

На правах рукописи



**МУНЬКО Виктория Васильевна**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА  
НА ОСНОВЕ ДВУХЭТАПНОЙ СХЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ**

1.2.2. Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Омск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный технический университет» на кафедре «Прикладная математика и фундаментальная информатика».

Научный руководитель: **Зыкина Анна Владимировна**,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Прикладная математика и  
фундаментальная информатика» федерального  
государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Омский  
государственный технический университет».

Официальные оппоненты: **Хамисов Олег Валерьевич**,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий отделом прикладной математики федерального  
государственного бюджетного учреждения науки «Институт  
систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского  
отделения Российской академии наук», г. Иркутск.

**Веремчук Наталья Сергеевна**,  
кандидат физико-математических наук, доцент, доцент  
кафедры «Физика и математика» федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Сибирский  
государственный автомобильно-дорожный университет  
(СибАДИ)», г. Омск.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Уфимский университет  
науки и технологий», г. Уфа.

Защита состоится «23» декабря 2025 г. в 15-00 на заседании диссертационного  
совета 24.2.350.05, созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный  
технический университет» по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11, Главный корпус,  
ауд. П-202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Омского государственного  
технического университета и на официальном сайте <http://www.omgtu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.350.05,  
доктор технических наук, доцент



**Варепо Л. Г.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность диссертационной работы.** Корпоративные информационные системы (КИС) являются основой функционирования разных сфер деятельности, в том числе, в организации учебного процесса в образовательных учреждениях. Традиционные подходы и методы в моделировании таких систем часто оказываются недостаточно эффективными для быстрой обработки информации и принятия оперативных решений. Использование КИС предполагает решение задач сложноорганизованной структуры с определенной иерархией и взаимодействиями. Декомпозиция такой системы может быть представлена в виде многоэтапной схемы, где задачи каждого этапа содержат параметры, определяющие взаимосвязь задач между собой, и стратегии каждого этапа оказывают влияние друг на друга и на функционирование системы в целом. В результате эффективное использование КИС зависит от планирования информационных и организационных ресурсов, используемых моделей, методов и средств оптимизации процессов каждого этапа.

Значимость разрабатываемого в диссертационной работе подхода в моделировании организации учебного процесса и использование методов оптимизации для численной реализации построенных моделей являются основой для развития цифровых технологий не только в управлении образовательной деятельностью, но и в промышленности, экономике и социальной сфере. В связи с этим актуальна разработка формализованного представления сложноорганизованных структур для повышения эффективности последующих разработок и внедрения их в КИС разных сфер деятельности.

**Степень разработанности темы исследования.** В настоящее время разработаны различные подходы к моделированию организации учебного процесса. Авторы Никитин А.В., Черкасов Б.П., Белова А.М., Овчинников А.А. для оптимизации процесса формирования учебного плана применяют теорию графов и теорию сетевого моделирования, где модели учебного плана представлены в виде взвешенного ориентированного графа. Роменец В.А., Тишуков Б.Н., Дудук А.А. для реализации учебного плана используют междисциплинарный подход, который основан на применении экспертных оценок. На основе экспертных оценок меняются объемы дисциплин и корректируется содержание учебных дисциплин. В оптимизационных моделях Федотова А.В., Яндыбаевой Н.В. используется модульный подход при формировании учебного плана. Разнообразные аспекты моделирования задач формирования учебного плана отражены в работах Найхановой Д.В., Курченковой Т.В. и других.

Проведенный анализ показывает, что формирование учебного плана сводится к классу слабо формализованных задач. Такие задачи, как правило, имеют сложноорганизованную структуру с определенной иерархией и взаимодействиями. Научный вклад в разработку эффективных методов исследования задач с иерархической структурой сделан такими известными учеными как Дементьев В.Т., Ерзин А.И., Кочетов Ю.А., Кононов А.В., Ильев В.П., Еремеев А.В., Картак В.М., Хамисов О.В., Стрекаловский А.С., Казаков А.Л., Зыкина А.В. и другие.

Распространенным методом моделирования сложноорганизованных структур является декомпозиция в виде многоэтапной схемы, наиболее распространенными из них являются двухэтапные схемы. Подходы и методы решения таких задач в различных прикладных областях предложены в работах Коротченко А.Г., Нечитайло Н.М., Меньших В.В., Лебедевой О.А. и других. В двухэтапных схемах на каждом этапе решаются, как правило, однокритериальные задачи, однако, моделирование организации учебного процесса содержит много критериев (больше двух). В диссертации предлагается новый подход к моделированию многокритериальной проблемы организации учебного процесса в виде двухэтапной схемы оптимизации с использованием обобщения задачи о покрытии множества. Итерационные методы для численной реализации двухэтапных схем

оптимизации, предложенные в диссертационной работе, основаны на решении последовательности дискретных задач оптимизации с помощью алгоритмов эволюционной оптимизации на первом этапе и использовании идеи жадных алгоритмов для решения обобщения задачи о покрытии множества на втором этапе.

**Объектом исследования** являются корпоративные информационные системы организации учебного процесса в образовательном учреждении.

**Предмет исследования** – математические методы моделирования организации учебного процесса, модели, методы и алгоритмы для получения решения в контексте поставленных практических задач.

**Целью** диссертационной работы является разработка нового метода математического моделирования организации учебного процесса в виде двухэтапной схемы, а также разработка эффективных методов и алгоритмов для ускорения процесса принятия обоснованных решений.

Для достижения цели в диссертационном исследовании поставлены следующие **задачи**:

1. Разработать новый метод математического моделирования организации учебного процесса при декомпозиции многокритериальной задачи в виде двухэтапной схемы.

2. Для построенных формализованных моделей разработать методы и алгоритмы оптимизации на основе решения обобщения задачи о покрытии множества как двухэтапной схемы оптимизации.

3. Провести комплексное исследование научных и технических проблем практических задач с применением новой разработанной технологии математического моделирования и вычислительных экспериментов.

4. Разработать модули в виде комплекса проблемно-ориентированных программ для решения учебно-методических задач образовательных учреждений.

**Методы исследования.** В диссертационной работе используются методы математического моделирования, теория многокритериальной оптимизации, методы целочисленного линейного программирования, теория жадных и генетических алгоритмов.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработан новый метод математического моделирования в виде двухэтапной схемы, использующий обобщение задачи о покрытии множества и позволяющий выявить параметры для построения математических моделей второго этапа при декомпозиции многокритериальной задачи в виде двухэтапной схемы оптимизации.

2. Разработаны оригинальные математические модели для принятий решений в управлении учебным процессом вуза, для принятия решений в управлении экономической деятельностью торгового предприятия и в управлении персоналом, использующие двухэтапную схему моделирования.

3. Разработан метод исключения избыточных элементов покрытия для решения обобщения задачи о покрытии множества, являющийся модификацией жадного алгоритма.

4. Разработаны модули в виде комплекса проблемно-ориентированных программ, реализующие метод моделирования формирования учебного плана в виде двухэтапной схемы.

**Теоретическая значимость.** Предложенный в диссертации принцип построения обобщения задачи о покрытии множества применим к решению некоторых многокритериальных задач дискретной оптимизации, что позволяет на базе существующих итерационных методов создавать новые итерационные методы для решения задач векторной оптимизации. Таким образом, разработанный подход для моделирования двухэтапных схем решения задач многокритериальной оптимизации вносит вклад в развитие итерационных методов.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в том, что разработанные программные модули решают следующие задачи, возникающие в процессе учебно-методической работы:

- адаптация учебного плана к быстро меняющимся условиям профессиональной сферы,
- анализ рабочих программ дисциплин из учебного плана,
- формирование рекомендаций по выбору учебного плана для составления аттестационного листа обучающегося.

В том числе, разработанный в диссертации метод математического моделирования для организации учебного процесса адаптирован для построения моделей в следующих отраслях:

- в мелкооптовой торговле при выборе ассортимента товаров для максимизации обеспеченности потребностей покупателей,
- в управлении персоналом при решении проблемы рекрутинга для оценки профессиональных компетенций кандидата.

Результаты диссертационного исследования использованы для принятия решений в управлении процессом составления учебных планов образовательных платформ и учреждений. Получены акты внедрения разработанных программных решений в ООО «Здравствуй мир! Технологии», в средней общеобразовательной школе № 61 города Омска, в Омском государственном техническом университете.

Диссертационное исследование выполнено в рамках тематики государственного задания «Разработка новых моделей и методов принятия решений в многоуровневых системах управления» № FSGF-2024-0006 (план 2024-2026).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Новый метод математического моделирования некоторых сложноорганизованных структур в виде двухэтапной схемы, использующий обобщение задачи о покрытии множества, и математические модели, использующие технологию двухэтапной схемы моделирования при формировании учебного плана с учетом компетенций и преподавателей для максимизации обеспеченности компетенций и профильности преподавателей.

2. Модификация жадного алгоритма (метод исключения избыточных элементов покрытия) для решения обобщения задачи о покрытии множества, входными данными алгоритма являются решения задач первого этапа, полученные с помощью генетического алгоритма.

3. Модули в виде комплекса проблемно-ориентированных программ:

- программное решение для нахождения связи между дисциплинами и компетенциями в учебном плане,
- программное решение для анализа рабочих программ дисциплин из учебного плана,
- программное решение для рекомендации учебного плана при формировании аттестационного листа обучающегося.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на следующих научных конференциях: Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 2016, 2018, 2024); Всероссийской научно-методической конференции «Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе» (Омск, 2018); Региональной научно-технической конференции «Ученые Омска – региону» (Омск, 2020); Международной научно-методической конференции «Инженерное образование в цифровом обществе» (Минск, 2024); Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика» (Омск, 2017–2025);

Международной конференции «Теория математической оптимизации и исследование операций» (Омск, 2024; Новосибирск, 2025).

**Степень достоверности результатов работы.** Все полученные результаты обоснованы адекватностью применяемых методов и подтверждаются реализацией и тестированием программных продуктов.

**Публикации.** Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 14 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним, 2 статьи в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus, 8 публикаций в научных журналах, сборниках материалов конференций и сборниках тезисов конференций различного уровня. Получены 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Конфликт интересов с соавторами отсутствует.

**Личный вклад автора.** Представленные в диссертационном исследовании и выносимые на защиту методы математического моделирования, разработанные численные методы, алгоритмы и их программная реализация принадлежат лично автору.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам: п. 2 – Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; п. 3 – Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента; п. 8 – Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения, списка литературы и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 145 страниц, без приложений – 137 страниц. Диссертация содержит 13 таблиц и 32 рисунка. Список литературы включает 93 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность исследования, определены и сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы, указывается ее научная новизна и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о структуре и объеме работы.

**В первой главе** приводятся основные сведения о современных корпоративных информационных системах, используемых в управления учебным процессом в образовательных учреждениях, представлен анализ и проведен литературный обзор имеющихся на сегодняшний день отечественных и зарубежных работ, посвященных проблемным вопросам моделирования организации учебного процесса и использованию методов оптимизации для численной реализации построенных моделей. При формировании учебных планов должны учитываться степень востребованности компетенций и назначаться количество зачетных единиц дисциплинам в соответствии со степенью их значимости для формирования конкретной компетенции. При формировании учебной нагрузки преподавателя должны учитываться степень значимости дисциплины и квалификация преподавателя (его профильность по дисциплине). Такие процедуры, как определение содержания дисциплины, определение оптимального порядка изучения связанных дисциплин, подбор преподавателя для ведения определенного курса, учет опыта коллег и требований работодателей при подготовке рабочих программ дисциплин являются взаимосвязанными, и их необходимо регулировать. Все это напрямую связано с увеличением объема и усложнением системы документооборота, что приводит к

дополнительной нагрузке на преподавателей и руководителей подразделений. В результате становится актуальным моделирование учебно-методических задач для повышения гибкости образовательных программ, развитие цифровых технологий и новых аналитических инструментов для выполнения требований федеральных образовательных стандартов и промышленных партнёров.

Итогом первой главы является вывод о месте диссертационного исследования в развитии математических методов моделирования организации учебного процесса.

**Вторая глава** содержит результаты диссертационного исследования в математическом моделировании задач, обладающих двухэтапным характером. Двухэтапные схемы оптимизации являются эффективным инструментом и применяются практически во многих сферах деятельности, обеспечивая эффективное использование ресурсов и достижение высоких экономических результатов. В диссертации предложен новый метод математического моделирования многокритериальной задачи дискретного программирования в виде двухэтапной схемы оптимизации.

Двухэтапные схемы оптимизации в диссертационном исследовании применены в образовательной сфере. При моделировании организации учебного процесса возникают сложности, связанные с эффективным распределением дисциплин, преподавателей и компетенций. Основной сущностью в учебном плане и организационной единицей является дисциплина. Для каждой дисциплины зададим вес (объем, или количество часов/зачетных единиц, выделяемых на дисциплину). Взаимосвязь компетенций и дисциплин зададим параметром, который будем называть коэффициентом закрытия (обеспеченности) компетенции дисциплиной. Естественными критериями выбора дисциплин для учебного плана являются обеспеченность учебного плана минимальным набором возможных дисциплин при максимальной обеспеченности каждой заданной в учебном плане компетенции.

Введем следующие обозначения:

$j$  – номер дисциплины,  $j = \overline{1, n}$ ,

$i$  – номер компетенции,  $i = \overline{1, m}$ ,

$k_{ij} \in [0,1]$  – коэффициент закрытия (обеспеченности)  $i$ -й компетенции  $j$ -й дисциплиной,

$c_{ij} \in \{0,1\}$  – факт наличия  $i$ -й компетенции у  $j$ -й дисциплины (1, если  $k_{ij} > 0$ , 0 – иначе),

$v_j$  – количество часов, выделяемых на  $j$ -ю дисциплину,

$\underline{V}$  – нижняя граница часов по учебному плану,

$\overline{V}$  – верхняя граница часов по учебному плану.

Введем искомые параметры модели:  $x_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j - \text{я дисциплина включена в учебный план,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Введем ограничения, обеспечивающие закрытие каждой компетенции хотя бы одной дисциплиной:

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \geq 1, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Введем ограничения на количество часов по учебному плану:

$$\underline{V} \leq \sum_{j=1}^n v_j x_j \leq \overline{V}. \quad (3)$$

Введем критерии эффективности:

а) минимизация набора возможных дисциплин:

$$\sum_{j=1}^n x_j \rightarrow \min, \quad (4)$$

б) максимизация обеспеченности каждой  $i$ -й компетенции в учебном плане:

$$\sum_{j=1}^n k_{ij}x_j \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

В результате получаем многокритериальную задачу целочисленного линейного программирования (ЦЛП) (1) – (5). Ограничения задачи – это (1), (2), (3), критерии (4), (5).

*Замечание 1.* Не ограничивая общности, будем считать, что содержательно задача (1) – (5) всегда имеет решение. Действительно, всегда можно ввести достаточное количество дополнительных дисциплин, которые закроют заданные компетенции и обеспечат требуемое количество часов по учебному плану.

*Замечание 2.* Задача (1), (2), (4) является классической невзвешенной задачей о минимальном покрытии множества  $I = \{1, \dots, i, \dots, m\}$ . Действительно, здесь:

$i \in I$  – элементы множества  $I$ ,

$I_j, j = \overline{1, n}$  – элементы покрытия, это подмножества  $I_j \subseteq I$ :

$$I_j = \{i \in I \mid c_{ij} = 1\}. \quad (6)$$

Для фиксированного номера  $j$  элементами подмножества  $I_j$  являются номера строк  $i$  столбца  $j$ , для которого  $c_{ij} = 1$ . Содержательно элементы подмножества  $I_j$  – это номера компетенций  $i \in I$ , которые закрываются данной дисциплиной  $j$ . Очевидно, в силу замечания 1, что объединение подмножеств  $I_j$  совпадает с исходным множеством  $I$ , то есть образует покрытие этого множества:  $\bigcup_{j=1}^n I_j = I$ .

*Замечание 3.* Задача (1) – (4) является обобщением задачи о покрытии множества (1), (2), (4). Действительно, ограничение (3) – это дополнительное ограничение к классической невзвешенной задаче о покрытии множества.

Разобьем на два этапа решение многокритериальной задачи ЦЛП (1) – (5).

*Первый этап:* решаем независимо (параллельно) следующие  $m$  задач ЦЛП (для каждой компетенции  $i, i = \overline{1, m}$ , находим набор дисциплин для формирования учебного плана с критерием максимальной обеспеченности этой фиксированной  $i$ -й компетенции и закрытием каждой  $i$ -й компетенции,  $i = \overline{1, m}$ , хотя бы одной дисциплиной):

$$\sum_{j=1}^n k_{ij}x_j \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\underline{V} \leq \sum_{j=1}^n v_j x_j \leq \overline{V}, \quad \sum_{j=1}^n c_{ij}x_j \geq 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Полученные решения задач (7), (8) для каждого  $i = \overline{1, m}$  обозначим

$$(x_1^{i*}, \dots, x_n^{i*}). \quad (9)$$

*Замечание 4.* Для каждого  $i = \overline{1, m}$  вектор (9) является допустимым решением обобщения задачи о покрытии множества (1) – (4). Действительно, ограничения (8) – это ограничения (1), (2), (3) к задаче (1) – (4).

*Второй этап:* из полученных  $m$  строк (9) (решений  $m$  задач (7), (8) первого этапа) строим матрицу  $A$  размера  $m \times n$ :  $a_{ij} = x_j^{i*}, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$ . В силу замечания 4 каждая  $i$ -я строка матрицы  $A$  для  $a_{ij} = 1$  задает подмножества  $I_j$  (элементы покрытия), определяемые условиями (6), и объединение этих подмножеств  $I_j$  для каждой  $i$ -й строки совпадает с исходным множеством  $I$ . Таким образом каждая строка матрицы  $A$  задает покрытие множества  $I$ . При этом каждое из этих покрытий обладает уникальным свойством, а именно, максимально обеспечивает свою  $i$ -ю компетенцию. Из этих  $m$  покрытий множества  $I$  находим покрытия с минимальным количеством подмножеств  $I_j$  (содержательно это означает минимальный набор дисциплин, обеспечивающий учебный план).

*Замечание 5.* В образовательных стандартах учебный план содержит несколько блоков дисциплин. Как правило, выделяется блок дисциплин и блок факультативов. При этом часы, выделяемые на факультативные дисциплины, не учитываются в общем объеме часов по учебному плану. Но значимость факультативных дисциплин для увеличения обеспеченности компетенций сохраняется. В диссертации построена модификация модели, в которой учитываются факультативные дисциплины. Для этого вводятся искомые параметры вида:  $x_{1j}$  – дисциплины,  $j = \overline{1, n}$ ,  $x_{2j}$  – факультативы,  $j = \overline{1, n}$ .

Эффективность организации учебного процесса зависит не только от выбранных дисциплин с максимально возможной обеспеченностью компетенций; при реализации учебного плана ведущая роль принадлежит профессорско-преподавательскому составу (ППС). В связи с этим необходима математическая модель взаимосвязи дисциплин и преподавателей. Взаимосвязь дисциплин и преподавателей зададим параметром, который будем называть коэффициентом профильности преподавателя. Для каждой дисциплины, как и в модели взаимосвязи компетенций и дисциплин, зададим вес (объем, или количество часов, выделяемых на дисциплину). Естественными критериями для реализации учебного плана является обеспеченность учебного процесса минимально возможным составом преподавателей при максимальной профильности этих преподавателей, в этом случае в данной модели при заданных дисциплинах выбираемыми переменными являются преподаватели.

Введем для модели взаимосвязи дисциплин и преподавателей следующие обозначения:

- $i$  – номер дисциплины,  $i = \overline{1, m}$ ,
- $j$  – номер преподавателя,  $j = \overline{1, n}$ ,
- $k_{ij} \in [0, 1]$  – профильность  $j$ -го преподавателя для  $i$ -й дисциплины,
- $c_{ij} \in \{0, 1\}$  – факт наличия профильности у  $j$ -го преподавателя для  $i$ -й дисциплины,
- $I_j$  – набор профильных дисциплин для  $j$ -го преподавателя,  $I_j \subseteq I, I = \{1, \dots, m\}$ ,
- $I_j = \{i \in I \mid c_{ij} = 1\}$ ,
- $v_i$  – количество часов, выделяемых на  $i$ -ю дисциплину,
- $W_{minj}$  – минимальная нагрузка  $j$ -го преподавателя,
- $W_{maxj}$  – максимальная нагрузка  $j$ -го преподавателя,
- $s_j$  – стоимость ставки  $j$ -го преподавателя.

Проведем моделирование взаимосвязи дисциплин и преподавателей в два этапа.

*Математическая модель первого этапа.*

Введем искомые параметры модели:  $x_i^j$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $i \in I_j$ ,

$$x_i^j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \text{ – й преподаватель выбран на } i \text{ – ю дисциплину,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (10)$$

Введем ограничения на общую нагрузку для преподавателей:

$$W_{minj} \leq \sum_{i \in I_j} v_i x_i^j \leq W_{maxj}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Требуется максимизировать суммарную профильность преподаваемых дисциплин для преподавателей:

$$\sum_{i \in I_j} k_{ij} x_i^j \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Результатом моделирования на первом этапе являются задачи ЦЛП для каждого  $j$ -го преподавателя,  $j = \overline{1, n}$ :

$$\sum_{i \in I_j} k_{ij} x_i^j \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$W_{minj} \leq \sum_{i \in I_j} v_i x_i^j \leq W_{maxj}, \quad x_i^j \in \{0,1\}, \quad i \in I_j. \quad (14)$$

*Математическая модель второго этапа.*

Рассмотрим математическую модель для формирования штатного расписания (состав преподавателей, обеспечивающих заданные дисциплины). Входными данными для второго этапа являются:  $x_1^{j*}, \dots, x_{I_j}^{j*}$  – решения задач (13), (14) первого этапа для каждого  $j$ -го преподавателя,  $j = \overline{1, n}$ . Из полученных решений  $n$  задач первого этапа строим матрицу  $A$  размера  $m \times n$  следующим образом. Полагаем элементы  $a_{ij} = x_i^{j*}, j = \overline{1, n}, i \in I_j$ . Оставшиеся незаполненные элементы столбцов матрицы  $A$  заполняем нулями.

Введем искомые параметры модели:  $y_j, j = \overline{1, n}$ ,

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \text{ – й преподаватель выбран,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (15)$$

Введем ограничения на обязательное проведение каждой дисциплины:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} y_j = 1, \quad i = \overline{1, m}. \quad (16)$$

Требуется минимизировать фонд оплаты выбранных преподавателей:

$$\sum_{j=1}^n s_j y_j \rightarrow \min. \quad (17)$$

Полученная модель (15) – (17) является задачей точного покрытия множества  $I$ , имеющая следующую особенность: каждый элемент исходного множества  $I$  (дисциплина с номером  $i$ ) покрывается элементами покрытия (преподавателем с номером  $j$ ) только один раз.

Теоретическая ценность предложенного подхода к моделированию многокритериальных задач дискретного программирования заключается в его применимости ко многим дискретным проблемам с альтернативными переменными. Такие задачи широко используются в различных сферах деятельности, благодаря своей универсальности и возможности учета большого количества ограничений и критериев. Как показано на построенных моделях, многокритериальные схемы оптимизации можно свести к двум этапам, объединяющим аспекты всей процедуры.

В диссертационном исследовании двухэтапный подход к моделированию взаимосвязи компетенций и дисциплин адаптирован для решения задач мелкооптовой торговли. Предложенная схема обеспечивает минимальное отклонение ассортимента от потребности покупателей, снижение потерь запасов и увеличение прибыли. Это позволяет компаниям эффективно управлять запасами, логистикой поставок и ассортиментом товаров. Предложенная модель взаимосвязи потребностей и товаров может быть переформулирована как модель взаимосвязи потребностей и изделий в мелкосерийном производстве изделий при ограниченных площадях для их хранения.

Для решения задач управления персоналом предприятия в диссертационном исследовании адаптирована двухэтапная модель взаимосвязи дисциплин и преподавателей, где дисциплины – это проекты, а преподаватели – это специалисты (выбранный персонал). Предложенная схема моделирования позволяет выбирать персонал, исходя из совокупности критериев, таких как профильность, наличие необходимого опыта, личностные качества и готовность работать над проектом. Такое решение существенно сокращает издержки на подбор и адаптацию сотрудников, увеличивая производительность и устойчивость компании.

**В главе 3** для численной реализации двухэтапных моделей, построенных во второй главе диссертации, рассмотрены подходы к их решению. Проанализированы методы ветвей и границ, жадный алгоритм и генетический алгоритм. Проведена серия экспериментов на синтетически сгенерированных данных.

Поскольку *метод ветвей и границ* имеет древовидную структуру и может сталкиваться с экспоненциальным ростом количества обрабатываемых состояний при увеличении размерности задачи, было принято решение об измерении временных показателей при фиксированных значениях входных параметров  $m, n \in \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100\}$ . В результате было исследовано 100 различных комбинаций размеров входных данных. Каждая пара  $m, n$  передавалась в функцию для генерации 10 тестовых задач. По окончании каждого запуска фиксировалось время выполнения алгоритма. При увеличении размерности задачи время выполнения начинает расти резко и местами неравномерно. Особенно сильный рост наблюдается при значениях  $n > 60$  и  $m > 50$ , где в ряде случаев видно превышение порогового значения времени выполнения, а именно 3600 секунд.

Для *жадного* и *генетического алгоритма* размеры входных параметров составили  $m, n \in \{50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700\}$ . В результате для каждого метода было исследовано 196 различных комбинаций размеров входных данных. Для каждой пары  $m, n$  формировалось по 10 тестовых задач. Выбор больших значений  $m$  и  $n$  в этих методах приемлем, поскольку эвристические методы способны эффективно обрабатывать задачи высокой размерности в отличие от точных методов, для которых такие объемы входных данных выходят вычислительно затратными.

*Жадный алгоритм* продемонстрировал ожидаемое поведение. Даже с увеличением размерности входного пространства он справлялся быстро, но из-за скорости снижалась точность решения. Это особенно важно при решении задач, где время принятия решения критично и ресурсы на перебор вариантов ограничены. Однако высокая скорость достигалась за счет упрощенного механизма выбора: на каждом шаге алгоритм принимал локальное оптимальное решение и не учитывал, станет ли оно оптимальным в дальнейшем. Таким образом, жадный алгоритм легко попадает в локальные оптимумы, из которых не может выбраться. В ряде прикладных ситуаций такой результат может быть единственным выходом для получения решения, не являющегося оптимальным, но соответствующего ограничениям поставленной задачи.

*Генетический алгоритм*, в отличие от жадного алгоритма, способен избегать локальных минимумов, что дает ему преимущество для решения задач с большим числом переменных и сложной структурой пространства решений. Однако за счет использования популяции и множества поколений, он может требовать больших вычислительных и временных ресурсов, особенно при увеличении значений параметров модели или при увеличении размерности входных данных. Перед началом оценки масштабируемости было проведено сравнение показателей точности и времени для параметров алгоритма на малых (Рисунок 1) и средних (Рисунок 2) размерах задач.

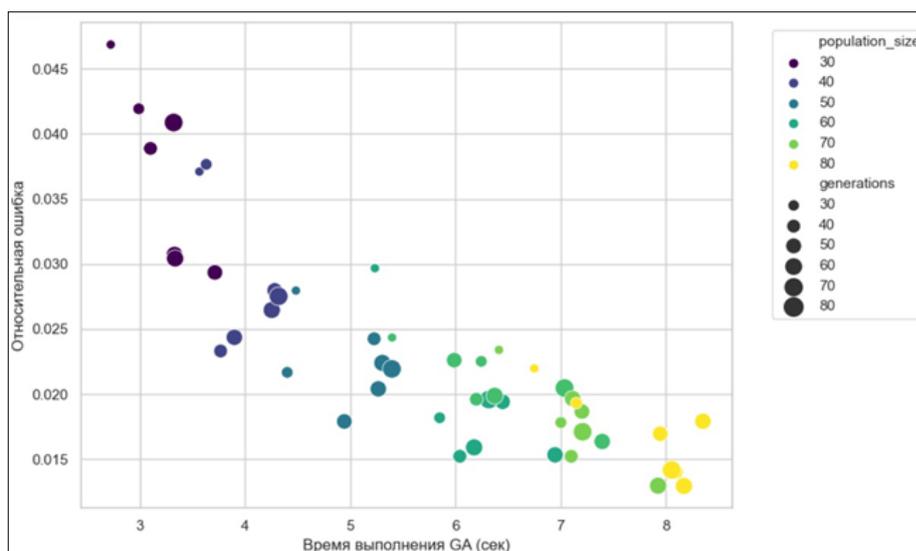


Рисунок 1 – График зависимости погрешности и времени для параметров алгоритма на задачах малых размеров

Для интерпретации малых задач принимались  $m, n \in \{50, 100, 150\}$ , для средних  $m, n \in \{200, 250\}$ ; значения параметров алгоритма, а именно, размер популяции и количество поколений, принимали значения от 30 до 80 с шагом 10. Для оценки погрешности вычисляемого решения была выбрана библиотека *PuLP*, использующаяся для решения задач ЦЛП. Результат эксперимента для задач малых размерностей представлен на рисунке 1. Погрешность составляет не более 5% от оптимума, но при изменении параметров спускается до 1% при относительно небольшом росте времени выполнения. Такое поведение важно для решения прикладных задач, где приемлемо небольшое отклонение от оптимума при разумных вычислительных затратах. Стоит также отметить, что наблюдается устойчивая сходимость к высококачественным решениям при различных параметрах алгоритма.

Аналогичные замеры для задач средних размеров представлены на рисунке 2. В этом случае наблюдается более выраженное влияние параметров алгоритма на точность и время выполнения. С увеличением числа переменных поиск становится более ресурсоемким, однако генетический алгоритм продолжает демонстрировать способность находить качественные решения с отклонениями не более 7-10% от оптимума в базовой конфигурации. При корректной настройке параметров удастся сократить погрешность до 3-4% без экспоненциального роста времени. Это показывает применимость метода для задач со сложной структурой, но с уточнением параметров алгоритма.

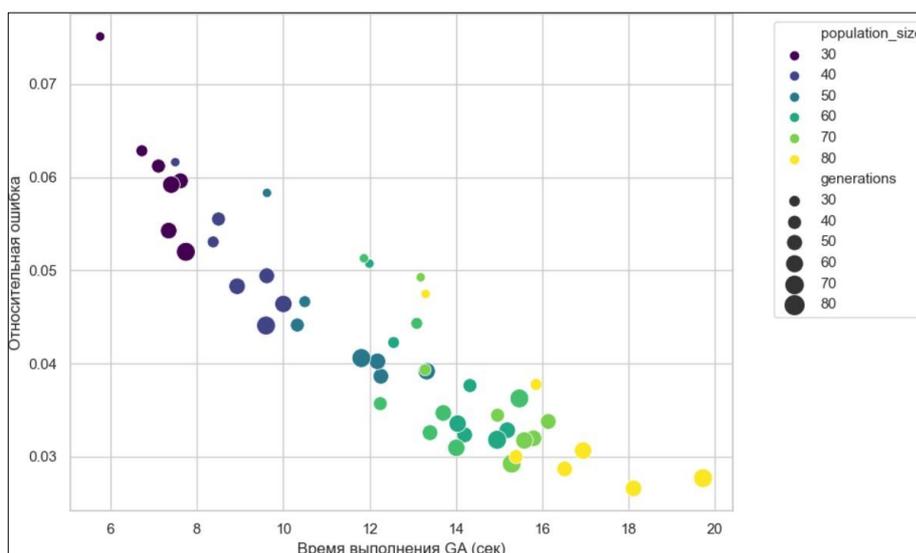


Рисунок 2 – График зависимости погрешности и времени для параметров алгоритма на задачах средних размеров

На основе проведенных исследований параметры модели были установлены как 70 поколений и 70 индивидов в популяции. Для более наглядной демонстрации работы алгоритма при выставлении более высоких параметров алгоритма были проведены новые эксперименты, в которых параметры модели были установлены как 100 поколений и 120 индивидов в популяции. В отличие от первых запусков (70 поколений и 70 индивидов в популяции), у которых наблюдался плавный рост времени выполнения с увеличением размерности, вторые имеют скачкообразный и сильно варьирующий характер роста. Ключевую роль может играть случайность всего процесса или его отдельных этапов. У некоторых задач может быть более сложная структура, порождающая сложность всех вычислений; также и множество локальных минимумов может усложнить задачу. Проведенные эксперименты наглядно демонстрируют, как важен подбор параметров.

Результаты экспериментов показали возможность масштабирования и среднюю устойчивость реализованного генетического алгоритма. Благодаря гибкости генетического алгоритма осуществляется возможность адаптации к условиям конкретной задачи.

Для решения задач первого этапа исследуемых моделей предложена адаптация генетического алгоритма.

*Алгоритм для взаимосвязи компетенций и дисциплин.*

*Шаг 1.* Создаем начальную популяцию (нулевое поколение).

Каждая популяция включает набор хромосом – набор потенциальных решений. Генерируем матрицы размерностью  $k \times n$ , где  $k$  – количество блоков учебного плана,  $n$  – количество дисциплин (в нашем случае  $k = 2$ , так как для моделирования выбраны блоки «Дисциплины» и «Факультативы»). Пусть  $h_u$  – хромосома в каждом поколении,  $u = \overline{1, t}$ . В каждом поколении должно быть не менее двух хромосом ( $t \geq 2$ ). Каждое значение в хромосоме (ген) – это значение переменной  $x_{kj}$ , которое принимает значение равное 1, если дисциплина включена в  $k$ -й блок учебного плана, иначе – 0. При генерации произвольных матриц сразу учитываем следующее условие: в первой строке (блок «Дисциплины») произвольно задаем 0 или 1, во второй строке (блок «Факультативы») 1 можно ставить только там, где в первой строке были 0.

*Шаг 2.* Вычисляем приспособленность каждой хромосомы в нулевом поколении.

В качестве функции приспособленности выступает целевая функция – нахождение максимальной обеспеченности компетенции в учебном плане. Кроме того, при оценке приспособленности учитываем ограничения задачи первого этапа.

*Шаг 3.* Применяем *оператор отбора* хромосом для создания нового поколения. Процесс отбора основан на оценке приспособленности каждой хромосомы в популяции.

*Шаг 4.* Применяем *оператор скрещивания*. Скрещивание реализуется в результате обмена генов.

*Шаг 5.* Применяем *оператор мутации*. Оператор мутации вносит случайные изменения в один или несколько генов хромосомы.

*Шаг 6.* Вычисляем приспособленность каждой хромосомы нового поколения путем возврата к шагу 2.

Цикл продолжается, пока не будут выполнены условия остановки:

- Достигнуто максимальное заданное количество поколений.
- На протяжении нескольких последних поколений не наблюдается заметных улучшений. Для этого запоминаем наилучшую приспособленность, достигнутую в каждом поколении, и сравниваем наилучшее текущее значение со значениями в нескольких предыдущих поколениях. Если разница меньше заранее заданного порога, то алгоритм завершит работу.

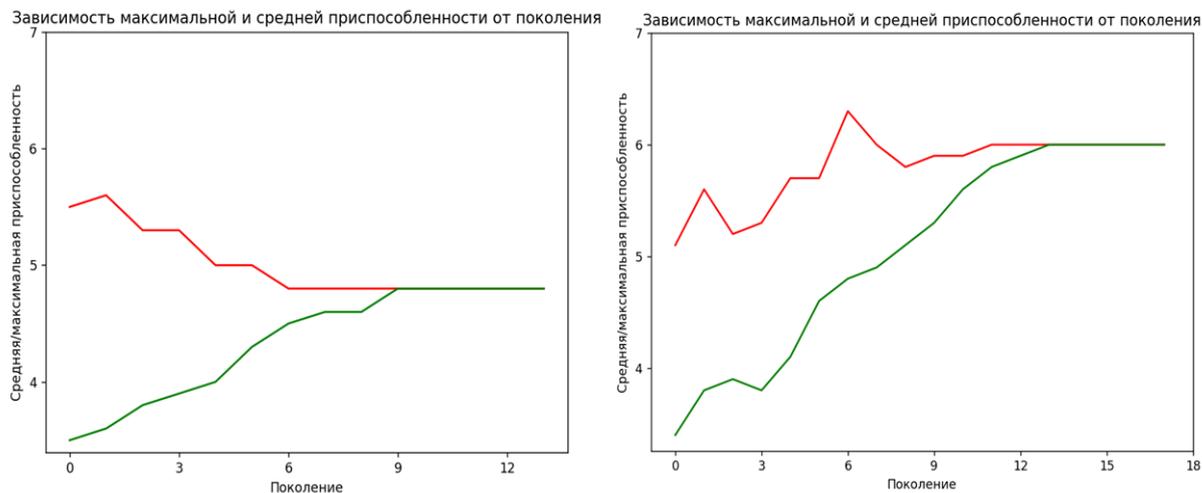
- Достигнуто максимальное значение функции приспособленности всей популяцией.

*Шаг 7.* Если условия остановки выполнены, выбираем хромосому с максимальной приспособленностью, то есть находим наилучшее решение.

Особое внимание при анализе генетического алгоритма уделено процессам отбора, скрещивания и мутации. Для выбора операторов отбора, скрещивания и мутации, а также размера популяции, проведены вычислительные эксперименты с параметрами генетического алгоритма. Проанализировано влияние различных методов на результат, приведены конкретные комбинации, показавшие высокую эффективность.

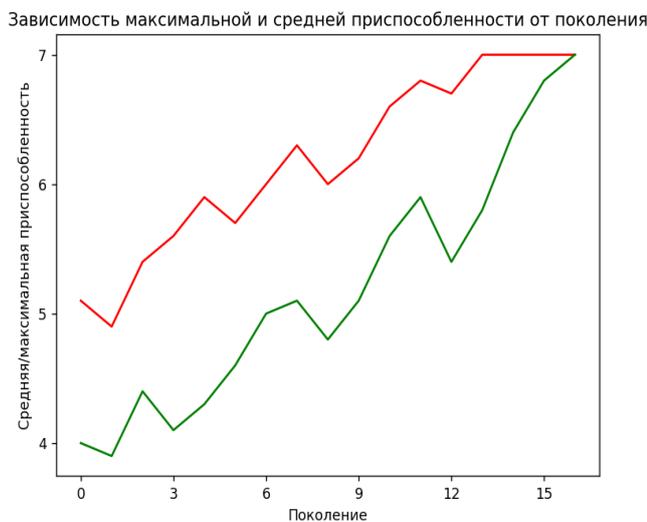
На рисунке 3 представлены графики зависимости максимальной и средней приспособленности от поколения для оператора отбора. Вначале в цикле генетического алгоритма используются *метод рулетки* (отбор пропорциональной приспособленности), равномерное скрещивание и инвертирование бита (Рисунок 3, а). По графику (Рисунок 3, а) можно заметить, что алгоритм завершил работу на 13-й итерации из-за неизменяемости функции приспособленности на протяжении нескольких поколений. Однако, итоговый результат не является лучшим. На первых итерациях хорошо приспособленные хромосомы были потеряны. Возможно, на этапе отбора присутствовали резкие скачки в вероятности выбора между разными особями, что привело к преждевременной сходимости алгоритма. Заменяем метод рулетки, основанный на отборе пропорциональной приспособленности, на её

модифицированный вариант *со стохастической универсальной выборкой* (Рисунок 3, б). Алгоритм завершил работу по той же причине, но уже на 17-й итерации. Несмотря на то, что итоговое значение степени пригодности к решению задачи улучшилось, хорошо приспособленный индивидуум был утерян на 7-м поколении. Модифицированный вариант рулетки на стохастической универсальной выборке увеличивает шанс отбора плохо приспособленных особей, сохраняя разнообразие популяции. По этой причине алгоритм отработал лучше по сравнению с предыдущим экспериментом.



а) Статистика программы: *метод рулетки*, равномерное скрещивание и инвертирование бита

б) Статистика программы: *стохастическая выборка*, равномерное скрещивание и инвертирование бита



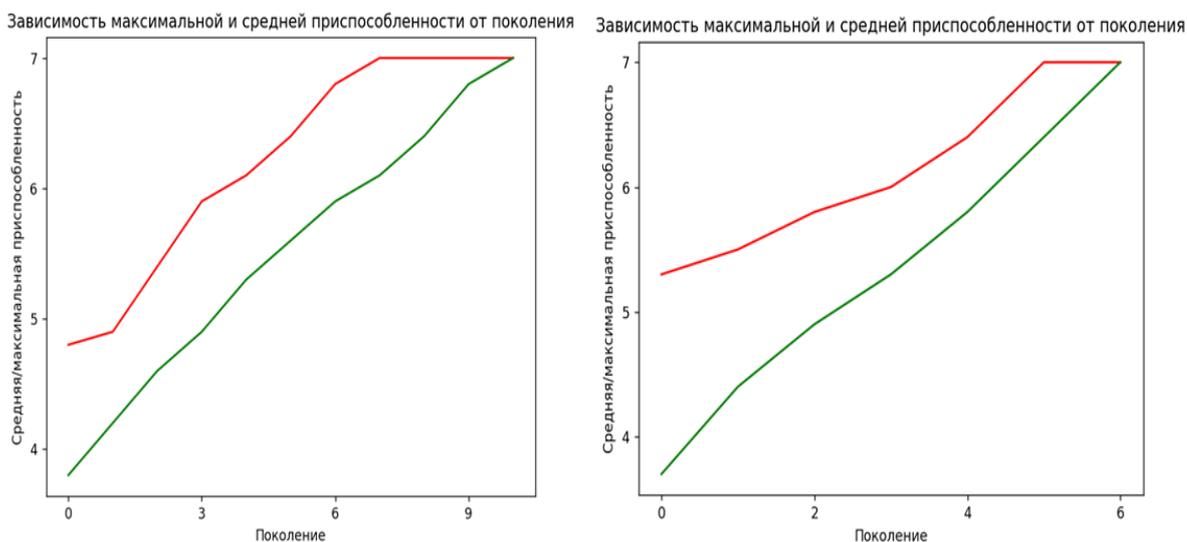
в) Статистика программы: *турнирный отбор*, равномерное скрещивание и инвертирование бита

Рисунок 3 – Графики экспериментов с методами отбора

Однако, необходимо несколько снизить шанс прохождения отбора у наименее приспособленных особей. Для этого вместо метода рулетки используем самый распространённый метод селекции *турнирный отбор*, который меньше подвержен влиянию шума при выборе особей (Рисунок 3, в). Алгоритм завершил работу, так как значение максимальной и средней приспособленности популяции достигло эталонного значения. Лучшее решение найдено в 16-м поколении. Благодаря методу турнирного отбора, у более приспособленных особей появляется большое преимущество над остальными хромосомами. Лучшие решения гарантировано попадают в следующую популяцию. Максимальное значение функции приспособленности может уменьшаться на следующем поколении, хоть и не всегда.

Также были проведены эксперименты с методами скрещивания. Первоначально в алгоритме используется *равномерный метод скрещивания*, где каждый ген обоих родителей

определяется независимо путем случайного выбора с равномерным распределением. Заменяем его на *одноточечное скрещивание* (Рисунок 4, а), которое сохраняет в потомстве гены, расположенные близко друг к другу. Но стоит учитывать, что такой способ может привести к потере важных генов, если точка разреза расположена в неблагоприятном месте. По графику (Рисунок 4, а) видно, что скорость сходимости алгоритма заметно улучшилась, лучшее решение найдено за 10 итераций. Кроме того, графики функции приспособленности стали монотонно возрастать на протяжении всех поколений. Это можно объяснить тем, что в равномерном скрещивании в потомках не сохраняются полезные связи генов, присутствующие в родительских особях, что приводит к нестабильному состоянию популяции. В одноточечном скрещивании хромосома видоизменяется не так явно. Гены, расположенные близко друг к другу, сохраняют свои позиции. Благодаря этому алгоритм быстрее и эффективнее находит лучшее решение. Сравним одноточечное скрещивание с *двухточечным скрещиванием*, которое в свою очередь позволяет соблюдать баланс между явными и неявными изменениями в генотипе особи. По графику (Рисунок 4, б) видно, что алгоритм показал хорошие результаты. Лучшее решение найдено уже на 6-м поколении, это быстрее, чем в предыдущем эксперименте. Помимо этого, оба графика на протяжении всей работы алгоритма монотонно возрастают, что говорит об эффективности такого набора операторов.



а) Статистика программы: турнирный отбор, *одноточечное скрещивание* и инвертирование бита

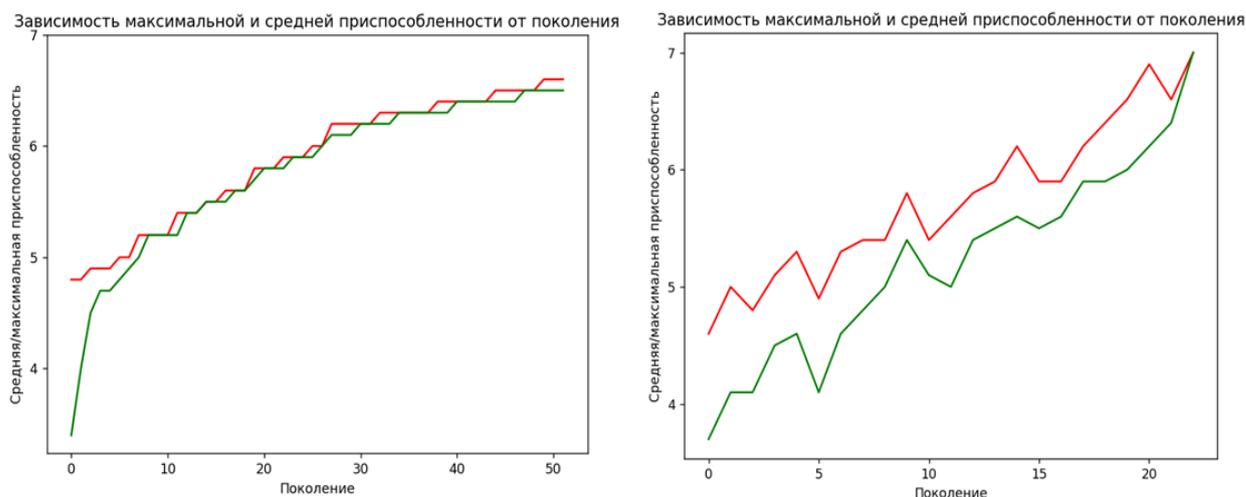
б) Статистика программы: турнирный отбор, *двухточечное скрещивание* и инвертирование бита

Рисунок 4 – Графики экспериментов с методами скрещивания

Проведен ряд экспериментов с методами мутации: метод инвертирования бита заменили на *мутацию обменом* и *мутацию обращением* (Рисунок 5). При выборе мутации обменом алгоритм остановил работу по истечению 50-и поколений, так как не было найдено наилучшее решение (Рисунок 5, а). На графике видно, что результаты либо перестают улучшаться, либо улучшаются очень медленно и неравномерно с самого начала работы алгоритма. Это можно объяснить слабым видоизменением хромосомы после действия оператора мутации.

На рисунке 5, б видно, алгоритм отработал лучше по сравнению с предыдущим экспериментом и завершил работу на 22-м поколении. Однако, поведение графика стало немонотонным. По сравнению с инвертированием бита мутация обращением более явно изменяет вид хромосомы, тем самым теряя ее полезные связи генов. В результате

следующее поколение может стать менее приспособленным к решению задачи. В первую очередь это влияет на скорость сходимости алгоритма.



а) Статистика программы: турнирный отбор, двухточечное скрещивание и мутация обменом

б) Статистика программы: турнирный отбор, двухточечное скрещивание и мутация обращением

Рисунок 5 – Графики экспериментов с методами мутации

В результате для проведения численного эксперимента для решения задачи первого этапа выбраны следующие операторы генетического алгоритма: «Турнирный отбор», «Двухточечное скрещивание» и «Инвертирование бита».

Для решения второго этапа исследуемых моделей применяется жадный алгоритм, предложена его модификация для исключения избыточных элементов покрытия.

Входными данными задачи второго этапа взаимосвязи компетенций и дисциплин является матрица  $A$  размера  $m \times n$ , где каждая  $i$ -я строка матрицы  $A$  для  $a_{ij} = 1$  задает подмножества  $I_j$ , определяемые условиями  $I_j = \{i \in I \mid c_{ij} = 1\}$ , и объединение этих подмножеств  $I_j$  образует покрытие исходного множества  $I = \{1, \dots, i, \dots, m\}$ .

*Алгоритм исключения избыточных элементов покрытия.*

*Шаг 1.* Упорядочиваем столбцы  $j \in \{\overline{1, n}\}$  в матрице:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

по максимальному количеству единиц в столбце. Для этого находим  $j$ -й столбец с максимальным количеством единиц:

$$\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^m a_{ij} \quad (19)$$

Присваиваем этому столбцу номер  $j = 1$ , исключаем этот столбец и находим в оставшейся матрице  $A$  следующий столбец с максимальным количеством единиц, присваиваем этому столбцу номер  $j + 1$ . Процедуру проводим до тех пор, пока в матрице  $A$  останется один столбец. Содержательно, в результате выполнения шага 1 получаем номера дисциплин (столбцов), упорядоченные по максимальному количеству вхождений в решения для компетенций  $i = \overline{1, m}$ . Присваиваем  $l = n$ . Переходим на шаг 2.

*Шаг 2.* Исключаем лишние столбцы (избыточные дисциплины). Если в столбце с номером  $l$  есть нули, проводим следующее преобразование матрицы  $A$ : удаляем

последний столбец (с номером  $l$ ) и удаляем строки  $i$ , в которых  $a_{il} = 1$  (содержательно, эти строки без значений  $a_{il} = 1$  соответствует недопустимому решению). Присваиваем  $l := l - 1$  и повторяем шаг 2. Иначе, если в столбце с номером  $l$  нет нулей, переходим на шаг 3.

*Шаг 3.* Выбираем решение исходной двухэтапной многокритериальной задачи (среди оставшихся в матрице  $A$  строк, соответствующих решениям исходной задачи на первом этапе). Для этого в последней преобразованной матрице  $A$  упорядочиваем столбцы по максимальному количеству единиц в столбце (как на шаге 1) и выбираем лексикографически максимальную вектор-строку:

0) берем  $j = 1$ ;

1) выбираем в преобразованной матрице  $A$  строки с номерами  $i$ , для которых  $a_{ij} = 1$ , остальные строки в матрице  $A$  удаляем;

2) присваиваем  $j := j + 1$ , если  $j \leq l$ , то идем на шаг 1, иначе лексикографически максимальная вектор-строка выбрана (оставшаяся не вычеркнутая строка матрицы  $A$ ).

В заключение к третьей главе сделаны выводы о целесообразности применения разработанных итерационных методов для решения и исследования математических моделей, построенных в диссертации. Проведено сравнение решений многокритериальной задачи, полученных эвристическими алгоритмами, с классическим методом свёрток для решения многокритериальной задачи. Оценка результатов подтверждает целесообразность предложенных методов и обосновывает рекомендации по использованию конкретных методов и параметров эвристических алгоритмов.

**Четвертая глава** посвящена разработанному комплексу проблемно-ориентированных программ. Комплекс программ для организации учебного процесса представляет собой модули системы, предназначенные для эффективного управления учебным процессом в образовательных учреждениях разного уровня. Программное решение объединяет в себе три модуля, направленных на автоматизацию и оптимизацию ключевых аспектов учебной деятельности, таких как:

1) Формирование набора дисциплин для учебных планов. Модуль предназначен для получения набора дисциплин учебного плана, максимально обеспечивающих компетенции образовательной программы. Решение позволит разрабатывать востребованные образовательные программы и адаптировать их к меняющимся требованиям профессиональной сферы.

2) Сравнение рабочих программ дисциплин. Модуль позволяет сопоставлять рабочие программы различных дисциплин, выявляя различия и пересечения содержания, что способствует унификации требований к выбору набора дисциплин для учебных планов и, как следствие, повышению качества подготовки специалистов.

3) Сравнение учебных документов для аттестационных листов обучающихся. Модуль позволяет сравнивать учебную карточку обучающегося и учебный план образовательного направления. Это позволяет значительно сократить время ручной сверки таких учебных документов и обеспечить высокую точность обнаружения сходства в содержаниях дисциплин и объёмах часов.

Разработанные модули программного решения способствуют улучшению качества образовательных программ, сокращению административных затрат и оптимизации ресурсов образовательных учреждений.

Программные модули внедрены в средней общеобразовательной школе № 61 города Омска для сравнения рабочих программ предметов для учебного плана и для формирования набора предметов (дисциплин) учебного плана в части, формируемой участниками образовательных отношений, максимально обеспечивающих планируемые результаты (компетенции). По результатам тестирования программные модули признаны соответствующими заявленным требованиям и готовы к эксплуатации.

Результатом внедрения программных решений диссертационной работы в деятельность ООО «Здравствуй мир! Технологии» стал ускоренный процесс

формирования учебного плана, сокращение издержек на администрирование и повышение качества предоставляемых образовательных услуг.

Проведенный анализ оценки практической эффективности от внедрения программных модулей продемонстрировал положительные результаты для решения учебно-методических задач в ОмГТУ.

**Заключение.** Ниже представлены основные научные и научно-практические результаты диссертационной работы.

1. Разработан новый метод математического моделирования некоторых сложноорганизованных структур в виде двухэтапной схемы, использующий обобщение задачи о покрытии множества и позволяющий выявить параметры для построения математических моделей второго этапа при декомпозиции многокритериальной задачи в виде двухэтапной схемы оптимизации. Предложенная в диссертации технология построения обобщения задачи о покрытии множества применима к решению некоторых многокритериальных задач дискретной оптимизации, что позволяет на базе существующих итерационных методов создавать новые итерационные методы для решения задач векторной оптимизации. Таким образом, разработанный подход для моделирования двухэтапных схем решения задач многокритериальной оптимизации вносит вклад в развитие итерационных методов.

2. На основе разработанного двухэтапного подхода моделирования построены оригинальные математические модели для принятия решений в управлении учебным процессом вуза, в управлении экономической деятельностью торгового предприятия и для принятия решений в управлении персоналом. Результаты моделирования демонстрируют эффективность:

- в учебном процессе при выборе дисциплин учебного плана за счёт максимизации обеспеченности компетенций и профильности преподавателей,

- в мелкооптовой торговле при выборе ассортимента товаров за счёт максимизации обеспеченности потребностей покупателей,

- в управлении персоналом при решении проблемы рекрутинга за счёт оценки профессиональных компетенций кандидата.

3. Разработана модификация жадного алгоритма (метод исключения избыточных элементов покрытия) для решения обобщения задачи о покрытии множества, входными данными алгоритма являются решения задач первого этапа, полученные с помощью генетического алгоритма.

4. Проведено комплексное исследование научных и технических проблем практических задач с применением нового разработанного метода математического моделирования в виде двухэтапной схемы. На основе вычислительных экспериментов для поставленных задач проведен сравнительный анализ эффективности полученных решений в исследуемых методах.

5. Разработаны модули в виде комплекса проблемно-ориентированных программ для решения задач учебно-методического характера:

- программное решение для нахождения связи между дисциплинами и компетенциями в учебном плане,

- программное решение для анализа рабочих программ дисциплин из учебного плана,

- программное решение для рекомендации учебного плана при формировании аттестационного листа обучающегося.

Дальнейшее развитие предложенных в работе подходов и инструментов направлено на создание программных решений для управления экономической деятельностью торгового предприятия и для принятия решений в управлении персоналом.

Разработанные программные модули для учебного процесса могут быть интегрированы в корпоративные информационные системы образовательных учреждений в качестве внешних сервисов, сохраняя при этом единую точку входа для пользователей.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### а) Научные публикации в изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним:

1. Zykina, A. V. The development of approaches for obtaining automated solution on the formation of the curriculum / A. V. Zykina, O. N. Kaneva, **V. V. Munko** // Modern Information Technologies and IT-Education. – 2018. – Vol. 14, No. 4. – P. 931–937.

2. Зыкина, А. В. Подходы к моделированию процесса формирования учебного плана / А. В. Зыкина, **В. В. Мунко** // Математические структуры и моделирование. – 2021. – № 4(60). – С. 81–93.

3. Zykina, A. V. Algorithm for Solving the Generalized Set Cover Problem for a Special Class of Problems / A. V. Zykina, **V. V. Munko** // Journal of Mathematical Sciences. – 2022. – Vol. 267, No. 4. – P. 519–528.

4. **Мунко, В. В.** Модификация генетического алгоритма для решения некоторых задач дискретной оптимизации / **В. В. Мунко**, А. В. Зыкина // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2024 – Т.20, № 4. – С. 11–17.

### б) Публикации в рецензируемых изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus:

5. Zykina, A. Optimizing learning management system in high school / A. Zykina, O. Kaneva, **V. Krejdunova** // CEUR Workshop Proceedings : Selected Papers of the 11th International Scientific-Practical Conference Modern Information Technologies and IT-Education, SITITO 2016, Moscow, 25–26 ноября 2016 года. Vol. 1761. – Moscow, 2016. – P. 64-72.

6. Zykina, A. V. Developing a curriculum modeling approach / A. V. Zykina, O. N. Kaneva, **V. V. Munko** // CEUR Workshop Proceedings, Omsk, 23–30 апреля 2020 года. – Omsk, 2020. – P. 1–7.

### в) Научные публикации в других изданиях:

7. Зыкина, А. В. Оптимизация системы управления учебным процессом в вузе / А. В. Зыкина, О. Н. Канева, **В. В. Крейдунова** // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2016. – Т. 12, № 3-2. – С. 23–31.

8. Зыкина, А. В. Алгоритм определения профиля основной образовательной программы высшего образования / А. В. Зыкина, О. Н. Канева, **В. В. Мунко** // Информационный бюллетень Омского научно-образовательного центра ОмГТУ и ИМ СО РАН в области математики и информатики : Материалы VIII Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы , Омск, 26 апреля – 04 2018 года / Ответственный редактор А.В. Зыкина. Том 2. №1. – Омск: Омский государственный технический университет, 2018. – С. 74–77.

9. **Мунко, В. В.** Алгоритм нахождения дисциплин для закрытия компетенций в учебном плане / **В. В. Мунко** // Прикладная математика и фундаментальная информатика : Материалы XII Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы, Омск, 16–21 мая 2022 года / Отв. редактор А.В. Зыкина. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 23–24.

10. **Мунко, В. В.** Двухэтапная модель построения учебного плана / **В. В. Мунко**, А. В. Зыкина // Прикладная математика и фундаментальная информатика : Материалы XIII Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы, Омск, 15–20 мая 2023 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2023. – С. 57–58.

11. **Мунко, В. В.** Формирование навыка оформления отчетных работ у обучающихся вузов в цифровой среде / **В. В. Мунко**, В. В. Зюзько // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2024. – Т. 11, № 4. – С. 17–25.

12. Галькина, Е. В. Анализ генетических алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации / Е. В. Галькина, **В. В. Мунько** // Инженерное образование в цифровом обществе : Материалы Международной научно-методической конференции в двух частях, Минск, 14 марта 2024 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и электроники, 2024. – С. 354–357.

13. **Мунько, В. В.** Цифровое решение для моделирования и оптимизации программы обучения / **В. В. Мунько**, А. В. Зыкина // MOTOR 2024: Сборник тезисов XXIII Международной конференции «Теория математической оптимизации и исследование операций», Омск, 30 июня – 06 июля 2024 года. – Омск: Омский государственный университет, 2024. – С.17.

14. **Мунько, В. В.** Методы сравнения документов для предотвращения плагиата / В. В. Мунько, Ю. И. Зубова // Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2025. – Т. 12, № 1. – С. 33–39.

**в) Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619949 Российская Федерация. Автоматизированное средство нахождения связи между дисциплинами и компетенциями в учебном плане : № 2022618770 : заявл. 18.05.2022 : опубл. 27.05.2022 / В. В. Мунько ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет». – 1 с.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024690106 Российская Федерация. Модуль для семантического сравнения текста рабочих программ : № 2024687289 : заявл. 15.11.2024 : опубл. 12.12.2024 / В. В. Мунько, А. В. Зыкина ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет». – 1 с.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024688729 Российская Федерация. Модификация генетического алгоритма для дискретной задачи разработки учебного плана : № 2024687267 : заявл. 15.11.2024 : опубл. 29.11.2024 / А. В. Зыкина, В. В. Мунько ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет». – 1 с.

Печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 21.10.2025 г. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ\_\_\_\_\_.

---

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира д. 11; т. 23-02-12.