

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ НА ПРИМЕРЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

П.С. Морозов, А.А. Белоусов

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва  
(национально исследовательский университет)

В данной работе в рамках задачи оптимального управления ресурсами рассматривается оперативное планирование локомотивов с целью наиболее эффективного их использования. Представлена математическая модель задачи и подробно рассмотрен алгоритм планирования основанный на мультиагентных технологиях с использованием аукциона с двойным подтверждением. Приведены результаты работы реализованной системы управления ресурсами.

На сегодняшний день, задача оптимального управления ресурсами является интенсивно развивающейся сферой исследований. Все увеличивающееся число задач для ограниченного объема ресурсов заставляют искать пути по оптимизации их использования. Еще одним аргументом в пользу исследования оптимизации является то, что мы живем в постоянно меняющемся мире. В каждый момент времени происходит одно (а то и несколько) событий. И ставится цель не просто отреагировать на них как можно быстрее, но и, по возможности, нивелировать негативные последствия от них. Очевидно, что человек находясь в стрессовой ситуации не способен за короткий промежуток времени принять наиболее лучшее решение при возникновении экстренной ситуации. Решить эту проблему способна автоматизированная система планирования ресурсов, способная оперативно реагировать на возникающее внешние возмущения.

В данной работе рассмотрена задача управления тяговыми ресурсами (локомотивами) на железнодорожной сети. Локомотивы нужно подать сформированным поездам для их перевозки в подходящий интервал времени. При этом необходимо соблюдать все нормативные ограничения на движения локомотивов. Реализуемая система должна обеспечить эффективное использование локомотивов путем оптимизации по некоторому критерию, например минимизация простоя локомотивов или минимизация холостого хода. Обосновать выбор задачи можно распространенностью железнодорожных перевозок в нашей стране, при чем как пассажирских, так и грузовых. И оптимизация их работы способна повысить экономическую привлекательность этого вида транспорта.

Предлагаемая система основана на мультиагентном взаимодействии агентов посредством обмена задачами в рамках аукциона с двойным подтверждением [1].

Использование мультиагентных технологий дает такие преимущества как: гибкость, масштабируемость, интеллектуальность, оперативность реализуемой системы.

Для решения задачи формируются исходные данные включающие: ресурсы в виде локомотивов, их состояние и местоположения на начало планирования, так же их параметры (такие как количество секций, номер); заявки в виде поездов с их предпочтительным интервалом доставки и необходимым для них количества секций локомотива; инфраструктура в виде станций и параметров в виде возможности проведения технического обслуживания локомотива; допустимые временные интервалы движения между станциями (далее именуемые нитками). Для оценки варианта плана введем целевую функцию, характеризующую отправку назначенного состава с локомотивом  $l_i$  и обозначаемую  $f_j(l_i)$ .

Целевая функция имеет следующий вид:

$$f_j(l_i) = C_1 \frac{T_s(l_i)}{N_1} + C_2 \frac{T_e(l_i)}{N_2},$$

где

- $C_1, C_2, N_1, N_2$  - настраиваемые и нормировочные коэффициенты.
- $T_s(l_i)$  - время простоя локомотива  $l_i$  перед началом движения с  $j$ -ым поездом.
- $T_e(l_i)$  - время холостого хода локомотива  $l_i$  перед началом движения с  $j$ -ым поездом.

Рассматривая оптимизацию планирования локомотивов, рассматривается суммарная целевая функция  $\sum_j \sum_i f_j(l_i)$ , которая равна суммированием всех целевых функций по всем отправляемым поездом и по всем задействованным локомотивам. Тогда в качестве решения задачи оптимизации необходимо найти минимум суммарной целевой функции:

$$\sum_j \sum_i f_j(l_i) \rightarrow \min .$$

При поиска минимума учитываем ограничения в виде заданного пробега локомотива между регламентными работами на нем, ограничение на необходимое количество секций локомотива для движения поезда.

За отказ вывести поезд взимается штраф, размер которого регулируется параметром. Регулируя параметр штрафа, мы можем менять соотношение вывезенных поездов к неэффективному использованию локомотивов (например, если поезд, который нужно вывести, находится на станции, где нет свободных локомотивов, то необходимо закладывать холостой ход локомотива до этой станции, но в зависимости от параметра штрафа локомотив может и не поехать за этим поездом, если штраф за отказ будет не большим).

Далее под ресурсом будем пониматься локомотив, а под заявкой – поезд, который необходимо вывести.

Алгоритм решения задачи оптимизации является модифицированным вариантом так называемого «жадного» алгоритма. Суть «жадного» алгоритма заключается в том, что на каждом этапе работы алгоритма принимаются локально оптимальные решения, допуская, что конечное решение так же окажется оптимальным. Глобальную оптимальность «жадный» алгоритм может гарантировать только посредством поиска решения через комбинаторный перебор, которое характеризуется большой временной сложностью работы. По этой причине был выбран средний вариант: решение чистого «жадного» алгоритма, снабженного эвристиками, что снижает скорость работы алгоритма, но обеспечивает лучшее по качеству решение.

У каждого планируемого объекта есть свой агент, обладающий своей целевой функцией и памятью, который представляет интересы этого объекта в процессе планирования [2]. Аукцион является реализацией микроэкономики агентов [3].

Алгоритм решения представляет собой следующее.

Агенты-заявки встают в очередь на размещение в соответствии с порядком предпочтительного времени отправления у заявок. Заявка из очереди размещается на аукционе, где формируется начальный счет (задается первым приближением исходя из целевой функции агента-заявки) и рассылается запрос агентам-ресурсам на выполнение заявки. Агенты-ресурсы вычисляют с помощью своей целевой функции счет от принятия заявки и сравнивают его с общим счетом аукциона. Если новый счет больше общего счета аукциона, то либо отсылается агенту-заявке ответ с новым счетом, либо продолжается процесс размещения у агента-ресурса. Таким образом реализуется эвристика, отсекающая заведомо не выгодные ветви решения. Под дальнейшим размещением понимается возможность возникновения конфликта новой размещаемой заявке с уже размещенной на ресурсе. В этом случае агент-ресурса сам становится инициатором аналогичного аукциона и размещает старую конфликтную заявку на нем.

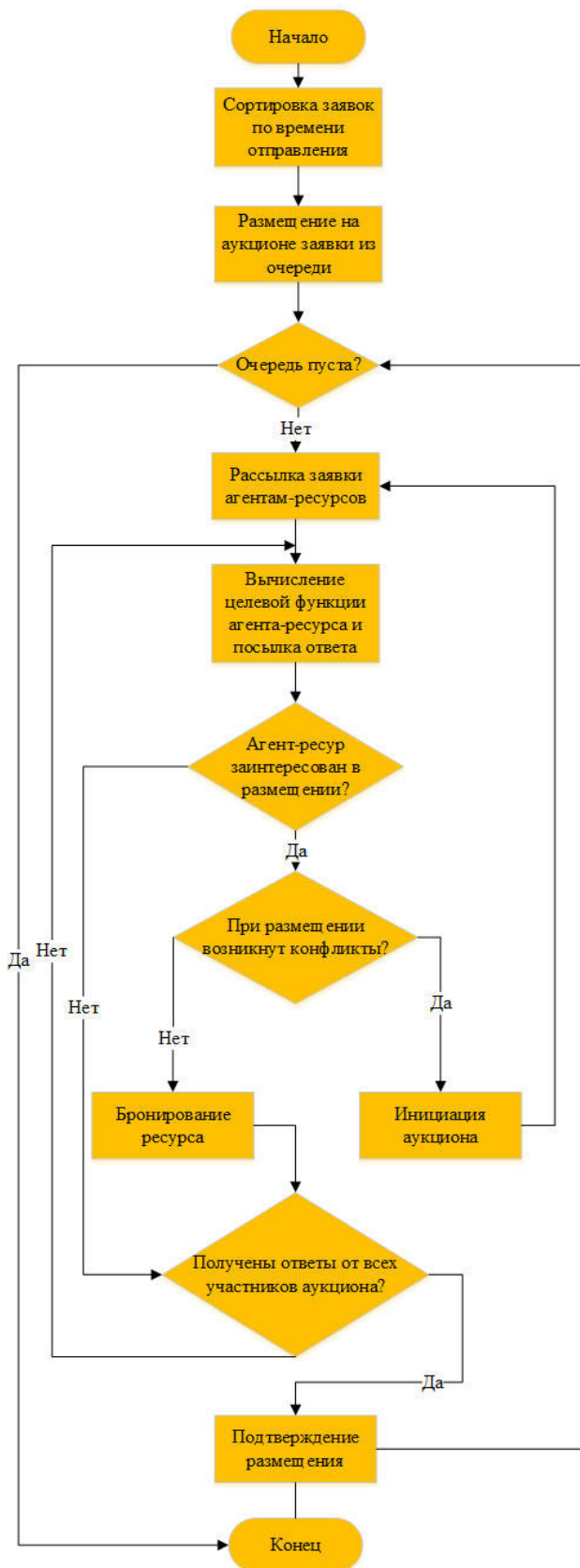


Рисунок 1 – схема работы алгоритма

Глубина поиска решения ограничивается параметром, задаваемом во входных данных, что реализует еще одну эвристику. В случае если агент-ресурса не заинтересован в размещении предлагаемой заявки, то отсылается ответ с отказом на размещение. По мере поступления ответов от агентов-ресурсов, обновляется общий счет аукциона за счет лучших предложений от агентов-ресурсов, им отсылается сообщение подтверждающее

бронирование. После ответов всех участников аукциона лучшему предложению отсылается подтверждение размещения, после чего размещается следующая заявка из очереди. Если среди агентов-ресурсов не нашлось заинтересовавшихся в заявке, то она отбрасывается с некоторым штрафом, который регулируется исходя из набора входных параметров. Для обеспечения приемлемой скорости работы алгоритма предполагается параллельное размещение заявки у каждого агента-ресурса (а при дальнейшей модернизации алгоритма параллельное размещение заявок). Поэтому все переговоры агентов при планировании происходят асинхронно. Для обеспечения безопасности и надежности процесса планирования служит механизм двойного подтверждения.

Механизм двойного подтверждения предостерегает агентов от участия в противоречивых аукционах. Первая точка подтверждения – после получения нового лучшего счета от агента-ресурса агентом-заявки, когда не все ответы еще пришли. Вторая точка – подтверждение размещения после получения ответа от всех агентов-ресурсов. Такая схема взаимодействия обеспечивает согласованность процесса планирования.

Схема работы алгоритма представлена на рисунке 1.

В заключении приведем результаты реализованной системы.

В качестве инфраструктуры использовались имитационные данные полигона Восточный [4].

В таблице 1 приведены результаты работы реализованной системы

Таблица 1. Результаты работы реализованной системы

Количество локомотивов, шт	Количество поездов, шт	Время планирования, с
397	2458	41,8922
397	498	2,8291
113	1960	7,1181
113	214	0,7024

Как видно из таблицы 1, время работы реализованной системы пропорционально количеству планируемых объектов.

#### Литература

1. Mobach D.G.A., Abbink E.J.W., Fioole P.J., Lentink R.M., Kroon L.G., van der Heijden E.H.T., Wijngaards N.J.E. Train Driver Rescheduling using Task-Exchange Teams // Proceedings of the Second International Workshop on: Optimisation in Multi-Agent Systems (OPTMAS) at AAMAS 2009. – 2009. Available at: <http://users.ecs.soton.ac.uk/sdr/optmas2/submissions/mobach.pdf> (дата обращения: 23.05.2015).
2. Белоусов А.А., Ефремов Г.А., Степанов М.Е., Шабунин А.Б. Сетевая мультиагентная система для адаптивного управления железнодорожным движением в реальном времени // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. ВСПУ-2014. Москва, 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс], С. 8912-8924.
3. Skobelev P., Budaev D., Laruhin V., Levin E., Mayorov I. Practical Approach and Multi-Agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // Proceedings of the PAAMS 2014 International Workshops. Salamanca, Spain. 2014. – Communications in Computer and Information Science series, vol. 0430. – Springer, Switzerland. – P. 1-12.
4. П.О. Скобелев, А.А. Белоусов, С.О. Лисицын, А.В. Царев. Разработка интеллектуальной системы управления грузовыми перевозками для полигона «Восточный» // Труды XV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 25-28 июня 2013г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – С. 391-396. – ISBN 978-5-93424-662-5.