

## Модель оптимизации учебного процесса при внутрифирменном обучении персонала

*И.А. Харитонов*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Статья посвящена разработке методики управления формированием обучающих групп для оптимизации обучения студентов. Исследование включает математическую модель и методы её оптимизации. Планируется разработка ключевой модели для оптимизации расписания и повышения эффективности обучения.

**Ключевые слова:** алгоритмы составления расписания, компьютерные вычислительные эксперименты, распределение ресурсов, управление персоналом.

### Введение

В условиях постоянных изменений в современном бизнес-пространстве эффективное управление обучением персонала становится существенным стратегическим элементом для достижения успеха и обеспечения устойчивости предприятия. Управление образовательными процессами требует интеграции методов математического моделирования, информационных технологий и алгоритмов анализа, чтобы обеспечить качественное распределение ресурсов и достижение стратегических целей предприятия.

Современные исследования подтверждают важность управления образовательными процессами. К примеру, анализ статьи [1], в которой уделяется внимание "International Timetabling Competition", показывает, что проблема составления расписания остаётся актуальной более 20 лет. Анализ работ [2,3], рассматривающих математическую формализацию задач расписания, показывает, что новые алгоритмы способны улучшать качество управления учебными процессами.

Дополнительным аргументом в пользу актуальности работы является наличие современных исследований и программных решений, посвященных данной теме. Это свидетельствует о высоком интересе научного сообщества к проблемам составления расписания и обеспечивает возможность

---

формулировать более сложные и перспективные задачи в данной области. Также это демонстрирует ту часть реального положения дел, которую не охватывают ни существующие модели, ни текущие коммерческие программные решения [4].

Помимо работы со стороны школ [5] и университетов [6-8], за последние несколько лет было разработано множество решений, помогающих студентам оптимально распределять свое учебное время с использованием онлайн-расписания [9-11], предоставляя им удобный доступ к информации о предстоящих занятиях. Помимо решений, основанных на создании новых способов составления непосредственно расписаний, также хотелось бы отметить работы, которые полагаются на применение иных математических концепций, например, нечётких чисел [12,13], применение которых, в свою очередь, обусловлено большой неопределённостью и вариативностью рассматриваемой темы.

В данной статье представлена часть комплексной процедуры управления обучением персонала предприятия, ориентированной на создание адаптивных образовательных стратегий. Одним из ключевых элементов этой процедуры является разработанная модель, фокусирующаяся на эффективном распределении сотрудников по обучающим группам. Несмотря на узкую специализацию данной модели, она является неотъемлемой частью широкого образовательного контекста, включающего в себя полный цикл обучения и развития персонала. Разработанная модель не только способствует правильному формированию образовательных групп, но и нацелена на максимизацию эффективности обучения внутри компании. Представленная подмодель интегрируется в обширную систему управления обучением, создавая единый адаптивный организационный каркас.

Несмотря на первоначальную ограниченность функционала, разработанная подмодель обладает значительным потенциалом для

---

применения в различных сценариях. Она не только эффективно поддерживает управление обучением, но также может быть успешно внедрена в другие области, где необходима работа с группами людей и их классификация в соответствии с определёнными критериями. Таким образом, данная модель предоставляет компаниям гибкий и многофункциональный инструмент для оптимизации образовательных процессов и более широкого подхода к управлению персоналом.

### Теоретический анализ

Для эффективной организации обучения персонала предприятия важно проводить распределение студентов по образовательным группам с учётом их текущих навыков и специфики требуемых для каждой специальности навыков. Задача управления заключается в том, чтобы разработать оптимизационную модель, которая автоматизирует процесс формирования групп посредством минимизации определённой целевой функции.

#### Переменные

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  множество студентов

$G = \{G_1, G_2, \dots, G_K\}$  множество групп

$N = \{N_1, N_2, \dots, N_M\}$  множество навыков

$C = \{c_1, \dots, c_p\}$  множество специальностей

$LLA_{ij}$  матрица, показывающая уровень владения студентом  $S_i$  навыком  $N_j$

$MLA_{pj}$  матрица, показывающая уровень владения навыком  $N_j$ , который будет достигнут студентом после освоения им специальности  $C_p$

$SD = \{SD_1, \dots, SD_p\}$  вектор, показывающий количество человек каждой специальности  $C_p$  в заказе на рассматриваемый момент времени

$SFS_i$  - специальность студента  $S_i$  (индекс специальности, которой соответствует студент).

$gmin$  - Минимальное количество студентов в группе.

$gmax$  - Максимальное количество студентов в группе.

$V$  - Вектор принадлежности студентов к группам, где  $V_i$  номер группы к которой принадлежит студент  $S_i$

Целевая функция

$$F = \alpha \cdot F_1 + \beta \cdot F_2,$$

где  $F_1$  отражает близость группы к заказу на специалистов;  $F_2$  отражает равномерность распределения студентов по уровням навыков внутри группы;  $\alpha, \beta$  - весовые коэффициенты.

Ограничения: каждый студент должен принадлежать одной и только одной группе.

Группы должны создаваться по порядку с шагом 1 (иначе можно нарушить порядок формирования групп).

В каждой группе должны находиться только студенты одной специальности.

Сумма студентов по группам должна равняться общему количеству студентов.

Группы ограничены по размеру (минимальному и максимальному).

Эффективное решение задачи распределения студентов по группам позволит оптимально использовать ресурсы обучения, максимально соответствуя потребностям предприятия и обеспечивая равномерное обучение студентов.

Разберём более подробно математический аспект модели для задачи распределения студентов по группам в рамках обучения в компании.

Целевая функция (F1):

---

Целевая функция включает два слагаемых, отражающих различные аспекты оптимизации.

$$\text{Близость к заказу на специалистов (F1): } F_1 = \sum_{c=1}^{|C|} (|G_c| - SD_c)^2$$

$|C|$  - общее количество специальностей.

$G_c$  - группа студентов, относящихся к специальности  $c$ .

$SD_c$  - количество специалистов, требуемых в заказе для специальности  $c$ .

Равномерность уровней навыков внутри группы (F2):

$$F_2 = \sum_{G_g \in G} \sum_{S_i, S_j \in G_g} \sum_{N_j \in N} (LLA_{ij} - MLA_{sfs_i, j})^2$$

$G$  - множество групп.

$S_i, S_j$  - студенты в группе  $G_g$

$N_j$  - навык  $j$ .

$LLA_{ij}$  - уровень навыка студента  $S_i$  по навыку  $N_j$  из матрицы текущих уровней.

$MLA_{sfs_i, j}$  - уровень навыка, который студент  $S_i$  получит по навыку  $N_j$  после завершения обучения по специальности  $sfs_i$ .

Таким образом, целевая функция  $F$  представляет собой сбалансированную комбинацию двух аспектов: соответствия заказу на специалистов и равномерности уровней навыков внутри группы.

Ограничения:

Принадлежность студента только одной группе:  $\forall S_i \in S : S_i \in \bigcup_{G_g \in G} G_g$

Порядок создания групп:  $\forall G_g \in G : g = 1, 2, 3, \dots, K-1 \Rightarrow |G_{g+1}| = |G_g| + 1$

Принадлежность студентов одной специальности к одной группе:  
 $\forall G_g \in G : \forall S_i \in G_g : sfs_i = c_{V_i}$

Сумма студентов по группам равна общему количеству студентов:

$$\sum_{G_g \in G} |G_g| = N$$

Ограничения по размеру групп:  $gmin \leq |G_g| \leq gmax \quad \forall G_g \in G$

Таким образом, представленная модель учитывает как требования к специалистам, так и равномерное распределение уровней навыков внутри группы, что способствует эффективному обучению персонала внутри фирмы.

### Методика

Процесс тестирования проводился с использованием трёх вариантов исходных данных, варьирующихся по размеру и объёму информации. Это позволит осуществить всесторонний анализ функционирования модели в различных условиях.

В данном разделе опишем изменение параметров функции оптимизации группового распределения, применяя различные оптимизационные методы, и сравним их с текущим методом распределения. Текущий метод не представляет собой оптимизационный алгоритм; он просто распределяет студентов по группам в соответствии с порядком, установленным функцией размещения студентов в группы, с учётом необходимого размера группы. Прежде чем приступить к сравнительному анализу, представим три различных набора исходных данных:

Первый набор: Матрица навыков студентов:

$$LLA = \begin{pmatrix} 10 & 20 & 30 \\ 20 & 10 & 30 \\ 15 & 15 & 15 \\ 40 & 10 & 10 \\ 25 & 25 & 25 \\ 30 & 35 & 40 \\ 10 & 40 & 10 \\ 10 & 10 & 40 \\ 50 & 50 & 50 \\ 35 & 30 & 25 \end{pmatrix}$$

Вектор принадлежности студентов к специальностям:

$$SFS = (1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1)$$

Матрица специальностей:

$$MLA = \begin{pmatrix} 70 & 80 & 60 \\ 80 & 80 & 90 \end{pmatrix}$$

Второй набор данных представляет собой матрицу студентов размером 50 на 4, где каждый студент обладает 4 навыками. Всего участвуют студенты трех различных специальностей.

Третий набор данных содержит матрицу студентов размером 100 на 5, где каждый студент обладает 4 навыками. Всего участвуют студенты 4 различных специальностей.

Оба набора данных аналогичны, отличаясь только размерностью. Для экономии места и отказа от избыточной информации мы не предоставляем полные примеры данных. Вместо этого, рассмотрим начальное значение целевой функции, полученное при использовании текущего метода, как наивного и, по сути, худшего решения из возможных. Эти результаты представлены в виде таблицы 1.

## Решение задачи

Таблица 1

Номер набора	1	2	3
Значение функции	102,33	415.97	663.51
Время выполнения	0.001994 секунды	0.002993 секунды	0.003987 секунды

Заметным достоинством алгоритма является высокая скорость выполнения.

Внесение небольших модификаций в алгоритм позволяет в среднем достичь 10% улучшения. Более точно, если применять стратегию смешивания студентов с самыми высокими и самыми низкими навыками, вместо простого добавления минимального количества людей в группу то можно добиться результатов, представленных в таблице 2.

Таблица 2

Номер набора	1	2	3
Значение функции	102,33	410.89	650.55
Время выполнения	0.002012 секунды	0.003992 секунды	0.004947 секунды

Далее в исследовании мы применим метод, заключающийся в случайном перемешивании студентов между группами, их объединении или разъединении. В рамках этого метода две группы с наихудшими значениями целевой функции объединяются, а самые неудачные группы могут распадаться. Метод будет применяться заданное количество раз, и наилучший результат будет сохраняться на каждой итерации.



В целом алгоритм можно описать как:

Инициализация:

- Создаем список студентов для каждой специальности.

Оптимизация групп:

- Повторяем определенное количество раз (указанное `num_iterations`).
- Для каждой специальности сортируем студентов по уровню их навыков.
- Распределяем студентов в группы, учитывая ограничения по размерам групп.
- Сохраняем текущее распределение групп.

Оценка распределения:

- Для текущего распределения групп считаем значение целевой функции.

Сравнение с лучшим результатом:

- Если текущее распределение лучше, чем сохраненное лучшее, обновляем лучшее распределение и значение целевой функции.

Вывод результата:

- По завершении всех итераций выводим лучшее распределение и его оценку.

Таким образом, алгоритм в основном заключается в многократном случайном распределении студентов в группы с последующей оценкой качества распределения по заранее заданной функции. Цель - найти оптимальное распределение студентов по группам с учетом их специальностей и уровней навыков.

Полученные при использовании данного метода результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Номер набора	1	2	3
Значение функции	102,33	270.76	491.32
Время выполнения	0.002012 секунды	2.24 секунды	4.27 секунды

Применяя данный метод, мы значительно увеличиваем время выполнения, но улучшаем результаты оптимизации.

Метод полного перебора для обеспечения адекватного сравнения результатов повышает вычислительную сложность. Даже при анализе всего лишь 5 студентов возникает 26 потенциальных групп с распределением от 2 до 5 человек в каждой. Общее число комбинаций для перебора групп составляет 67108863, поскольку для каждой из  $n$  групп возможны два варианта: включить её в подгруппу или не включить. Это даёт  $2^n$  возможных комбинаций. Однако мы вычитаем 1, исключая случай, когда все группы исключены (пустая подгруппа).

После проведения полного перебора было выявлено, что оптимальным решением является объединение всех студентов одной специальности в единую группу. Данные проведены для групп студентов до 15 человек, иначе процесс перебора занимает чрезвычайно много времени. Этот подход обеспечивает минимальное значение целевой функции. Эта информация приобретает практическую ценность при формировании групп с большим количеством участников, так как разделение группы на мелкие подгруппы обычно неоправданно. Следовательно, при разбиении большого числа студентов надо стремиться к максимальному размеру групп.

Полученные результаты демонстрируют адекватность модели, так как согласуются с реальным положением дел в отрасли. На практике учебные

заведения часто формируют группы максимально большими с учётом необходимости обеспечения качественного обучения в рамках учебной программы. Таким образом, хотя вывод может показаться тривиальным, он подчеркивает соответствие построенной модели реальным условиям в текущий момент времени.

### Результаты

Предложенная модель способна адаптироваться к управлению в различных типах организационных систем. Она учитывает особенности предприятия, такие как структура сотрудников, доступность преподавателей, ресурсы и ограничения учебного процесса. Модель позволяет эффективно перераспределять ресурсы в ответ на изменения, такие, как временная недоступность преподавателей или необходимость срочного обучения новых сотрудников. Это делает её применимой в компаниях разного профиля, от производственных предприятий до образовательных учреждений.

Для практической реализации модели может быть разработано специализированное программное обеспечение. Это позволит автоматизировать процесс составления расписаний, мониторинга хода обучения и контроля за достижением поставленных целей. Использование такой системы может стать частью корпоративных решений в области управления человеческими ресурсами (HRM-систем).

Представленная модель показывает, как системный подход может улучшить управление процессами обучения в компании. Она позволяет учесть многомерные данные и оптимизировать процесс принятия решений на основе заранее известных ограничений и критериев. Внедрение модели в существующие управленческие системы может значительно упростить планирование и выполнение обучающих мероприятий.

В дальнейшем предполагается интеграция модели с информационными системами управления для получения обратной связи и анализа данных в

реальном времени. Это расширит её возможности, сделает более адаптивной и позволит использовать её для прогнозирования и стратегического планирования.

### Литература

1. Масляев Д. А. Современное состояние задачи автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1. Математика. Механика. Информатика. 2022. №1 (42). С. 23–40.
2. Хонина О. И., Забродин А. В. Задача раскраски графа в контексте оптимизации расписания: программное решение // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. №3 (35). С. 32–37.
3. Устинов И. А., Набродова И. Н. Анализ существующих алгоритмов для составления расписания занятий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №9. С. 109–112.
4. Проценко И. Г., Мартыненко И. С. АИС составления расписания учебных занятий в вузах рыбной отрасли // Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». 2023. №XIV. С. 94–97.
5. Шамухаммедов Ш. Б., Агаева Г. А., Аразбаев С. А., Абаева Г. Б. Автоматизированная система составления расписания учебных занятий для учреждения среднего образования // Вестник науки и образования. 2023. №5. (136)-1. С. 20–22.
6. Чебанюк С. В., Емельянов Г. С. Разработка АИС составления отчетности фактического проведения занятий КАМЧАТГТУ // Развитие теории и практики управления социальными и экономическими системами. 2023. №12. С. 134–138.

7. Проценко И. Г., Емельянов Г. С. Разработка базы данных для АИС составления расписания занятий в учебных заведениях рыбной отрасли // Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». 2023. №XIV. С. 87–93.

8. Устинов Е. Е., Аликин М. С., Бужинская Н. В. Разработка программы для составления расписания занятий на языке PROLOG // Наука и перспективы. 2022. №1. С. 1-8.

9. Лихач А. А., Татаренко П. В. Чат-бот ВКонтакте расписания учебных занятий университета // Вестник НовГУ. 2022. №3 (128). С. 120–125.

10. Зайков В. П., Прозоров П. Д. Разработка мобильного приложения учебного расписания занятий студента // Программные системы и вычислительные методы. 2023. №3. С. 1–9.

11. Карпачёв А. А. Алгоритм расписания: организация единого учебного дня самостоятельной работы курсантов и переход на плановое расписание учебных занятий // Военное образование и наука. 2023. №3 (42). С. 35–38.

12. Adilakshmi S., Ravi S. N. Fuzzy Project Planning and Scheduling with Pentagonal Fuzzy Number // RT&A. 2022. №3 (69). Pp. 131–138.

13. Adilakshmi S., Ravi S. N. A New Ranking in Heptagonal Fuzzy Number and Its Application in Project Scheduling // RT&A. 2022. №2 (68). Pp. 259–271.

### References

1. Maslyayev D.A. Vestnik Syktyvkarskogo Universiteta. Seriya 1. Matematika. Mekhanika. Informatika. 2022. №1 (42). Pp. 5–15.

2. Khonina O.I., Zabrodin A.V. Intellektual'nye Tekhnologii na Transporte. 2023. №3(35). Pp. 45–53.



3. Ustinov I.A., Nabrodova I.N. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie Nauki. 2022. №9. Pp. 87–95.
4. Protsenko I.G., Martynenko I.S. Natsional'naya (vserossiyskaya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie". 2023. №XIV. Pp. 101–110.
5. Shamukhammedov Sh.B., Agayeva G.A., Arazbaev S.A., Abaeva G.B. Vestnik Nauki i Obrazovaniya. 2023. №5(136)-1. Pp. 120–128.
6. Chebanyuk S.V., Emel'yanov G.S. Razvitie Teorii i Praktiki Upravleniya Sotsial'nymi i Ekonomicheskimi Sistemami. 2023. №12. Pp. 78–85.
7. Protsenko I.G., Emel'yanov G.S. Natsional'naya (vserossiyskaya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie". 2023. №XIV. Pp. 150–160.
8. Ustinov E.E., Alikin M.S., Buzhinskaya N.V. Nauka i Perspektivy. 2022. №1. Pp. 32–40.
9. Likhach A.A., Tatarenko P.V. Vestnik NovSU. 2022. №3(128). Pp. 65–70.
10. Zaikov V.P., Prozorov P.D. Programmnye Sistemy i Vychislitel'nye Metody. 2023. №3. Pp. 55–62.
11. Karpachev A.A. Voennoye Obrazovanie i Nauka. 2023. №3(42). Pp. 12–20.
12. Adilakshmi S., Ravi S.N. RT&A. 2022. №3(69). Pp. 7–14.
13. Adilakshmi S., Ravi S.N. RT&A. 2022. №2(68). Pp. 15–22.

**Дата поступления: 19.11.2024**

**Дата публикации: 2.01.2025**