

УДК 519.85

## Анализ и программная реализация открытой многоиндексной задачи о назначениях с запретами

Е.А. Шипилова<sup>1</sup>, Д.В. Игнатов<sup>1</sup>, Н.Д. Игнатов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

Рассматривается задача комплектования мобильного комплекса оптимальным составом оборудования для обслуживания объектов. Предложена математическая модель поставленной задачи. Модель классифицирована как многоиндексная открытая задача о назначениях с запретами. Предложены методы модификации задачи к линейной модели, позволяющие найти решение поставленной задачи оптимизации. Для реализации расчета математической модели предложен метод решения на основе «жадных» алгоритмов. Предложенный алгоритм реализован в виде программного приложения, показавшего достоверность получаемых результатов, универсальность и высокую устойчивость к изменению входных данных.

Ключевые слова: задача о назначениях, многоиндексная задача, открытая задача, задача с недопустимыми назначениями, линейное программирование, «жадные» алгоритмы.

## Analysis and programmatic implementation of open multi-index task on appointments with prohibitions

E.A. Shipilova<sup>1</sup>, D.V. Ignatov<sup>1</sup>, N.D. Ignatov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

The task of picking up a mobile complex with the optimal composition of equipment for servicing facilities is being considered. A mathematical model of the problem is proposed. The model is classified as a multi-index open problem on-values with inhibitions. Methods of modifying the problem to a linear model are proposed, which allow to find a solution to the given optimization problem. To implement the calculation of the mate model, a solution method based on «greedy» algorithms is proposed. Proposed algorithm is implemented in the form of software application showing reliability of obtained results, versatility and high resistance to change of input data.

Keywords: assignment problem, multi-index problem, open problem, problem with invalid assignments, linear programming, «greedy» algorithms.

В качестве объекта исследования рассматривается задача назначения специалистов на различные виды работ, структурная схема объекта приведена на рис. 1.

В силу специфики выполняемых операций и организации процесса, математическая модель задачи записывается следующим образом:

$$L(x) = \sum_{j=1}^m T_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} \leq m, \quad i = \overline{1, n} \quad (2)$$

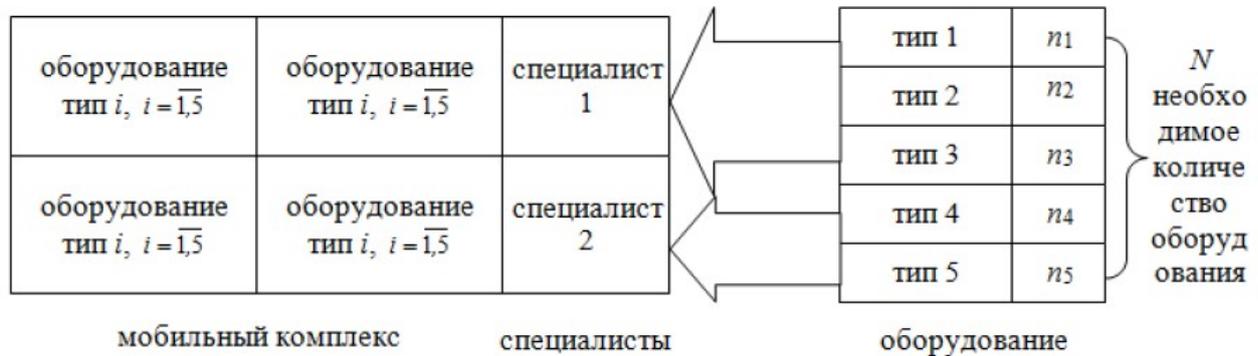


Рисунок 1. Структура объекта исследования.

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} \leq 4, \quad j = \overline{1, m} \quad (3)$$

$$x_{i,j} = \{0,1\}, \quad (i,j) \in R_{\text{д.н.}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

$$x_{i,j} = 0, \quad (i,j) \notin R_{\text{д.н.}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \quad (5)$$

$$T_j = \max \left\{ \sum_{i=4}^5 t_{i,1} x_{i,1}, \sum_{i=1}^3 t_{i,2} x_{i,2} \right\}, \quad j = \overline{1, m} \quad (6)$$

где  $L(x)$  – целевая функция трудозатрат или затрат времени;  $T_j$  – время, затрачиваемое специалистами на выполнение комплекса работ с учетом того, что специалисты могут одновременно выполнять свои операции;  $t_{ij}$  – время, затрачиваемое специалистом  $i$ -го комплекса на выполнение  $j$ -й работы;  $x_{i,j}$  – переменные матрицы назначений,  $x_{i,j} = \{0,1\}$ ;  $m$  – количество комплексов работ;  $n$  – количество типов выполняемых работ;  $R_{\text{д.н.}}$  – область допустимых назначений, задающая возможные работы по типам специалистов.

Таким образом, мы имеем оптимизационную задачу линейного программирования в неклассической формулировке [1]. Для решения подобных задач необходимо прямоугольную матрицу назначений преобразовать к квадратному виду, а для учета недопустимых назначений, ввести функцию штрафов, чтобы решение не выходило из допустимой области [2].

Задачи подобного рода целесообразно решать с использованием «жадных» алгоритмов [3], которые вначале распределяют работы с наибольшими трудозатратами и так далее по убыванию. В нашем случае будет также учитываться область недопустимых назначений.

В результате анализа различных методов решений задач о назначениях [4] был разработан алгоритм решения задачи, представленный на рис. 2.

Алгоритм решения был реализован в виде программного пакета, структурная схема которого представлена на рис. 3. В качестве исходных данных для решения задачи выступают матрица трудозатрат специалистов различной квалификации на работы с различным типом оборудования, а также вектор необходимого оборудования по типам.

Данные подобного типа целесообразно хранить в массивах, а для визуализации в программных приложениях использовать табличный вид представления. Результаты расчета, также наиболее удобно представить в виде таблицы назначений специалистов на различные виды работ.

Программное приложение было разработано с помощью универсальной среды разработки Borland C++ RAD 10.4, позволяющей быстро и эффективно сконструировать приложение для Windows, MacOS, iOS, Android и Linux на основе стандартных компонентов с использованием мощных средств визуального проектирования.

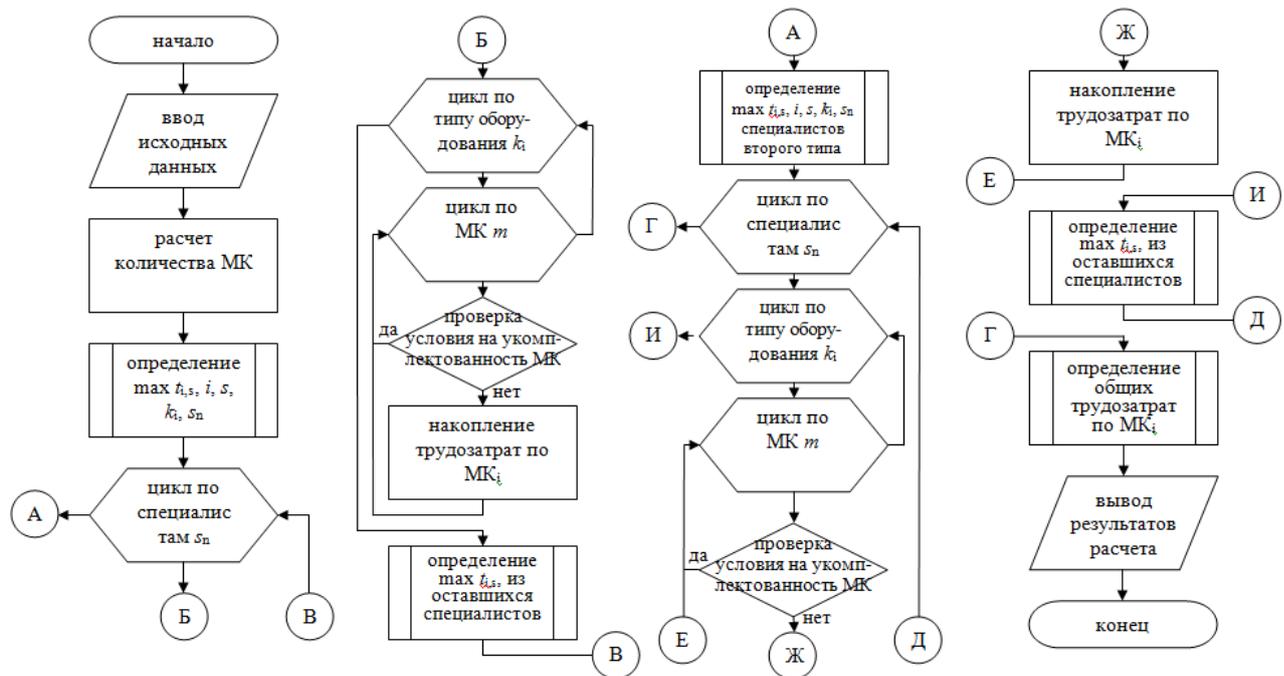


Рисунок 2. Алгоритм решения математической модели.



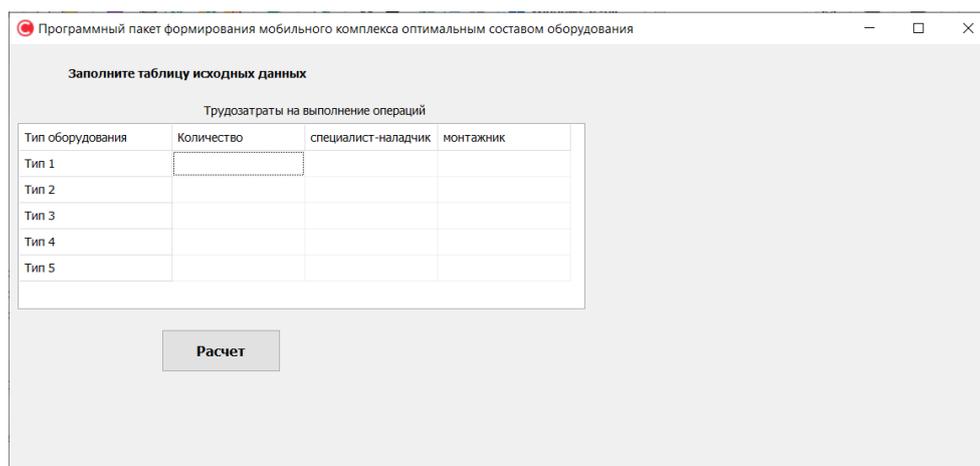
Рисунок 3. Структурная схема программного пакета.

Для ввода данных был использован компонент StringGrid, представляющий собой таблицу, предназначенную для ввода-вывода данных. В случае использования компонента для ввода, необходимо в свойствах настроить параметры возможности его редактирования, иначе изменения содержимого таблицы невозможно. Аналогично, для вывода результатов целесообразно использовать табличную форму, т.е. реализовать в приложении с помощью компонентов StringGrid, при этом свойство редактирования можно не настраивать, так как в этих таблицах данные не подлежат ручному редактированию.

Дополнительно вывод результатов можно оформить с помощью компонента Edit, формат выводимых значений которого – строковый.

Для облегчения работы с приложением дополним форму необходимыми поясняющими текстовыми блоками, вывод которых осуществляется с помощью компонентов Label в виде строковых констант.

В результате проектирования дизайна приложения был разработан макет, включающий все необходимые компоненты ввода-вывода информации и управления работой приложения. После настройки свойств компонентов, добавления кодов обработки соответствующих событий и кода реализации решения математической модели, получили исходный код программного продукта. Скомпилировав исходный код и запустив исполняемый файл приложения, возможна реализация расчета модели формирования мобильного комплекса оптимальным составом оборудования. Главная форма приложения приведена на рис. 4.



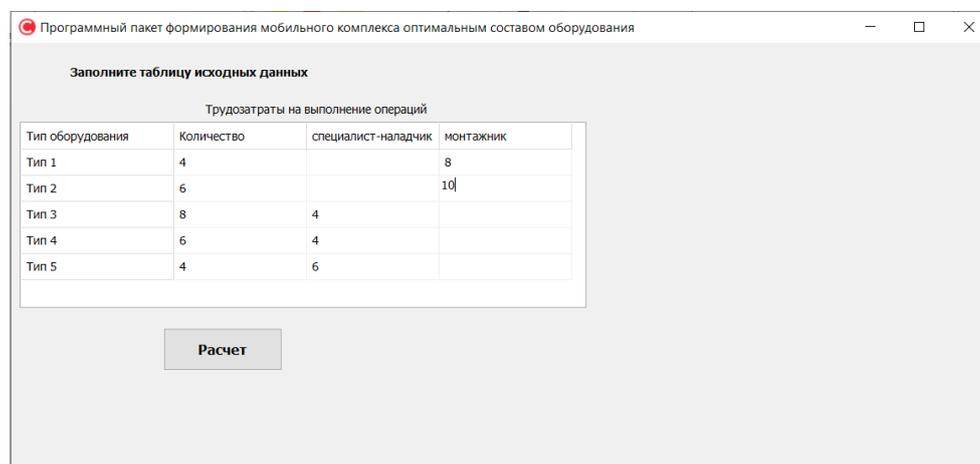
The screenshot shows a window titled "Программный пакет формирования мобильного комплекса оптимальным составом оборудования". The main area contains the text "Заполните таблицу исходных данных" and a table titled "Трудозатраты на выполнение операций". The table has four columns: "Тип оборудования", "Количество", "специалист-наладчик", and "монтажник". There are five rows labeled "Тип 1" through "Тип 5". The "Количество" column for "Тип 1" is currently empty and has a dashed border. Below the table is a button labeled "Расчет".

Тип оборудования	Количество	специалист-наладчик	монтажник
Тип 1			
Тип 2			
Тип 3			
Тип 4			
Тип 5			

Рисунок 4. Главная форма работающего приложения.

Перед началом расчета необходимо ввести в таблицу соответствующие исходные данные по количественному составу необходимого оборудования различных типов и трудоемкости технологических операций обслуживания оборудования различного типа специалистами различной квалификации. Форма с введенными данными представлена на рис. 5.

После ввода необходимых данных нажимается кнопка «Расчет», после чего управление передается математической модели, и результаты расчета выводятся в соответствующую таблицу и поля вывода информации (рис. 6).



The screenshot shows the same application window as in Figure 4, but with data entered into the table. The "Количество" column contains values 4, 6, 8, 6, and 4 for types 1 through 5 respectively. The "специалист-наладчик" column contains values 4 and 6 for types 3 and 5. The "монтажник" column contains values 8 and 10 for types 1 and 2. The "Расчет" button is still visible below the table.

Тип оборудования	Количество	специалист-наладчик	монтажник
Тип 1	4		8
Тип 2	6		10
Тип 3	8	4	
Тип 4	6	4	
Тип 5	4	6	

Рисунок 5. Главная форма работающего приложения с введенными данными.

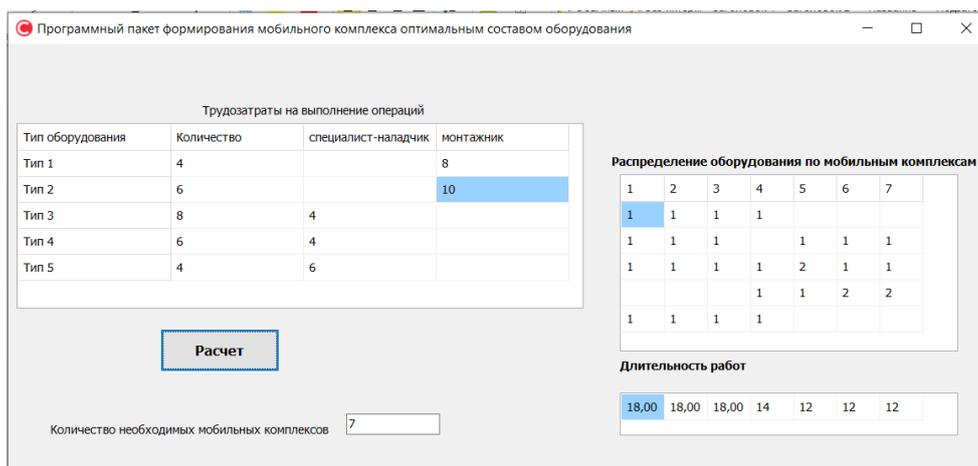


Рисунок 6. Главная форма работающего приложения с результатами расчета.

Завершение работы приложения осуществляется нажатием кнопки в виде крестика в правом верхнем углу формы программного приложения.

Из полученных результатов видно, что условие комплектования каждого комплекса не более четырьмя единицами оборудования соблюдается. Указанная комплектация позволяет удовлетворить потребности за минимальное время.

Для проверки адекватности расчета модели формирования мобильного комплекса оптимальным составом оборудования были проведены вычислительные эксперименты, которые заключались в генерации различных условий, а затем решалась оптимизационная задача с использованием программного пакета. Эксперименты показали высокую устойчивость решения к внешним условиям и однозначность получаемого результата.

Сформулирована многоиндексная открытая задача с недопустимыми назначениями, предложена обобщенная математическая модель задачи с модифицированной целевой функцией. На основе предположений о недопустимости отдельных комбинаций назначений предложено обобщение задачи и построена математическая модель. Предложен алгоритм поиска оптимального решения открытой многоиндексной задачи о назначениях с недопустимыми назначениями на основе «жадных» алгоритмов. Разработанный алгоритм реализован в виде программного приложения. Полученные результаты численного эксперимента показали достоверность получаемых результатов, универсальность и высокую устойчивость алгоритма к изменению исходных данных.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хыдырова Г.Д. Математическая модель задачи о назначениях и возможности ее использования при принятии управленческих решений / Г.Д. Хыдырова, А.Ю. Душкина, А.Г. Савина // Научные записки ОрелГИЭТ. – 2014. – № 1 (7). – С. 305-310.
2. Балашова И.Ю. Модели и алгоритмы решения обобщенных задач о назначениях: магистерская диссертация: 09.04.02. – ПГУ, политехнический институт, Пенза, 2020. – 97 с.
3. Коркишко Н.М. Приближенные алгоритмы решения некоторых многоиндексных задач о назначениях: автореферат дис. канд. физ.-мат. наук.: 01.01.09 – Новосибирск, 2003. – 20 с.
4. Коган Д.И. Концепции и алгоритмы решения многокритериальных модификаций задачи о назначениях / Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко, Д.А. Хандурин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 53. – С. 25-36.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Шпилова Елена Алексеевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры 206 математики, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия.

**Игнатов Дмитрий Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент 55 кафедры автоматизированных систем управления (и информационной безопасности), Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия.

**Игнатов Никита Дмитриевич**, студент 3-го курса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.