

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Рассказовой Варвары Андреевны

«Математическое и программное обеспечение системы планирования
производственных процессов на основе решения задач целочисленного
линейного программирования»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности

2.3.5. – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем,
комплексов и компьютерных сетей

Актуальности темы диссертационной работы

Диссертация Рассказовой В.А. посвящена разработке математических моделей для задач планирования производственных процессов, а также их программной реализации. Эта тема особенно актуальна в контексте цифровизации промышленности и развития концепции «умных» производств, когда ключевым элементом становится интеграция математических моделей в автоматизированные системы управления.

Модели целочисленного линейного программирования (ЦЛП) широко применяются в математическом программировании и исследовании операций в рамках парадигмы «преобразуй и властвуй», когда сложная прикладная задача преобразуется в математическую модель, для которой существуют известные алгоритмические решения. С одной стороны, в виде системы линейных ограничений можно сформулировать достаточно сложные процессы и задачи, включая большинство задач комбинаторной оптимизации. С другой стороны, доступны мощные коммерческие и open-source решатели, способные эффективно обрабатывать крупномасштабные задачи ЦЛП. Кроме того, в отличие от эвристик, с помощью ЦЛП-моделей можно найти оптимальное решение задач, если это необходимо.

Предложенный в диссертации подход сочетает строгую математическую формализацию с практической реализацией в виде рекомендательной системы планирования, обладающей свойствами гибкости, масштабируемости и адаптации к различным классам задач планирования производственных процессов.

Структура и содержание работы

Структурно работа состоит из введения, шести глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, представлен обзор научной литературы по алгоритмам планирования производства потокового и распределительного типов, сформулированы цели и задачи работы, изложено основное содержание диссертации.

ОБЪЕКТ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

05.06.2025

Первая глава диссертации посвящена разработке математической модели ЦЛП для задачи прогнозного планирования процессов потокового типа, решением которой является график загрузки основного оборудования для исполнения заданного множества работ. Установлено, что теоретическая сложность алгоритма формирования функционального пространства модели ограничена квадратом от числа требований, подлежащих исполнению. При этом с практической точки зрения время работы алгоритма прямо пропорционально величине входного параметра, для которого получена верхняя оценка, позволяющая значительно снизить размерность в подклассе задач производственного планирования типа непрерывной серии.

Во второй главе разрабатывается математическая модель ЦЛП для модуля оперативного планирования, где входными данными выступает прогнозный график производства, а решением является технологический маршрут, детализированный по всем этапам обработки требований. Кроме того, для рассматриваемой задачи предлагается альтернативный подход, при котором задача сводится к графовой постановке, где каждая вершина соответствует технологической операции на определенном ресурсе, а дуги – последовательному назначению операций. Для решения задачи в такой постановке предложен эвристический алгоритм покрытия вершин ориентированного графа минимальным числом максимальных по включению путей.

В третьей главе рассматривается модель ЦЛП для модуля планирования процессов распределительного типа с ограничением на приоритетный порядок использования ресурсов. Ограничения модели разбиты на две категории: совокупное число ресурсов, используемых для исполнения заданного множества требований (ограничения 1-й очереди) и качественные характеристики, которые реализуются только если достигается установленный количественный критерий (ограничения 2-й очереди). В случае несовместности модели, предлагается также её расширение с гарантированным решением, определяющим максимальные совместные подсистемы ограничений исходной задачи.

Четвёртая глава диссертации посвящена разработке эвристических алгоритмов для задачи о наибольшем независимом множестве в графе. Мотивацией здесь выступает тот факт, что модели целочисленного линейного программирования могут быть сведены к решению задач на графах. В работе предложены 3 эвристических алгоритма для рассматриваемой задачи: симплициальный вершинный тест (SVT), расширенный симплициальный вершинный тест (ESVT) и модификация алгоритма ESVT с дополнительной эвристикой поиска с чередующимися окрестностями. По результатам вычислительных экспериментов на графах из библиотеки DIMACS, алгоритмы показывают приемлемые результаты при высокой эффективности по времени работы.

В пятой главе описан процесс проектирования программного обеспечения (ПО) системы планирования, реализующего разработанные модели, подходы и методы. В состав системы входят модуль для решения потоковых задач, включая компоненты прогнозного и оперативного планирования, а также модуль планирования процессов распределительного типа.

В шестой главе рассматриваются прикладные задачи планирования производственных процессов, для решения которых используется разработанные алгоритмы и программное обеспечение. В качестве примера задачи потокового типа рассматривается конвертерный цех металлургического производства, где множеством требований выступает набор серий разливки. В качестве примера задачи распределительного типа рассматривается миксерное отделение конвертерного цеха, где производится смешение чугуна для обеспечения прогнозного графика производства сырьем. Проведены вычислительные эксперименты на основе реальных данных.

В заключении диссертации подводятся итоги проведенного исследования и приводятся положения, выносимые на защиту.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Работа совмещает в себе теоретический и практический характер. Основные теоретические результаты работы:

- разработаны математические модели ЦЛП для прикладных задач планирования процессов потокового и распределительно типов;
- оптимизированы параметры конфигурации и предложен алгоритм распределённой обработки данных, что позволяет существенно снизить размерность моделей ЦЛП и снизить вычислительную нагрузку;
- разработаны эвристические алгоритмы для комбинаторных задач покрытия вершин ориентированного графа минимальным числом максимальных по включению путей и поиска наибольшего независимого множества в неориентированном графе, возникающих в качестве вспомогательных подзадач в задачах планирования, а также генетический алгоритм оптимизации входных данных задачи прогнозного планирования.

Что касается практических результатов, они включают в себя:

- разработку ПО для систем оптимального планирования производственных процессов, которые помогают повысить эффективность и качество управления производственными процессами в металлургическом производстве;
- разработку методики проектирования ПО для моделирования схем последовательных ограничений и взаимодействия функциональных программных модулей, что снижает риски возникновения ошибок и упрощает понимание процесса автоматизированного планирования для пользователей.

Замечания по диссертации

1. Не для всех моделей ЦЛП первых трёх глав в явном виде указана размерность модели, т.е. как число переменных и ограничений зависит от размера входных данных задачи. Асимптотическая оценка была бы здесь полезна, чтобы оценить на решение задач какого размера мы можем рассчитывать с помощью данных моделей.

2. В четвёртой главе диссертации рассматриваются несколько алгоритмов для задачи о наибольшем независимом множестве в графе, в частности: расширенный симплициальный вершинный тест (ESVT) и модификация алгоритма ESVT с дополнительной эвристикой поиска с чередующимися окрестностями (ESVTwIC). Вычислительные эксперименты проведены на графах из стандартной библиотеки DIMACS. Здесь есть два замечания.
 - 2.1. Наибольшее независимое множество – это достаточно изученная задача, для которой известно значительное число алгоритмов. Однако в диссертации нет сравнения предложенных алгоритмов с известными из литературы. В таблице 4.3.3 с результатами вычислительных экспериментов приводятся лишь лучшие из известных решений для каждого тестового графа. Беглый анализ работ по теме показывает, что алгоритмы ESVT и ESVTwIC оказываются очень эффективными по времени работы и приемлемыми по результату. Безусловно время работы зависит от конкретной реализации и машины, на которой выполнялся эксперимент. Так что здесь стоило бы добавить хотя бы один известный алгоритм для сравнения и установочного результата.
 - 2.2. По таблице 4.3.3 не очевидно, что дополнительная эвристика поиска с чередующимися окрестностями дают значительный выигрыш. Оба алгоритма ESVT и ESVTwIC показывают статистически неразличимое время работы и примерно одинаковые результаты.
3. Эвристические алгоритмы ESVT и ESVTwIC для задачи о наибольшем независимом множестве из четвёртой главы немного повисают в воздухе в двух последующих главах, где обсуждаются разработка программного обеспечения системы планирования производственных процессов и прикладные задачи планирования производственных процессов потокового и распределительного типов. Указано лишь, что данные алгоритмы реализованы в рамках общей системы. В четвёртой главе сказано, что эвристические алгоритмы применяются в рамках парадигмы «преобразуй и властвуй», когда модель целочисленного линейного программирования сводится к задаче о наибольшем независимом множестве в графе. В таком случае, аналогично первому замечанию, в явном виде не указана сложность сведения: как число вершин и рёбер графа связано с размерностью модели ЦЛП и, соответственно, с размером входных данных исходной задачи планирования.
4. Для эвристического алгоритма покрытия вершин ориентированного графа минимальным числом максимальных по включению путей из раздела 2.3.2, в отличие от других эвристических алгоритмов в диссертации, не приведено результатов вычислительных экспериментов с анализом работы алгоритма. Указан лишь пример построения покрытия для задачи малой размерности.

Заключение

Диссертация Рассказовой В.А. представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, посвящённое решению актуальных и практически

значимых задач прогнозного планирования производственных процессов потокового и распределительного типов. Работа сочетает в себе глубокую теоретическую проработку и анализ моделей целочисленного линейного программирования для рассматриваемых задач с практической программной реализацией системы производственного планирования. Высказанные замечания не снижают общего высокого уровня работы.

Все основные результаты диссертации являются новыми и достоверными. Они опубликованы в 17 статьях в изданиях из перечня ВАК РФ или индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus, и в 2 коллективных монографиях, индексируемых в Scopus, а также прошли апробацию на международных конференциях и семинарах. Практическая часть диссертации подтверждается 4 свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Диссертация Рассказовой В.А., «Математическое и программное обеспечение системы планирования производственных процессов на основе решения задач целочисленного линейного программирования» отвечает требованиям ВАК РФ. Её содержание соответствует паспорту специальности 2.3.5. – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, а также критериям Положения о присуждении учёных степеней.

Считаю, что Рассказова Варвара Андреевна заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.5. – Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент,

д.ф.-м.н., доцент,
зав. кафедрой дискретного анализа
ЯрГУ им. П.Г. Демидова



А.В. Николаев

30 мая 2025 г.

Подпись Николаева А.В. удостоверяю.

_____	_____	_____
(должность)	(подпись)	(Ф.И.О.)
		Л.Н. Куфирина

Сведения об оппоненте:

Николаев Андрей Валерьевич,
доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой дискретного анализа,
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»
Адрес: 150007, г. Ярославль, ул. Союзная, 144, корпус 7
E-mail: andrei.v.nikolaev@gmail.com, a.nikolaev@uniyar.ac.ru

С отзывом ознакомлена 05.06.2025 г. Прасиф