

УДК 658.7

А.Ю. Тюрин, профессор, д-р экон. наук  
(КузГТУ, г. Кемерово)  
Tyurin A.Yu., professor, D.Sc. (Economy)  
(KuzSTU, Kemerovo)

**ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА  
С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ХАРАКТЕРА ПРОТЕКАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**PLANNING THE WORK OF VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT  
THE PROBABILISTIC NATURE OF THE SOLID MINERALS  
PROCESSES EXTRACTION AND TRANSPORTATION**

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности функционирования предприятий горнодобывающей отрасли. На примере ООО «Разрез Первомайский» Кемеровской области рассматривается модель планирования работы экскаваторно-автомобильного комплекса с учетом динамики использования ресурсов производственных и транспортных участков разреза.

The article discusses issues of improving the performance of the mining industry. On the example of the Kemerovo region LLC «Razrez Pervomaisky» the model of the excavator-automobile complex work planning is considered taking into account the dynamics of production and transport areas resources use.

Проблеме планирования работы автотранспорта в условиях неопределенности посвящено довольно много работ. Например, можно выделить работы, в которых описываются различные ситуации управления транспортом в различных производственных и логистических системах. Так в [1] описываются различные динамические и стохастические модели маршрутизации со случайным спросом на перевозки, приводящие к различным решениям в зависимости от условий задачи.

В условиях добычи полезных ископаемых открытым способом эксплуатация автотранспорта в составе экскаваторно-автомобильного комплекса рассматривается в [2]. В данных исследованиях предлагаются подходы для снижения простоев экскаваторно-автомобильного комплекса, которые чаще всего возникают из-за неправильного планирования и закрепления автосамосвалов за экскаваторами. Использование замкнутого цикла функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса, при котором подвижной состав постоянно закрепляется за определенным экскаватором, приводит к увеличению простоев автосамосвалов, снижению их произво-

дительности и увеличению себестоимости перевозок горной массы. Так как работу подразделений разреза можно рассматривать как динамическую систему [3], то возникает необходимость использования открытого цикла функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса, при котором группа экскаваторов обслуживает группу автосамосвалов по критериям минимизации простоев, увеличения производительности и снижения затрат от работы экскаваторно-автомобильного комплекса.

Таким образом, система планирования рейсов автосамосвалов на определенный период времени (например, неделю) заключается в распределении подвижного состава по двум типам рейсов: постоянным и специальным. Постоянные рейсы перевозок планируются на каждую неделю заранее и осуществляются между фиксированными пунктами. В условиях открытого способа добычи полезных ископаемых постоянные рейсы относятся к закрытому циклу функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса. В течение недели планы могут меняться из-за случайного характера протекания производственных процессов разреза [4]. Специальные рейсы возникают из-за меняющихся условий работы разреза и отвлекают с постоянных линий автомобили для совершения специальных перевозок. Таким образом, необходимо минимизировать средние ожидаемые расходы за весь период планирования. При решении задачи рассматриваются два этапа. На первом этапе автомобили распределяются между постоянными маршрутами. На втором этапе после установления реализации случайных параметров работы разреза производится переназначение автомобилей с маршрута на маршрут.

Введем следующие обозначения:  $i$  — тип автомобиля соответствующей загрузки;  $j$  — постоянный маршрут на начальном этапе планирования;  $k$  — новый маршрут, на который переназначаются автомобили с маршрута  $j$ ;  $x_{ij}$  — количество рейсов автомобилей на начальном этапе планирования;  $x_{ijk}$  — количество рейсов при переадресации автомобилей с маршрута  $j$ ;  $y_j^+$  — невыполненные заявки;  $y_j^-$  — недоиспользованная емкость автомобилей;  $a_{ij}$  — нормативное количество часов для выполнения постоянного маршрута;  $a_{ijk}$  — количество часов в случае переадресации автомобилей;  $b_{ij}$  — нормативная загрузка за один рейс;  $a_i$  — максимально возможное в течение недели время работы автомобилей;  $d_j$  — заявки на перевозки;  $c_{ij}$  — стоимость рейса автомобиля;  $c_{ijk}$  — стоимость рейса автомобиля в случае переназначения;  $q_j^+$  — штраф за невыполненные заявки;  $q_j^-$  — штраф за недогрузку.

Условия первого этапа для планирования автомобилей на постоян-

ные маршруты описывается ограничением

$$\sum_j a_{ij} x_{ij} \leq a_i, \forall i. \quad (1)$$

Условия второго этапа первой группы записываются в виде

$$\sum_{k \neq j} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}} x_{ijk} \leq x_{ij}, \forall i, j \quad (2)$$

Условия второй группы второго этапа имеют вид

$$\sum_i b_{ij} x_{ij} + \sum_i \sum_{k \neq j} b_{ik} x_{ijk} - \sum_i \sum_{k \neq j} (b_{ij} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}}) x_{ijk} + y_j^+ - y_j^- = d_j, \forall j \quad (3)$$

Целевой функционал двухэтапной задачи планирования рейсов выражается следующим образом:

$$\sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} + M \left\{ \min_{x_{ijk}, y_j^+, y_j^-} \left[ \sum_i \sum_{k \neq j} (c_{ijk} - c_{ij} \frac{a_{ijk}}{a_{ij}}) x_{ijk} \sum_i (q_j^+ y_j^+ - q_j^- y_j^-) \right] \right\} \quad (4)$$

Рассмотрим практическую реализацию представленной выше модели на примере функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса ООО «Разрез Первомайский».

На разрезе с автотранспортом работают экскаваторы P&H 2800 XPC, HITACHI EX5500, HITACHI EX3600, KOMATSU PC4000. Парк автосамосвалов состоит из моделей БелАЗ-75137 и БелАЗ-75309.

Транспортировка вскрышных пород осуществляется от 4 разнотипных экскаваторов на 3 породных отвала с разной дальностью перевозки. На рисунке 1 схематично представлены транспортные связи между экскаваторами и отвалами. Поэтому транспортировка горной массы осуществляется по 5 маршрутам самосвалами 2 типов БелАЗ-75137 и БелАЗ-75309. Исходные данные представлены в таблицах 1-2.

Помимо этого спрос на перевозки может быть детерминированным или случайным со средними значениями по маршрутам в количестве 16000, 12000, 2700, 6300 и 5900 т. Кроме того, время, чтобы переключиться между любыми маршрутами, составляет 1 час для обоих типов автомобилей. Возрастающие затраты в связи с переназначением автомобилей составят 1500 и 2600 р. для этих типов автомобилей соответственно. Предполагается также, что общее время работы для каждого типа автомобиля в неделю составляет 40 часов.

Оптимальное решение задачи (1 вариант) представлено в таблице 3. Анализ полученных данных показывает, что первоначально планировалось 77 рейсов автомобиля 1 типа по 1 маршруту, 60 рейсов по маршруту 2 и 5 рейсов по маршруту 3. Для автомобиля 2 типа первоначально планировалось 46 рейсов по 1 маршруту, 4 рейса по 3 маршруту, 33 рейса по 4 маршруту и 32 рейса по 5 маршруту.

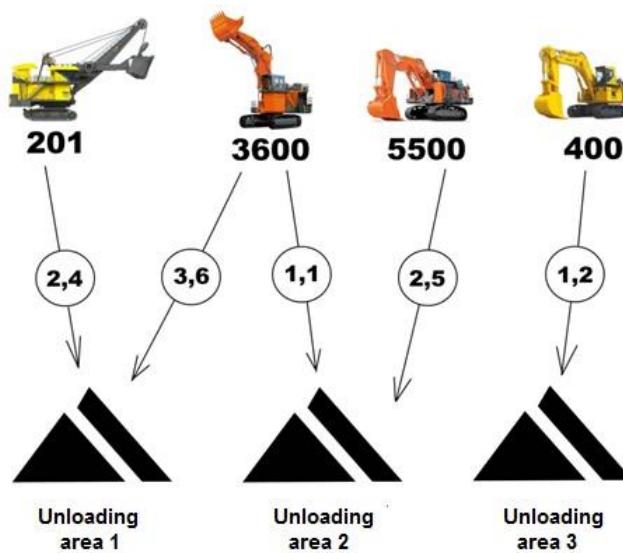


Рисунок 1. Транспортные связи между экскаваторами и отвалами

**Таблица 1 - Время выполнения рейсов 2 типами автомобилей по 5 маршрутам**

Тип автомобиля	Время рейса (кругорейс). ч				
	Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Маршрут 5
1	0,274	0,284	0,389	0,19	0,203
2	0,274	0,284	0,389	0,19	0,203

**Таблица 2 - Исходные данные по маршрутам**

Провозная способность (в тоннах)				
Маршрут 1	Маршрут 2	Маршрут 3	Маршрут 4	Маршрут 5
130	130	130	130	130
220	220	220	220	220
Стоимость за рейс, р.				
1372	1430	2059	629	686
2640	2750	3960	1210	1320
Стоимость штрафа (р. за тонну) при избыточном спросе				
792	825	1188	363	396
Стоимость штрафа (р. за тонну) при избыточном предложении				
274	286	411	125	137

После уточнения спроса и переназначения автомобилей представилась следующая ситуация: автомобили 1 типа снимаются с 1 маршрута и переназначаются в количестве 17 рейсов на 2 маршрута, с 2 маршрута на маршрут 3 в количестве 8 рейсов. Для автомобилей 2 типа перераспреде-

ление приведет к назначению их на 2 маршрут и снятию с 1, 4 и 5 маршрутов в количестве 9, 5 и 2 рейсов соответственно. Если же общее время работы для каждого типа автомобиля в неделю увеличить до 80 часов (2 водителя закреплены за 1 автомобилем), то оптимальное решение задачи (2 вариант) будет другим (см. таблицу 3).

**Таблица 3 - Оптимальные значения для 1 и 2 вариантов**

1 вариант					2 вариант				
$x_{ij}$									
77	60	5	0	0	156	60	6	40	50
46	0	4	33	32	0	0	5	6	0
$x_{ijk}$ для первого типа автомобиля									
0	17	0	0	0	0	33	0	0	0
0	0	8	0	0	0	0	7	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2	8	0	0
$x_{ijk}$ для второго типа автомобиля									
0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0	2	0	0	0
0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
$y_j^+$									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_j^-$									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Анализ полученных данных показывает, что первоначально планировалось 156 рейсов автомобиля 1 типа по 1 маршруту, 60 рейсов по маршруту 2, 6 рейсов по маршруту 3, 40 рейсов по маршруту 4 и 50 рейсов по маршруту 5. 2 тип автомобиля был запланирован на маршрутах 3 и 4 в количестве 5 и 6 рейсов соответственно. После уточнения спроса и переназначения автомобилей получаем: автомобили 1 типа снимаются с маршрутами 1, 4 и 5 в количестве 33, 7 и 2 рейсов соответственно и переназначаются на 2 маршрут и 10 рейсов на 4 маршрут. Дополнительно автомобили 1 типа снимаются с маршрута 2 и переназначаются на маршрут 3 в количестве 7 рейсов. В заключение автомобили 1 типа снимаются маршрута 3 и назначаются маршруты 4 и 5 в количестве 2 и 3 рейсов соответственно. Для автомобилей 2 типа перераспределение приведет к снятию с 4 марш-

рута и переназначению в количестве 2 рейсов на 2 маршрут. Нули под переменными  $u_j^+$  и  $u_j^-$  показывают, что заявки на перевозку полностью удовлетворены и загрузка автомобилей за рейс осуществляется в соответствии с правилами.

### Выводы

Рассмотренные выше примеры показывают важность учета временных ограничений на выполнение рейсов. Стоимостные показатели задачи регулируют приоритетность выполнения рейсов и степень загрузки подвижного состава в течение недели. Поэтому детальный учет всех входных параметров и условий обслуживания потребителей позволит разработать план работы автотранспорта на любой временной отрезок с учетом динамики спроса, количественного состава транспортных средств при минимальных издержках транспортного обслуживания.

### Список литературы

1. Bent R., Hentenryck P. Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers. *Operations Research*, 2004, 52(6): 977–987.
2. Carter R.A. Fleet management: challenges and choices. *Engineering and Mining Journal*, 2012, (32): 28-30.
3. Burt C.N., Caccetta L. Match factor for heterogeneous truck and loader fleets. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 2007, 21 (4): 262-270.
4. Tu J.H., Hucka V.J. Analysis of open-pit truck haulage system by use of a computer model. *CIM Bulletin*, 1985, 78 (879): P. 53-59.