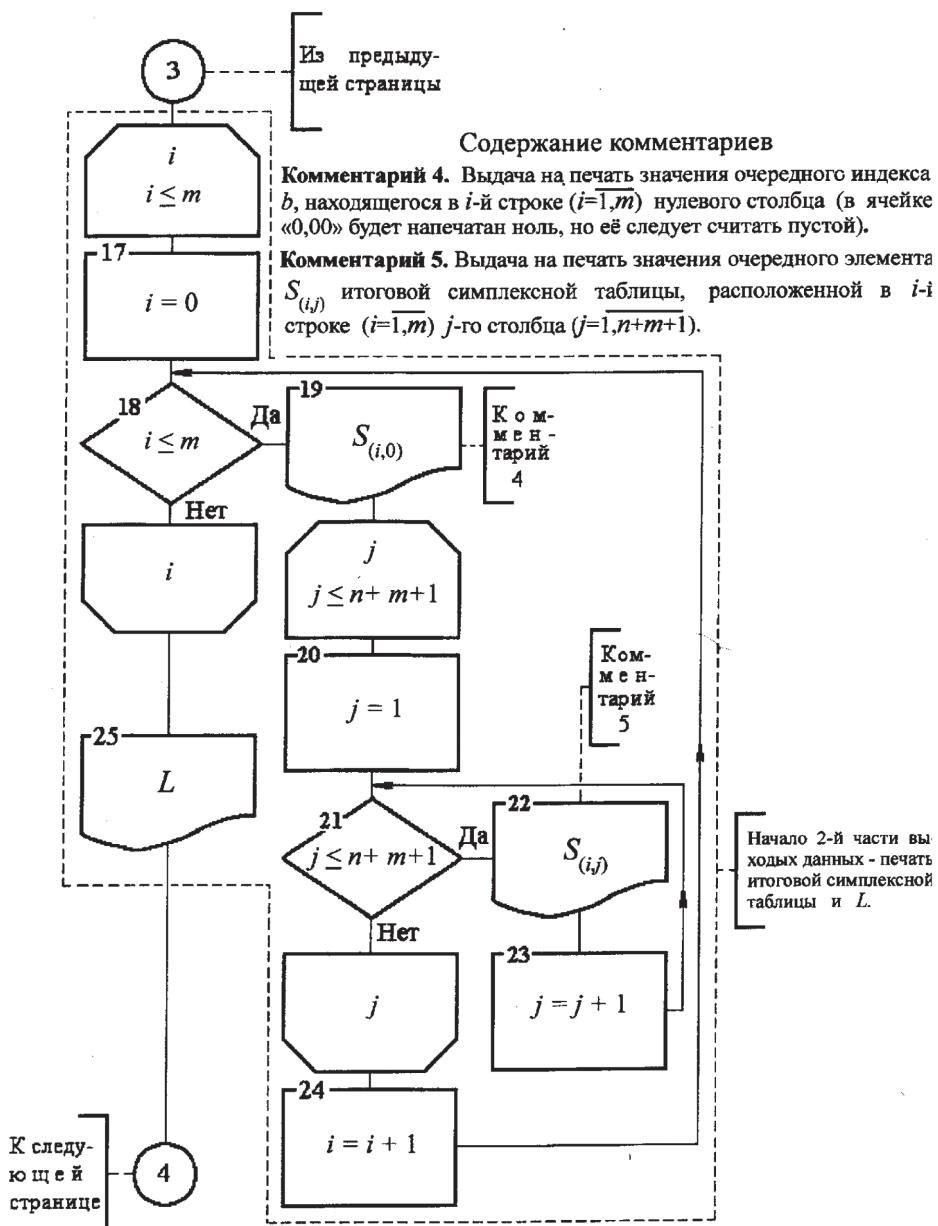


Рисунок 2. Продолжение, начало на с. 15

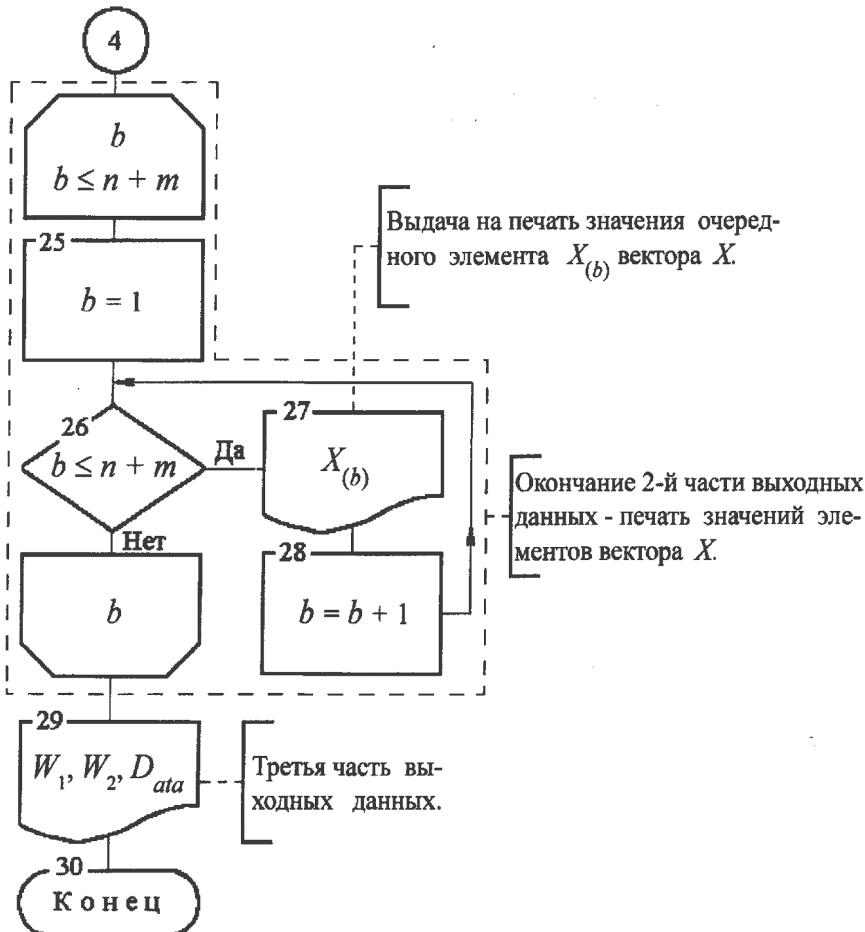


Рисунок 2. Окончание, начало на с. 15

При решении задачи использовались следующие значения числовых исходных данных:
 $m = 4$; $n = 2$; $C_{(1)} = 200$; $C_{(2)} = 300$; $a_{(1,1)} = 2$; $a_{(1,2)} = 2$; $a_{(2,1)} = 1$; $a_{(2,2)} = 2$; $a_{(3,1)} = 0$; $a_{(3,2)} = 4$;
 $a_{(4,1)} = 4$; $a_{(4,2)} = 0$; $b_{(1)} = 12$; $b_{(2)} = 8$; $b_{(3)} = 12$; $b_{(4)} = 16$.

Текстовыми исходными данными являются:

- множества W_1 , W_2 , $D_{\text{ата}}$, заданные способом описания элементов определяющим свойством $P(x)$ [12];
- остальные текстовые данные, вводимые при непосредственном общении с макетом выходного документа.

Результаты решения задачи симплекс-методом приведены на Рисунках 3–5 с использованием программы для ЭВМ [12].

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом
транспортной задачи

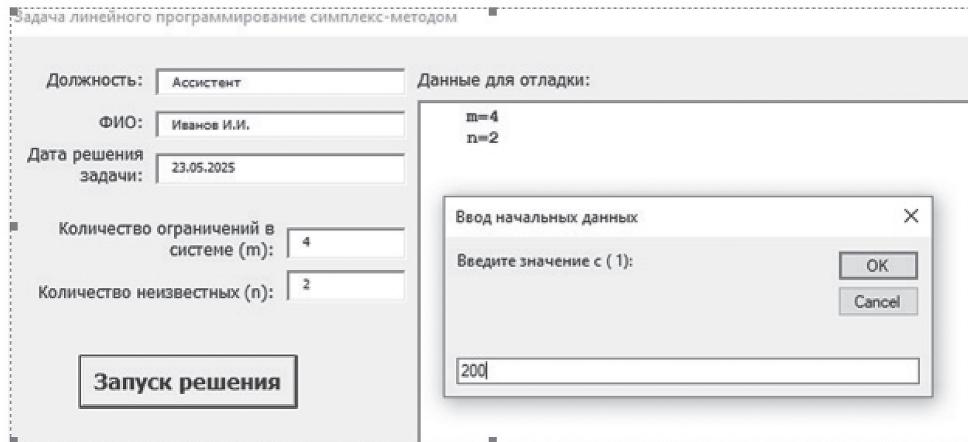


Рисунок 3. Решение задачи симплекс-методом. Ввод данных

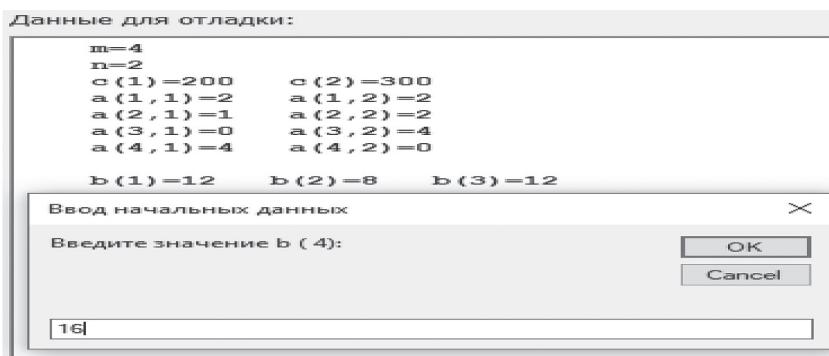


Рисунок 4. Решение задачи симплекс-методом. Ввод данных

Данные для отладки:

```

m=4
n=2
c(1)=200    c(2)=300
a(1,1)=2    a(1,2)=2
a(2,1)=1    a(2,2)=2
a(3,1)=0    a(3,2)=4
a(4,1)=4    a(4,2)=0

b(1)=12    b(2)=8    b(3)=12    b(4)=16
rmax=300
Запуск процедуры поиска ведущей строки PWSTR

Ведущая строка v=3
|
Запуск процедуры пересчёта симплексной таблицы PBSIT
Процедура пересчёта симплексной таблицы
| S(0;1)=200; S(0;2)=300; S(0;3)=-75; S(0;4)=0; S(0;5)=0; S(0;6)=0; S(0;7)=-900;
| S(1;1)=2; S(1;2)=2; S(1;3)=-0,5; S(1;4)=0; S(1;5)=0; S(1;6)=0; S(1;7)=6;
| S(2;1)=1; S(2;2)=2; S(2;3)=-0,5; S(2;4)=0; S(2;5)=0; S(2;6)=0; S(2;7)=2;
| S(3;1)=0; S(3;2)=4; S(3;3)=0,25; S(3;4)=0; S(3;5)=0; S(3;6)=0; S(3;7)=3;
| S(4;1)=4; S(4;2)=0; S(4;3)=0; S(4;4)=0; S(4;5)=0; S(4;6)=0; S(4;7)=16;

Пересчет ведущей строки по правилу 3
Присваивание нулевых значений элементам ключевого столбца по правилу 4
S(0;2)=0;
S(1;2)=0;
S(2;2)=0;
S(3;2)=0;
S(4;2)=0;

Генеральному элементу по правилу 5 присваивается значение единицы: S(3;2)=1; rmax=200
Запуск процедуры поиска ведущей строки PWSTR

Ведущая строка v=2
|
Генеральному элементу по правилу 5 присваивается значение единицы: S(2;1)=1; rmax=0
Запуск процедуры распечатки FWPWD
| 1 Потребность в подвижном составе при использовании схемы погрузки 1-го типа, единиц/схему
2; 1; 0
| 2 Тот же, 2-го типа, единиц/схему
2; 2; 4
| 3 Выделено подвижн. состава, ед.
12; 8; 12
| 4 Используется для перевозки, ед.
10; 8; 12
| 5 Остается в резерве, ед.
8; 0; 0; 0

Таблица 2 - Итоговая симплексная таблица
S(0,0)=0; 0; 0; -150; 0; -12,5; -1400;
S(1,0)=3; 0; 0; 1; 0; -1; -0,25; 0;
S(2,0)=1; 1; 0; 0; 0; 0,25; 4;
S(3,0)=2; 0; 1; 0; 0; 0,5; -0,13; 2;
S(4,0)=3; 0; 0; 0; 0; -2; 0,5; 4;
=====
Оптимальный план получен за 3 итерации
Искомые значения элементов вектора X:
X(1)=4
X(2)=2
X(3)=0
X(4)=0
X(5)=4
X(6)=0

```

Рисунок 5. Решение задачи симплекс-методом. Вывод данных

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом
транспортной задачи

Заключение

Для поставленной задачи линейного программирования разработан проект ее решения с использованием симплекс-метода. По завершении рассмотренных этапов алгоритма решения управлеченческой задачи получены результаты решения данной задачи. Алгоритм может быть использован при постановке задач для их последующего решения на ЭВМ. Проект решения задачи разработан в соответствии с требованиями госстандартов и может быть использован в организациях при подготовке управлеченческих решений. Описанная методика решения задачи линейного программирования с использованием симплекс-метода может быть использована как пример при подготовке задач, решаемых другими математическими методами.

Литература

1. Соколинский Л.Б., Соколинская И.М. О новой версии апекс-метода для решения задач линейного программирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2023. Т. 12. № 2. С. 5–46. DOI: 10.14529/cmse230201. EDN QKTRMC.
2. Бахтиярова О.Н., Птицына И.В., Подзорова М.И. Применение геометрического метода для решения задач линейного программирования в курсе дисциплин «Исследование операций» и «Методы оптимизации» // Modern European Research. 2024. Т. 1. № 1. С. 12–22. EDN GVVUZQ.
3. Усатюк В.С., Егоров С.И. Поиск треппин-сетов методом смешанного целочисленного линейного программирования с использованием априорного списка кодовых вершин // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023. Т. 27. № 4. С. 79–97. DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-4-79-97>. EDN RFTGRE.
4. Ольховский Н.А. Исследование нейросетевого метода решения задач линейного программирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2023. Т. 12. № 4. С. 55–75. DOI: 10.14529/cmse230402. EDN AQKNZA.
5. Полежаев С.В. Симплекс-метод: основные идеи // Современные информационно-коммуникационные технологии. 2022. № 12. С. 44–46. EDN ESCQMQ.
6. Вихарев Н.А. Использование симплекс-метода для оптимизации переработки никеля с помощью цифрового двойника // Ceteris Paribus. 2022. № 12. С. 9–11. EDN UPTZPD.
7. Султанов А.Т. Применение симплекс-метода для решения задач инженерной оптимизации // Уральский научный вестник. 2023. Т. 10. № 7. С. 8–15. EDN YXTKNL.
8. Галкин В.А., Кузина Е.Л., Кузина М.А., Василенко Е.А. Применение симплекс-метода в повышении экологичности производства на транспортных предприятиях // Качество. Инновации. Образование. 2024. № 1 (189). С. 26–33. DOI: 10.31145/1999-513x-2024-1-26-33. EDN AFVYFG.
9. Смагин Б.И., Машин В.В. Критический анализ решения задачи целочисленного линейного программирования методом Гомори // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1. Номер статьи 106. EDN OPXXSH.
10. Божко Л.М., Дергачев А.И., Дергачев С.А. Математическая модель решения задачи линейного программирования с помощью симплекс-метода // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2024. № 3. С. 3–15. DOI: 10.18137/RNU.V9187.24.03.P.3. EDN ZJJGFQ.
11. Божко Л.М., Дергачев А.И., Дергачев С.А. Алгоритм решения задачи линейного программирования на основе симплекс-метода // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные

системы: модели, анализ и управление. 2024. № 4. С. 79–90. DOI: 10.18137/RNUV9187.24.04.P.79. EDN NQCPPC.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667320 Российская Федерация. «Модель решения задачи линейного программирования с помощью симплекс-метода» : заявка. 25.06.2025 : опубл. 03.07.2025 / Дергачев А.И., Благовещенская Е.А., Дергачев С.А., Куранова О.Н., Карпунин П.С. EDN DPJDGZ.

References

1. Sokolinsky L.B., Sokolinskaya I.M. (2023) On New Version of the Apex Method for Solving Linear Programming Problems. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Computer Science*. Vol. 12. No. 2. Pp. 5–46. DOI: 10.14529/cmse230201 (In Russian).
2. Bakhtiyarova O.N., Ptitsyna I.V., Podzorova M.I. (2024) Application of the Geometric Method for Solving Linear Programming Problems in the Course of the Disciplines «Operations Research» and «Optimization Methods». *Modern European Research*. Vol. 1. No. 1. Pp. 12–22. (In Russian).
3. Usatyuk V.S., Egorov S.I. (2023) Trapping Sets Search Using the Method of Mixed Integer Linear Programming with a Priori List of Variable Nodes. *Proceedings of the Southwest State University*. Vol. 27. No. 4. Pp. 79–97. DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-4-79-97> (In Russian).
4. Olkhovsky N.A. (2023) Study of Neural Network Models for Linear Programming. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Computer Science*. Vol. 12. No. 4. Pp. 55–75. DOI: 10.14529/cmse230402 (In Russian).
5. Polezhaev S.V. (2022) Simplex-Method: Basic Ideas. *Sovremennye informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii* [Modern Information and Communication Technologies]. No. 12. Pp. 44–46. (In Russian).
6. Vikharev N.A. (2022) Using the Simplex Method to Optimize Nickel Processing by Means of a Digital Twin. *Ceteris Paribus*. No. 12. Pp. 9–11. (In Russian).
7. Sultanov A.T. (2023) Application of the Simplex Method for Solving Engineering Optimization Problems. *Ural'skii nauchnyi vestnik* [Ural Scientific Bulletin]. Vol. 10. No. 7. Pp. 8–15. (In Russian).
8. Galkin V.A., Kuzina E.L., Kuzina M.A. (2024) The Simplex Method Application in Increasing the Production Environmental Friendliness at Transport Enterprises. *Quality. Innovation. Education*. No. 1 (189). Pp. 26–33. DOI: 10.31145/1999-513x-2024-1-26-33 (In Russian).
9. Smagin B.I., Mashin V.V. (2022) Critical Analysis of the Solution of the Problem of Integer Linear Programming by the Gomori Method. *Nauka i Obrazovanie* [Science and Education]. Vol. 5. No. 1. Article no. 106. (In Russian).
10. Bozhko L.M., Dergachev A.I., Dergachev S.A. (2024) Mathematical Model for Solving the Linear Programming Problem Using the Simplex Method. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Management*. No. 3. Pp. 3–15. DOI: 10.18137/RNUV9187.24.03.P.3 (In Russian).
11. Bozhko L.M., Dergachev A.I., Dergachev S.A. (2024) Algorithm for Solving Linear Programming Problem Based on Simplex Method. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis and Management*. No. 4. Pp. 79–90. DOI: 10.18137/RNUV9187.24.04.P.79 (In Russian).
12. Certificate of registration of the program for computers RU 2025667320 “The Model for Solving the Linear Programming Problem Using the Simplex Method”. Dergachev A.I., Blagoveshchenskaya E.A., Dergachev S.A., Kuranov O.N., Karpunin P.S. Application No. 2025886085 dated 25.06.2025. (In Russian).

Алгоритм формирования выходного документа при решении симплекс-методом
транспортной задачи

Поступила в редакцию: 28.10.2025

Received: 28.10.2025

Поступила после рецензирования: 14.11.2025

Revised: 14.11.2025

Принята к публикации: 02.12.2025

Accepted: 02.12.2025