

# ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПОЕЗДОК ЭКСПЕРТОВ НА МЕРОПРИЯТИЯ

**А. С. Величко**

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*  
E-mail: velichko.as@dvfu.ru

В статье рассмотрена задача назначения экспертов на мероприятия, распределенные по населенным пунктам страны, при выполнении условий, описывающих условия и характер их работы, с одновременной минимизацией суммарных затрат экспертов на поездки. Такая задача возникает, например, при планировании работы экспертных комиссий, состоящих из специалистов различного уровня квалификации, проживающих в различных населенных пунктах, но как правило несовпадающих с местом проведения экспертиз для обеспечения принципа «внешней» экспертизы по отношению к месту её проведения. Задача относится к классу задач линейного бинарного программирования с большим числом двухиндексных неизвестных. Разработан программный код на языке python, в том числе «жадный» алгоритм для приближенного решения задачи.

## OPTIMIZATION OF INTERREGIONAL ASSIGNMENTS AND TRIPS OF EXPERTS TO EVENTS

**A. S. Velichko**

This article examines the problem of assigning experts to events distributed across the country while fulfilling conditions describing the conditions and nature of their work while simultaneously minimizing the experts' total travel costs. This problem arises, for example, for planning of the expert commissions consisting of specialists with varying levels of qualifications residing in different locations but typically not co-located with the location of the assessment to ensure the principle of 'external' assessment relative to the location. The problem belongs to the class of linear binary programming problems with many two-index variables. A program code in Python has been developed including 'greedy' algorithm for an approximate solution.

**Введение.** В настоящее время для проведения экспертиз необходимо привлечение специалистов различного уровня квалификации, проживающих в различных населенных пунктах, как правило несовпадающих с местом проведения экспертиз. Аналогичная проблема возникает и в секторе некоммерческих организаций, например, при формировании плана формирования работы судебных бригад, предусматривающих выезд судей различной квалификации из разных населенных пунктов страны на спортивные соревнования, требующих привлечения судей той квалификации, которая соответствует статусу соревнований, и которые проходят, как правило, в различных крупных городах. В сфере высшего образования существует практика работа выездных комиссий по аккредитации и лицензированию вузов, состоящих из «внешних» по отношению к организации экспертов, работающих в учебных заведениях, расположенных в различных городах страны.

Для эффективного распределения бюджетных средств, выделяемых на финансирование поездок таких групп экспертов при сохранении качества их работы предлагается разработка математической модели и соответствующего программного инструментария, что позволило бы равномерно распределить рабочее время экспертов в течение года и минимизировать суммарные расходы на их поездки.

**Математическая модель.** Математическая модель спроектирована как задач исследования операций [1] на основе следующих условий: целевая функция – сумма произведений расстояний от места проживания эксперта до места прохождения экспертизы на бинарную переменную, отвечающую за назначение этого эксперта для работы в конкретной экспертной комиссии. Каждый эксперт может быть назначен для работы в нескольких комиссиях, а количество экспертов в каждой экспертизе может варьироваться и зависеть, например, от объема работ.

Введем следующие обозначения для исходных данных:

$T_{ij}$  – матрица затрат на поездку, значения которой равны времени в пути эксперта  $j$  на мероприятие  $i$ ,

$V_{ij}$  – матрица соответствия уровня (квалификации) эксперта и уровня эксперта, требуемого на мероприятии, значения которой равны 1, если эксперт  $j$  соответствует работе в комиссии  $i$ , и равны 0 в обратном случае,

$C_i^{min}$  и  $C_i^{max}$  – минимальное и максимальное количество экспертов для мероприятия  $i$ ,

$m$  – общее количество экспертных мероприятий,

$n$  – общее количество экспертов.

Неизвестными переменными являются элементы матрицы назначений экспертов на мероприятия:  $X_{ij}$  – бинарная матрица назначений, значения которой равны 1, если эксперт  $j$  назначен на мероприятие  $i$ , и равны 0 в обратном случае.

Целевая функция состоит в суммарных расходах, которое минимизируется по выбору матрицы назначений:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ij} X_{ij}.$$

Ограничения задачи:

1. Количество привлекаемых на каждое мероприятие Нагрузка на офис не должна превышать максимальную вместимость

$$C_i^{min} \leq \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq C_i^{max},$$

2. Эксперты должны быть назначены на мероприятия, требующие уровня квалификации, не ниже уровня, требуемого конкретной экспертизой

$$X_{ij} \leq V_{ij}.$$

Рассматриваемая модель основана на задаче о назначениях из класса би-

нарного линейного программирования и транспортной задаче линейного программирования из исследования операций.

**Решение задачи.** Для тестирования математической модели и программного приложения рассматривался набор исходных данных, который содержит 98 экспертов, проживающих в 22 городах и 6 мероприятий.

Без учета профильности экспертов количество неизвестных равно 588, но число ограничений задачи равно всего 12. Учет профильности экспертов для конкретной экспертизы приводит к необходимости учёта дополнительных 588 ограничений, что не только усложняет её решение, но и может сделать задачу несовместной.

Программную реализацию методов решения для данного класса задач можно, например, найти в свободно распространяемом пакете научных вычислений SciPy [2]. Это одна из первых библиотек языка python, знакомство с которой начинается у специалистов в области data science: она содержит большой набор функций для научных вычислений, в том числе имеет инструменты для решения оптимизационных задач, находящихся в модуле optimize. Начиная с версии 1.9.0, появилась возможность решения задачи смешанно-целочисленного линейного программирования с помощью функции milp и linprog [3]. В качестве солвера для таких задач по умолчанию используется HiGHS - в нём реализованы симплекс метод (highs-ds) и метод внутренней точки (highs-ipm). При запуске решения по умолчанию выбирается один из методов, присутствует возможность задать нужный метод.

Эвристические алгоритмы представляют собой методы приближенного решения задач оптимизации, которые не гарантируют нахождение абсолютного оптимума, однако позволяют получать качественные решения за относительно короткое время. Они особенно полезны при решении сложных задач с большим объемом данных и множеством ограничений, где точные методы могут быть слишком ресурсоемкими или невозможными к применению.

Особое внимание заслуживает жадный алгоритм, который характеризуется простотой реализации и высокой скоростью вычислений. Его принцип заключается в последовательном выборе наилучшего локального варианта на каждом шаге. Такой подход обеспечивает быстрое получение допустимого решения, что особенно важно при наличии больших объемов данных и необходимости оперативного планирования. Кроме того, жадный алгоритм легко адаптируется к изменениям условий и позволяет реализовать итеративное улучшение решений. Однако следует учитывать, что жадные методы не гарантируют глобально оптимального результата и могут приводить к локальным минимумам, что требует последующего анализа и возможного применения дополнительных методов для повышения качества решения.

В представленной математической модели можно было бы дополнительно учесть равномерность загрузки экспертов, что однако сделало бы задачу нелинейной и потребовало бы дополнительного её сведения к линейной задаче, например, с помощью метода, используемого в работе [4].

**Выводы.** Предложенная математическая модель показывает возможность

снижения расходов на поездки экспертов между городами для участия в мероприятиях, требующих их уровня квалификации. Представление задачи в виде задачи бинарного линейного программирования делает возможным применения точных алгоритмов. Для того, чтобы избежать повышения количества индексов для неизвестных бинарных переменных, учет квалификации экспертов был сведен к построению дополнительной матрицы  $V$  соответствия уровня квалификации и уровня мероприятия. Тем не менее, «проклятие размерности» для подобных задач с бинарными переменными как правило может потребовать использования специальных приближенных алгоритмов. Работа может быть использована бюджетными, некоммерческими организациями и бизнесом для оптимизации расходования финансовых средств.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект № 075-15-2022-1143 «Передовые инженерные Школы».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Taha X. A.* Введение в исследование операций. 7-е изд. : Пер. с англ. М. : Изд-кий дом «Вильямс», 2007. 912 с.
2. *Virtanen P., Gommers R., et al.* SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python // Nature Methods. 2020. Vol. 17. No. 3. P. 261-272.
3. SciPy. Fundamental algorithms for scientific computing in Python. [Electronic resource]. URL: <https://scipy.org/> (access date: 25.09.2025).
4. *Величко А. С., Суханов Д. А.* Оптимизация группировки платежей // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2024. № 9. С. 136-139.