

Н. Н. КЛЕВАНСКИЙ

Саратовский государственный аграрный университет имени Н.Н. Вавилова, Саратов

В. П. ГЛАЗКОВ

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов

В. С. МАВЗОВИН

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ ФОРМИРОВАНИИ РАСПИСАНИЙ

В докладе представлено применение многокритериальных методов ранжирования в централизованном формировании расписаний различных типов. Ресурсо-ориентированные стратегии централизованного формирования расписаний базируются на критериях использования ресурсов. Каждая стратегия включает два правила приоритетов. Первая стратегия преобразует множество заявок в начальное расписание. Вторая стратегия оптимизирует начальное расписание. Правила приоритетов в обеих стратегиях используют разные виды методов многокритериального ранжирования. Представлены полученные расписания различных типов

Введение. Автоматизированные системы управления сложными технологическими процессами (ТП) [1, 2] содержат средства формирования расписаний (календарных графиков) выполнения различных операций технологической подготовки производства [3, 4, 5]. Проблемы расписаний связаны с формированием и оптимизацией процесса обслуживания конечного множества заявок на осуществление действий в системе с ограниченными ресурсами. Различия задач связаны с природой связей между действиями расписаний и, соответственно, связями между заявками. Множество заявок может быть множеством независимых заявок (тип 1), состоять из подмножеств векторов заявок (тип 2) или подмножеств сетевых структур заявок (тип 3). Последние два типа связей между заявками наиболее характерны для расписаний АСУТП [3, 4]. Формирование расписания для известного заранее множества заявок может быть реализовано централизованно, что также характерно для АСУТП. Многие исследователи отмечают NP-трудность и многокритериальный характер задач расписаний, а также необходимость применения эвристик во избежание операций полного перебора. Предлагаемый доклад посвящен применению и реализации многокритериальных методов ранжирования в эвристиках централизованного формирования расписаний для двух упомянутых выше типов связей между заявками.

Задача исследования – включение и анализ многокритериальных методов ранжирования в разработанные общие подходы к централизованному формированию расписаний [6] типов 2 и 3.

Методы ранжирования в централизованном формировании расписаний

В докладе последовательно будут представлены описание общих подходов к централизованному формированию расписаний различных типов, краткая характеристика использованных методов ранжирования, решение тестовых заданий визуализация полученных результатов.

Централизованное формирование расписаний. В основе предложенных ресурсо-ориентированных стратегий [6] находятся концепции загруженности и равномерности, реализуемые с помощью соответствующих оценок, критериев и правил приоритетов. Переопределяемые оценки загруженности формируют критерии загруженности, представляющие потребности совокупностей заявок в ресурсах системы. Переопределяемые оценки равномерности формируют критерии равномерности, определяющие характер потребления ресурсов системы в интервале расписания. Будут различаться критерии равномерности действий или совокупностей действий расписания и критерии равномерности всего расписания. Последний критерий рассматривается как интегральная оценка расписания. При формировании начального расписания и его оптимизации интегральные оценки могут быть различными. Начальное расписание – любое расписание, удовлетворяющее заданному множеству заявок и обеспечивающее выполнение всех обязательных ограничений и части желательных ограничений.

Для централизованного формирования расписаний предложено использование двух последовательно реализуемых стратегий [7]:

- конструктивная стратегия – цикличное формирование начального расписания;
- оптимизирующая стратегия – одно- или многопроходная цикличная оптимизация расписания, начиная с начального.

Каждая стратегия включает два правила приоритетов, концепция которых заимствована из практики мультипроектного планирования [8, 9]. Правило приоритетов – задаваемая последовательность приемов и методов определения очередности конкурирующих совокупностей заявок. Приоритетами в контексте данного исследования выступают критерии загруженности и равномерности.

В начале каждого цикла конструктивной стратегии для не включенных в начальное расписание совокупностей заявок осуществляется переопределение оценок загруженности заявок и критериев загруженности. Затем подходящим видом ранжирования критериев загруженности определяется самая загруженная совокупность заявок. После этого подходящим видом ранжирования переопределяемых интегральных оценок начального расписания в интервале возможных таймслотов определяется таймслот включения.

В начале каждого цикла оптимизирующей стратегии осуществляется переопределение оценок равномерности действий и критериев равномерности совокупностей действий расписания. Затем подходящим видом ранжирования критериев равномерности определяется самая неравномерная совокупность действий расписания. После этого подходящим видом ранжирования переопределяемых интегральных оценок расписания в интервале возможных таймслотов определяется таймслот перестановки, что, по крайней мере, не ухудшает интегральную оценку расписания.

Методы ранжирования. Критерии загруженности и равномерности в зависимости от предметной области расписания и его типа могут иметь сложную структуру, в виду чего в правилах приоритетов необходимо применение различных многокритериальных методов ранжирования. Используемые в данном исследовании методы ранжирования основаны на работах автора [10]. Предложенные в этих работах методы многокритериального, многовекторного и гипервекторного ранжирования образуют иерархию включения [11], что упростило разработку программного обеспечения.

Результаты формирования расписаний. Для демонстрации возможностей применения многокритериальных методов ранжирования в задачах формирования расписаний представлены результаты решения двух задач. Расписание для векторов заявок (тип 2) представлено расписаниями движения пассажирских поездов в железнодорожной сети. В качестве примера расписаний для сетей заявок (тип 3) используется мультипроектное планирование.

Расписания железнодорожной сети, включающей 100 станций, 128 перегонов между ними. Расписаниями железнодорожной сети являются расписания движения поездов по перегонам и расписания станций. Тестовое задание содержало 4573 заявки для недельных расписаний движения 471 поезда 100 пассажирских маршрутов. Маршрут - множество поездов с одинаковыми последовательностями станций и времени прохождения через них в разные дни интервала расписания. Маршруты могут быть ежедневными, через день, раз в три дня или раз в неделю. Критерии загруженности маршрутов включают две векторные компоненты и одну скалярную. Самый загруженный маршрут определяется с помощью многовекторного ранжирования критериев загруженности.

Для визуализации расписаний сети (рис. 1, рис. 2) использованы представления, в которых ось времени является спиралью с отсчетом от ее начала, а длина спирали соответствует интервалу расписания. Виток спирали – наименьший период расписания, в данном случае одни сутки. Пометками на спирали фиксируется прибытие/отправление поездов. Равномерность расписаний железнодо-



Рис. 1. Начальное расписание самой загруженной станции [12]



Рис. 2. Расписание самой загруженной станции после оптимизации [12]

рожной сети обеспечивается выравниванием промежутков между событиями. Критерии равномерности многовекторные. Интегральная оценка начального и оптимизируемого расписаний – среднеквадратичное отклонение промежутков между событиями от средних значений.

Мультипроектное планирование. В качестве примера рассмотрено планирование 15 произвольно выбранных проектов из библиотеки тестовых задач PSPLib [13]. Каждый проект содержит 30 работ, связанных отношениями следования/предшествования. Каждой работе необходимо потребление задаваемых объемов четырех типов ресурсов (R1, R2, R3, R4). Проектам выделяются заданные объемы четырех типов ресурсов. Время задано тактами планирования.

Все проекты предварительно агрегированы, то есть, определены относительные начальные времена выполнения каждой работы в пределах интервала расписания проекта. На рис. 3 и рис. 4 показаны результаты мультипроектного планирования. Основным результатом – календарные графики, представлен диаграммами Гантта в верхней части рисунков. В нижней части рисунков находятся диаграммы потребления проектами ресурсов на каждом такте планирования. Цифрами в диаграммах потребления ресурсов представлены максимальные значения тактового потребления ресурса и среднеквадратичное отклонение от среднего значения в %%. Выбор наиболее загруженного по требуемым ресурсам проекта применено гипервекторное ранжирование критериев загруженности проектов [14]. Оценки равномерности начального и оптимизируемого календарных графиков образуют интегральные оценки расписаний в форме векторов скалярных компонент. Количество скалярных компонент определяется количеством видов ресурсов системы. Для начального календарного графика значениями скалярных компонент являются максимальные значения тактового потребления каждого ресурса. Для оптимизируемого календарного графика этими значениями являются среднеквадратичные отклонения от средних величин. Получаемые наборы интегральных оценок обеспечивают решение оптимизационных задач с помощью многокритериального ранжирования.

Анализ и обсуждение. Рассмотренные примеры формирования расписаний типа_2 и типа_3 показали работоспособность многокритериальных методов ранжирования и эффективность их применения в конструктивной и оптимизирующей стратегиях формирования расписаний.

Заключение. Многокритериальные методы ранжирования могут быть рекомендованы для подсистем планирования АСУ сложными объектами. Для решения задач оперативного планирования необходима разработка методов децентрализованного формирования расписаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орешкин С.А., Спесивцев А.В., Дайманд И.Н., Козловский В.Г., Лазарев В.И. Синтез интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными ТП. *Автоматизация в промышленности*. 2013. № 7. С. 03-09.
2. Костин Е.В., Спесивцев А.В., Писарев А.И. Алгоритмическое обеспечение управления сложными технологическими системами на основе нейросетевых моделей. *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2013. Т. 2. С. 76-81.
3. Загидуллин Р.Р. Оптимизация построения расписаний для машиностроительных цехов с помощью векторного функционала в системах класса MES. *Технология машиностроения*. 2020. № 3. С. 59-66.
4. Майбородин А.Б., Крамаренко К.Д., Васильев В.А. Исследование особенностей календарного планирования и организации работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники. *Технология машиностроения*. 2021. №9. С. 51-57.

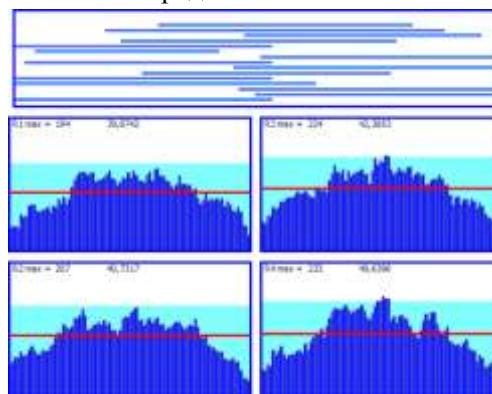


Рис. 4. Начальный календарный график [12]

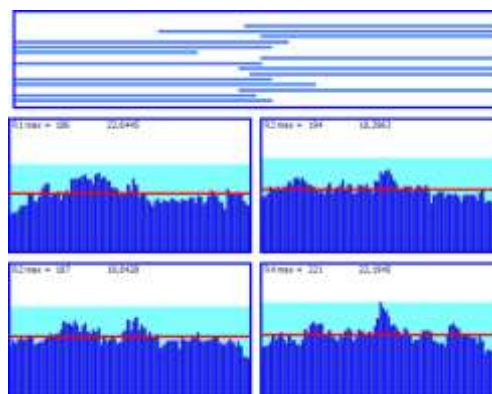


Рис. 3. Оптимизированный календарный график [12]

5. **Загидуллин Р.Р.** Обоснование горизонта планирования при составлении расписаний в автоматизированных системах. В сборнике: Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 110-116.
6. **Клеванский Н.Н., Красников А.А., Петрова Т.Ю.** Общие подходы к решению проблемы централизованного формирования расписаний. В сборнике: Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве): AS'2021. Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Новокузнецк, 2021. С. 253-260.
7. **Клеванский Н.Н.** Парадигма формирования расписаний. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2017. № 6. С. 70-75.
8. **Browning T.R., Yassine A.A.** Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Priority Rule Performance Revisited. *International Journal of Production Economics*. 2010. №126 (2). P. 212-228.
9. **ElFiky H., Owida A., Galal N.M.** Resource constrained multi-project scheduling using priority rules. Application in the Deep-water Construction Industry. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, UAE. March 10-12. 2020. P. 353-363.
10. **Сафронов В.В.** Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.
11. **Клеванский Н.Н., Красников А.А., Сапаров Е.К.** Иерархия методов ранжирования. В сборнике: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК. Материалы V Международной научно-практической конференции / Под редакцией С.И. Ткачева. Саратов, 2021. С. 113-123.
12. **Klevanskiy N.N., Antipov M.A., Krasnikov A.A.** Cognitive aspects of timetable visualization: support decision making. В сборнике: Сер. "12th International Symposium Intelligent Systems, INTELS'2016". 2017, № 103. Р. и library", *European Journal of Operational Research*, 1996, Vol. 96, pp. 205-216.
13. **Kolish R., Sprecher A.** "PSPLIB - A project scheduling library", *European Journal of Operational Research*, 1996, Vol. 96, pp. 205 - 216.
14. **Клеванский Н.Н., Ткачев С.И., Красников А.А.** Гипервекторное ранжирование в мультипроектном планировании. *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 5. С. 30-34.

N.N.Klevanskiy, (Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov), V.P.Glazkov (Saratov State Technical University named after Yu A. Gagarin, Saratov) V.S.Mavzovin (National Research Moscow State Construction University, Moscow)

Multi-criteria decision-making methods in centralized scheduling

The report presents the use of multi-criteria ranking methods in the centralized formation of schedules of various types. Resource-oriented strategies for centralized scheduling are based on resource utilization criteria. Each strategy includes two priority rules. The first strategy transforms multiple bids into an initial schedule. The second strategy optimizes the initial schedule. The priority rules in both strategies use different kinds of multi-criteria ranking methods. The received schedules of various types are presented.

Авторы готовы представить текст на английском языке для сборника материалов мультиконференции, который будет подан для индексирования в Scopus.