

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДОСТАВКИ РЕСУРСОВ В ЗАДАЧЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЕКТА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ

Авторы: Перов И.И. (Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург), Баталенков С.С. (Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург), Тимощак Е.В. (Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)  
Научный руководитель: аспирант, Филатова А.А. (Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)

**Введение.** Промышленные предприятия осуществляют масштабные проекты, требующие комплексного планирования, включая стратегии, организацию, управление ресурсами и операциями. Основа этого процесса – распределение ресурсов и контроль времени, с акцентом на решение проблемы планирования проектов с ограниченными ресурсами (RCPSP), актуальной с прошлого века [1].

В данной работе решается задача RCPSP с учетом доставки невозобновляемых ресурсов по сложной геометрии среды (RCPSP(MDP-LSS)). RCPSP – это NP-трудная задача [2], на этом основании можно сделать вывод, что расширение MDP-LSS имеет эту же сложность.

Сложные промышленные проекты, такие как капитальное строительство или разработка месторождений, имеют проблемы, связанные не только с планированием. Используемые алгоритмы должны учитывать сложную геометрию среды, ограниченность объёма ресурсов, которые могут храниться на рабочей площадке, а также неопределенности, связанные со всем этим.

**Основная часть.** Геометрия среды (Landscape) представлена следующими сущностями: дороги, склады, рабочие площадки, транспортные средства (ТС), и требуется для ответов на запросы, связанные с построением маршрута, с получением отсортированного списка складов с требуемыми материалами. Создана сущность Material Timeline для хранения состояний, распределенных во времени, всех сущностей Landscape.

Система решения объединяет генетический алгоритм и алгоритм доставки ресурсов (АДР) для планирования. Генетический алгоритм определяет подходящие работы по возобновляемым ресурсам в заданные сроки и проверяет доступность материалов на рабочей площадке. АДР активируется при нехватке материалов для работы, и его задачей является доставка необходимых ресурсов и их пополнение до уровня максимальной вместимости на площадке. Результатом алгоритма является расчет времени доставки запрошенных ресурсов.

АДР включает в себя три последовательных этапа: поиск оптимального склада для доставки, поиск кратчайшего доступного пути доставки и расчет времени доставки.

Для поиска оптимального склада используется жадный алгоритм, состоящий из следующих шагов. На первом шаге все хранилища сортируются в порядке убывания расстояния до текущей площадки. Этот этап основан на предварительных расчетах, выполненных с использованием алгоритма Флойда-Уоршелла, чтобы оптимизировать время вычислений. Следующим шагом является проверка наличия необходимого количества требуемых типов ресурсов. Проводится анализ, на каких складах имеются требуемые типы ресурсов и доступные ТС, которые могут их доставить. Поскольку ТС на каждом складе также имеют ограниченную вместимость для каждого из типов ресурсов, дополнительно решается задача определения минимального количества транспортных средств, необходимых для доставки.

В дополнение к информации, полученной из структуры Landscape, расчеты на этом этапе используют структуру данных Material Timeline для получения информации о количестве и периодах доступности ресурсов. Эта структура оптимизирована для запросов:

- проверки наличия необходимого количества ресурсов указанного типа в течение заданного периода времени;
- получения минимального времени освобождения необходимого количества ресурсов указанного типа;
- резервирования определенного количества указанных ресурсов на заданный период времени.

Типы ресурсов, которые поддерживает Material Timeline, включают все типы возобновляемых и невозобновляемых ресурсов проекта, связанных с Landscape и её сущностями, ТС, используемые для доставки ресурсов со складов, и дороги, поскольку их пропускная способность ограничена.

Следующим шагом является расчет кратчайшего пути доставки материалов с выбранного склада. На этом этапе алгоритм Дейкстры используется для расчета оптимального маршрута с учетом доступности определенных дорог и их пропускной способности. Полученный путь может отличаться от заранее рассчитанного кратчайшего пути из-за того, что часть дорог на данный момент времени уже занята другими ТС, а также из-за того, что часть дорог на кратчайшем пути может не подходить для перевозки необходимого количества ТС.

На основе параметров пути рассчитывается время, необходимое для доставки. Также определяется время, необходимое для возврата транспортных средств на склад.

В результате работы алгоритма полученное время доставки ресурсов возвращается в качестве выходного значения, а необходимые ресурсы (ТС и дороги) резервируются на все время процесса доставки и возврата на склад с использованием Material Timeline. Дополнительно обновляется информация о материалах в Material Timeline.

Выходное значение времени доставки используется в основном алгоритме генетического планирования для вычисления потенциального времени начала выполнения задачи при преобразовании хромосом решения в графики.

**Выводы.** В результате разработан алгоритм доставки ресурсов, расширяющий возможности классической постановки RCPSP. В дальнейшем алгоритм доставки будет усовершенствован путем разработки более сложного алгоритма оптимизации доставки с учетом возникновения неопределённостей в геометрии среды, например ремонт дорог или их перекрытие.

**Источники:**

1. Aquilano N.J. and Smith D.E., "A formal set of algorithms for project scheduling with critical path scheduling/materials requirements planning", Journal of Operations Management, 1980, vol. 1(2), pp. 57-67
2. Blazewicz J. Lenstra J.K., Kan A.R. Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity / Kan A.R. Blazewicz J., Lenstra J.K. // Discret. Appl. Math. — 1983. — Vol. 5, no. 1. — Pp. 11–24

Автор \_\_\_\_\_ Перов И.И.

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Филатова А.А.