

УДК 005.96 : 519.852

133. МЕТОД ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ИТ-ПРЕДПРИЯТИЙ

Курганская П.Д., студент гр.272303

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Липницкая Н.И. – старший преподаватель, Каф.ЭИ

Аннотация. В работе рассматривается проблема оптимизации планирования работы персонала в сфере информационных технологий. Автором предложен гибридный подход, сочетающий метод целочисленного линейного программирования (ILP) и экспертные системы. Описана математическая модель минимизации затрат на оплату труда с учетом квалификации и временных ограничений. Приведены результаты апробации модели в среде MATLAB и сценарий её интеграции в современное веб-приложение.

Ключевые слова. Планирование трудовых ресурсов, целочисленное линейное программирование, ИТ-предприятие, оптимизация процессов, экспертные системы, распределение задач, математическое моделирование, алгоритмы управления, эффективность персонала, гибридные методы.

В условиях современной цифровой экономики человеческий капитал является основным активом ИТ-организаций. Эффективность деятельности предприятия напрямую зависит от качества планирования и распределения задач между специалистами. Традиционные методы управления, основанные на эмпирическом опыте руководителей, часто ведут к дисбалансу нагрузки: перегрузке одних сотрудников при недоиспользовании потенциала других. Это влечет за собой финансовые потери, срывы сроков и снижение мотивации персонала. Автоматизация данного процесса требует применения строгих экономико-математических методов, способных находить глобальный оптимум в условиях множества ограничений.

Для формализации процесса распределения ресурсов предлагается использовать модель целочисленного линейного программирования. Рассмотрим множество сотрудников $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ и множество задач $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$.

Каждая задача t_j характеризуется трудоемкостью h_j , сроком d_j и требуемым уровнем квалификации q_j . Каждый сотрудник e_i обладает фондом рабочего времени W_i , уровнем компетенций k_i и стоимостью часа работы c_i .

Целевая функция минимизации суммарных затрат на реализацию пула задач формулируется следующим образом:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_i h_j) x_{ij} \quad (1),$$

где x_{ij} – бинарная переменная ($x_{ij} = 1$, если задача j назначена сотруднику i , иначе 0).

Модель функционирует при соблюдении следующих условий:

- 1 Условие полноты: $\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1$ для каждой задачи j .
- 2 Ограничение по времени: $\sum_{j=1}^n h_j x_{ij} \leq W_i$ для каждого сотрудника i .
- 3 Соответствие квалификации: $x_{ij} = 1$ только если $k_i \geq q_j$.

Чисто математический подход может приводить к решениям, не учитывающим специфику ИТ-производства (например, чрезмерное дробление задач или частая смена контекста). Для адаптации модели к реальным бизнес-процессам в алгоритм вводится модуль экспертных правил (эвристики):

- 1 Правило непрерывности: минимизация переключений сотрудника между проектами.
- 2 Командное взаимодействие: учет опыта совместной работы участников.
- 3 Правило развития: контролируемое назначение сложных задач менее опытным кадрам для целей менторства.

Такое сочетание строгих вычислений и гибких логических условий позволяет трансформировать теоретический оптимум в практически применимый план, учитывающий человеческий фактор и сложившуюся культуру разработки.

Для проверки работоспособности предложенного метода был проведен контрольный эксперимент в среде MATLAB R2023b. В качестве объекта исследования был выбран условный отдел разработки, состоящий из 5 сотрудников с различными компетенциями и стоимостью часа работ. Пул задач на плановый период (неделю) включал 8 активностей с разными приоритетами и требованиями к квалификации. Исходные параметры ресурсов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Пример используемых данных

Сотрудник	Доступное время, ч (W _i)	Квалификация (k _i)	Стоимость часа, у.е. (c _i)
Иванов	40	8	25
Петрова	36	7	22
Сидоров	40	6	20
Кузнецова	32	9	30
Николаев	40	5	18

Задача сводится к бинарному программированию. Целевая функция – минимизация затрат. Ограничения: каждую задачу выполняет ровно один сотрудник; загрузка сотрудника не превышает его фонд времени; квалификация исполнителя не ниже требуемой. Приоритеты учтём путём отдельной оптимизации: сначала назначаем задачи с приоритетом 3, затем 2, затем 1, с учётом оставшихся ресурсов.

```
% Данные сотрудников
W = [40; 36; 40; 32; 40]; % доступное время
k = [8; 7; 6; 9; 5]; % квалификация
c = [25; 22; 20; 30; 18]; % стоимость часа

% Данные задач
h = [16; 24; 12; 20; 8; 18; 10; 14]; % трудоемкость
q = [7; 5; 6; 8; 4; 7; 5; 6]; % требуемая квалификация
p = [3; 2; 2; 3; 1; 2; 1; 3]; % приоритет
m = length(W); % число сотрудников
n = length(h); % число задач

% Целевая функция: минимизация суммарной стоимости
f = [];
for i = 1:m
    for j = 1:n
        f = [f; c(i) * h(j)]; % стоимость выполнения задачи j сотрудником i
    end
end

% Ограничение: каждая задача выполняется одним сотрудником
Aeq = zeros(n, m*n);
beq = ones(n, 1);
for j = 1:n
    Aeq(j, (j-1)*m+1 : j*m) = 1;
end

% Ограничение: загрузка сотрудника не превышает доступного времени
A = zeros(m, m*n);
b = W;
for i = 1:m
    for j = 1:n
        A(i, (j-1)*m + 1) = h(j);
    end
end

% Ограничение на квалификацию (через bounds)
lb = zeros(m*n, 1);
ub = ones(m*n, 1);
for i = 1:m
    for j = 1:n
        idx = (j-1)*m + i;
        if k(i) < q(j)
            ub(idx) = 0; % запрещаем назначение, если квалификация недостаточна
        end
    end
end

% Решаем задачу бинарного линейного программирования
intcon = 1:m*n; % все переменные целочисленные (бинарные)
[x, fval, exitflag] = intlinprog(f, intcon, A, b, Aeq, beq, lb, ub);
% Формируем матрицу назначений
```

assignments = reshape(x, [m, n]);

Применение встроенного решателя intlinprog позволило найти математически оптимальное распределение со значением целевой функции 1580 у.е. Однако первичный расчет выявил критическую проблему: самый «дешевый» сотрудник (Николаев) оказался перегружен сверх фонда рабочего времени, так как только он соответствовал ряду низкоприоритетных задач по критерию стоимости.

Для корректировки результата был задействован модуль экспертных правил, ограничивающий максимальную загрузку и перераспределяющий задачи с учетом резерва времени более квалифицированных сотрудников. Итоговая матрица назначений, полученная после интеграции экспертных правок, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Результирующая матрица распределения задач (1 — назначено)

Сотрудник \ Задача	1	2	3	4	5	6	7	8
Иванов	0	0	0	1	0	0	0	0
Петрова	1	0	0	0	0	1	0	0
Сидоров	0	0	1	0	0	0	0	1
Кузнецова	0	0	0	0	0	0	0	0
Николаев	0	1	0	0	1	0	1	0

Итоговая стоимость реализации пула задач составила 1620 у.е. Несмотря на незначительный рост затрат (+2.5%), данное решение является практически применимым, так как полностью исключает переработки и учитывает экспертные ограничения.

Визуализация результатов с помощью диаграммы Ганта (рисунок 1) позволила подтвердить равномерность распределения нагрузки. Эксперимент показал, что автоматизированный подход позволяет сократить время на составление графика в 5–7 раз по сравнению с ручным распределением, минимизируя при этом риск возникновения конфликтных ситуаций в коллективе из-за несправедливой нагрузки.

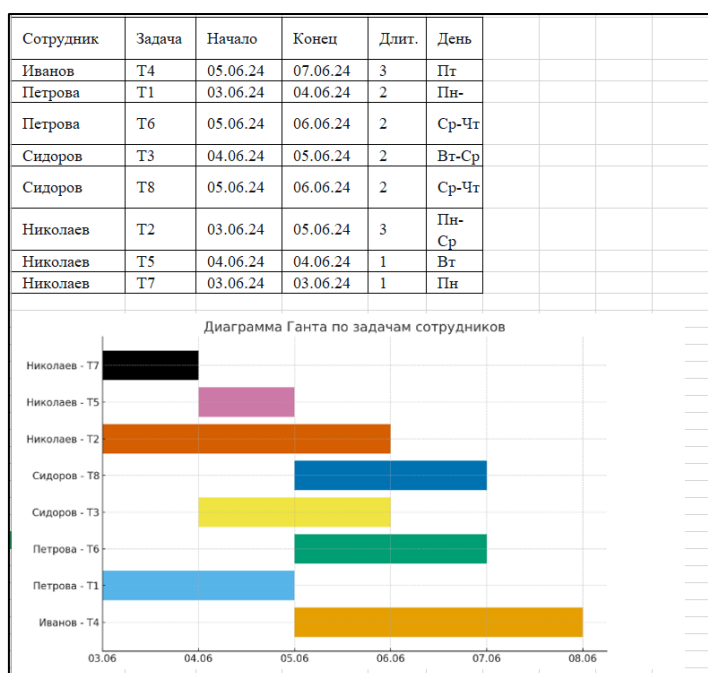


Рисунок 1 – Результат Excel

Результаты математического моделирования послужили основой для разработки модуля оптимизации в веб-приложении на стеке Spring Boot и React. Процесс взаимодействия пользователя с системой включает: загрузку данных о ресурсах из СУБД MySQL, выполнение API-запроса к серверному компоненту для запуска расчетов, визуализацию результата через интерактивные дашборды и диаграммы Ганта.

Применение методов целочисленного линейного программирования в сочетании с экспертными правилами позволяет перевести процесс планирования в IT-организациях на новый уровень. Разработанный алгоритм обеспечивает не только математическую точность распределения ресурсов, но и практическую применимость планов, учитывая человеческий фактор и нормы трудового права. Интеграция подобных моделей в современные информационные системы планирования является необходимым условием для повышения рентабельности и прозрачности управления IT-проектами.

Список использованных источников:

1. Таха, Х. А. Введение в исследование операций / Х. А. Таха. – М.: Вильямс, 2016. – 912 с.
2. State of Agile. 17th Annual State of Agile Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stateofagile.com/> – Дата доступа: 28.03.2026.
3. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшее образование, 2005. – 479 с.
4. TAdviser. IT-рынок России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России – Дата доступа: 24.03.2026.
5. Habr. Математическая оптимизация в планировании ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/515432/> – Дата доступа: 20.03.2026.

UDC 005.96 : 519.852

INTEGER LINEAR PROGRAMMING METHOD IN AUTOMATED HUMAN RESOURCE ALLOCATION FOR IT ENTERPRISES

Kurganskaya P.D.¹

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Lipnitskaya N.I. – Senior Lecturer, Department of EI

Annotation. The article considers the problem of optimizing personnel planning in the field of information technology. The author proposes a hybrid approach that combines the integer linear programming (ILP) method and expert systems. A mathematical model for minimizing labor costs is described, taking into account qualification and time constraints. The results of testing the model in the MATLAB environment and a scenario for its integration into a modern web application are presented.

Keywords. Resource planning, integer linear programming, IT enterprise, process optimization, expert systems, task allocation, mathematical modeling, management algorithms, personnel efficiency, hybrid methods.