

УДК 622.002.5-52:62-77

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ ШАХТНОЙ АВТОМАТИКИ

Серезентинов Г.В. канд. тех. наук.

Донецкий государственный технический университет

Приведены постановка и решение оптимизационных задач технического обслуживания и ремонта методом линейного программирования с использованием табличного процессора.

It is adduced the statement and solution by optimum sum the preventive and current repairs for use Excel for Windows.

Детальные исследования электротравм для условий подземных горных разработок показывают, что 80,8% электротравматизма приходится на электрооборудование напряжением до 1000 В. Основными причинами электротравм пусковой и коммутационной аппаратуры являются ремонтно-монтажные работы – 21,1% /1/.

Вместе с тем плановые техническое обслуживание и текущие ремонты (ТО и ТР), в том числе с применением специальных технологических карт по ТО и ТР существенно сокращают количество внезапных отказов электрооборудования и аппаратуры шахтной автоматики в добычные смены и тем самым, сокращая простои, повышают нагрузку на забой.

Ранее была обоснована необходимость оптимального планирования работ по ТО и ТР в основном по определению минимально необходимого количества электрослесарей при проведении ежеквартального ТР и оптимизации их схемы передвижения между комплектами электрооборудования /2/. Выходная машинограмма представляла довольно громоздкую таблицу, требующую дополнительных пояснений и упрощений для формирования заданий обслуживающему персоналу. Кроме того, не рассматривались вопросы оптимального проведения планового и непланового ТР аппарата конкретного типа, а также вопросы проведения ежесменного (ТО-1), ежесуточного (ТО-2), еженедельного (ТО-3) обслуживания и ежемесячного ремонтного обслуживания (РО).

В связи с различным объемом и спецификой проведения работ, а также многокритериальностью задачи довольно сложно сформировать обобщенный алгоритм аналитического моделирования ТО и ТР. Поэтому целесообразно вопросы оптимального ТО и ТР разделить на несколько задач.

В качестве допущений принималось следующее: работы на электрооборудовании и аппаратуре автоматизации проводятся бригадой электрослесарей, состоящей из двух человек; время обслуживания единицы однотипного оборудования каждым электрослесарем может отличаться; снятие напряжения с электрооборудования определяется ПБ и может быть полным либо частичным.

Первая оптимизационная задача относится к плановым ТО-1,2,3, при которых осуществляются: наружный осмотр заземляющих устройств и взрывонепроницаемых оболочек; проверка функционирования оборудования; проверка наличия резервных элементов и запасных частей.

Например, необходимо определить сменное задание каждому электрослесарю в бригаде, если на РП участка находится M - единиц различного электрооборудования, а ТО подвергается m_1 - трансформаторных подстанций ТСВП, m_2 -автоматических выключателей серии АВ-320, m_3 -станций управления КУУВ-350, m_4 -магнитных пускателей серии ПВИ.

Приведенное условие сводится к транспортной задаче линейного программирования [3] по следующему алгоритму:

1. В качестве неизвестных x_{ij} принимается количество единиц j -оборудования, обслуживаемого i -электрослесарем.

2. Составляется графическая интерпретация условия (рис.1,а).

3. Формируется система ограничений (ОГР), показывающая связь между значениями искомых переменных

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} \geq m_1; \\ x_{12} + x_{22} \geq m_2; \\ x_{13} + x_{23} \geq m_3; \\ x_{14} + x_{24} \geq m_4; \\ x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq M. \end{cases}$$

4.Выполняется балансировка ОГР, заключающаяся в проверке равенства единиц оборудования на участке M , количеству обслуживаемого при ТО m_1, m_2, m_3, m_4 - оборудования

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4; \quad (1)$$

и если левая часть уравнения (1) не равна правой – задача несбалансированная, в противном случае – сбалансированная. В последнем случае неравенства в ОГР заменяются на равенства.

5.Граничные условия (ГРУ), показывающие предельно допустимые значения искомым переменных следующие:

$$x_{ij} \geq 0; \quad x_{ij} - \text{целое.}$$

6.Составляется целевая функция (ЦФ), показывающая в каком смысле решение задачи должно быть наилучшим. В нашем случае целевая функция минимизирует затраты времени на ТО,

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min;$$

где: t_{ij} -время ТО-1,2,3 i -электрослесарем j -оборудования.

Приведенная постановка задачи реализована средствами *Excel for Windows*.

7.Формируется расчетная таблица реализации ОГР, ЦФ

Таблица 1 – Программирование ОГР и ЦФ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ПЕРЕМЕННЫЕ								ЛЕВАЯ ЧАСТЬ		
2	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄			
3											
4	1				1				=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A4:H4)	>=	m ₁
5		1				1			=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A5:H5)	>=	m ₁
6			1				1		=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A6:H6)	>=	m ₁
7				1				1	=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A7:H7)	>=	m ₁
8	1	1	1	1	1	1	1	1	=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A8:H8)	<=	M
9	t ₁₁	t ₁₂	t ₁₃	t ₁₄	t ₂₁	t ₂₂	t ₂₃	t ₂₄	=СУММПРОИЗВ(A3:H3;A9:H9)	ЦФ	min

Ячейки A3:H3 зарезервированы для значений искомым переменных. Математическая функция =СУММПРОИЗВ() позволяет формировать выражения ОГР и ЦФ за счет суммирования произведений элементов массивов переменных x_{ij} и коэффициентов при переменных.

8. Для вычисления численных значений x_{ij} : выделяется целевая ячейка I9; последовательно выбираются *Сервис, Поиск решения*; в окне Поиск решения:

- Установить целевую ячейку: \$I\$9;
- Равной минимальному значению;
- Изменяя ячейки \$A\$3:\$H\$3;
- Добавить ... ограничения: \$I\$4>=\$K\$4; \$I\$5>=\$K\$5; \$I\$6>=\$K\$6; \$I\$7>=\$K\$7; \$I\$8<=\$K\$8; \$A\$3:\$H\$3>=0; \$A\$3:\$H\$3=целое;
- Параметры ... поиска решения: Максимальное время – 100 секунд; Предельное число итераций – 100; Относительная погрешность – 0,000001; Допустимое отклонение – 5%; Линейная модель; Оценка линейная; Производные прямые; Метод Ньютона (При указанных установках поиск переменных выполняется симплекс-методом);
- Выполнить.

Если полученные результаты удовлетворяют ОГР, ГРУ и ЦФ, то появляется окно с сообщениями: «Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены».

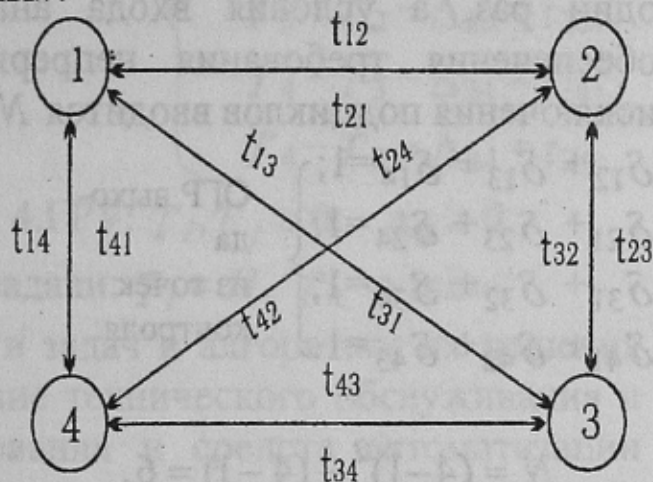
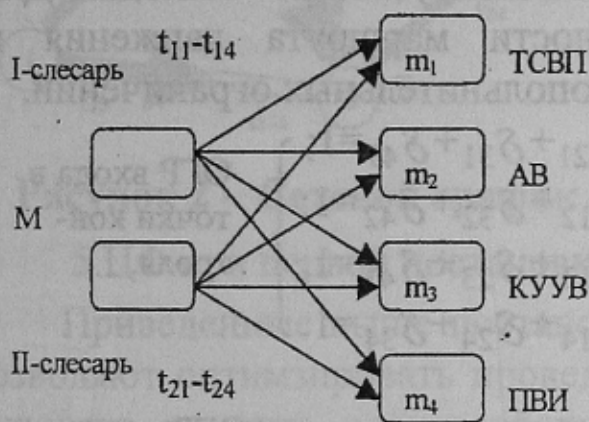


Рисунок 1,а – Граф-схема транспортной задачи

Рисунок 1,б – Граф-схема транспортной задачи

В результате оптимизационного решения получается схема обслуживания электрооборудования или аппаратуры автоматизации бригадой электрослесарей с минимальным временем ТО. Кроме того существует возможность решения задачи по заказу. А именно: назначить величину целевой функции для определения максимально возможного количества комплектов электрооборудования задействован-

ного в ТО; назначить величины искомым переменных для вычисления допустимого времени ТО единицы оборудования.

Вторая оптимизационная задача относится к ежесуточному ТО, связанному с проверкой исправности аппаратов, обеспечивающих безопасное ведение технологических процессов: аппаратуры газовой защиты, участковых реле утечки и других, время проверки которых значительно меньше времени движения между ними.

Поэтому необходимо определить маршрут минимальной продолжительности при движении слесаря между точками контроля с выходом и входом в одном месте без учета времени проверки. Такая формулировка сводится к задаче коммивояжера.

1. В качестве переменных принимаются δ_{ij} - вероятность движения из точки контроля исправности i в точку j ; y - дополнительная переменная, обеспечивающая условие непрерывности маршрута.

2. Граф-схема для условия четырех точек контроля проверки исправности аппаратуры приведена на рис. 1,б.

3. ОГР формируется исходя из предположения, что из каждой точки контроля выход производится в одном направлении и только один раз, а условия входа аналогичны условию выхода. Для обеспечения требования непрерывности маршрута движения и исключения подциклов вводится N дополнительных ограничений.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{12} + \delta_{13} + \delta_{14} &= 1; \\ \delta_{21} + \delta_{23} + \delta_{24} &= 1; \\ \delta_{31} + \delta_{32} + \delta_{34} &= 1; \\ \delta_{41} + \delta_{42} + \delta_{43} &= 1. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{ОГР выхода} \\ \text{из точек} \\ \text{контроля.} \end{array} \quad \left. \begin{aligned} \delta_{21} + \delta_{31} + \delta_{41} &= 1; \\ \delta_{12} + \delta_{32} + \delta_{42} &= 1; \\ \delta_{13} + \delta_{23} + \delta_{43} &= 1; \\ \delta_{14} + \delta_{24} + \delta_{34} &= 1. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{ОГР входа в} \\ \text{точки кон-} \\ \text{троля.} \end{array}$$

$$N = (4-1)^2 - (4-1) = 6. \quad - \text{число дополнительных ОГР.}$$

$$\left. \begin{aligned} y_2 - y_3 - 4\delta_{23} &\leq 3; & y_3 - y_4 - 4\delta_{34} &\leq 3; \\ y_2 - y_4 - 4\delta_{24} &\leq 3; & y_4 - y_2 - 4\delta_{42} &\leq 3; \\ y_3 - y_2 - 4\delta_{32} &\leq 3; & y_4 - y_3 - 4\delta_{43} &\leq 3. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{ОГР обеспечения не-} \\ \text{прерывности и исклю-} \\ \text{чения подциклов.} \end{array}$$

4. ГРУ для δ_{ij} и y : $0 \leq \delta_{ij} \leq 1$; δ_{ij} - целое; $-\infty < y < \infty$.

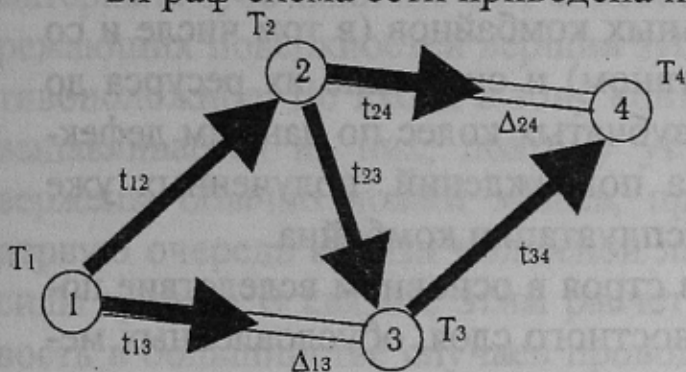
5. ЦФ формируется с учетом заданных t_{ij} - времен движения между i, j - точками контроля: $\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 t_{ij} \delta_{ij} \rightarrow \min.$

Третья оптимизационная задача относится к неплановым и аварийным ремонтам, выполняемым при отказах электрооборудования и средств автоматизации, находящихся в эксплуатации. При этом обычно известны алгоритмы поиска неисправностей и их временные характеристики. В свою очередь алгоритм поиска может быть представлен сетевым графом, а задача оптимизации сведена к сетевому планированию в первой постановке.

В такой задаче необходимо минимизировать время отыскания неисправностей в электрооборудовании или аппаратуре автоматики по контрольным точкам при известном времени начала работ $T_1 = H$.

1. Неизвестными являются T_i, T_j - времена i - исходного и j - конечного событий выполнения работ; Δ_{ij} - резервы времени между i, j - событиями.

2. Граф-схема сети приведена на рис.2.



3. ОГР имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_2 - T_1 - \Delta_{12} = t_{12}; \\ T_3 - T_1 - \Delta_{13} = t_{13}; \\ T_3 - T_2 - \Delta_{23} = t_{23}; \\ T_4 - T_3 - \Delta_{34} = t_{34}; \\ T_4 - T_2 - \Delta_{24} = t_{24}. \end{array} \right.$$

Рисунок 2 - Сетевой график 4. ГРУ: $T_i, T_j \geq 0; \Delta_{ij} \geq 0$.

5. ЦФ при первой постановке задачи: $T_i = H, T_4 \rightarrow \min$.

Приведенные выше постановки задач и алгоритмы их решения позволяют оптимизировать проведение технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования и средства автоматизации шахт в плане минимизации времени или количества электрослесарей, участвующих в ТО; минимизации маршрута движения при проверках исправности аппаратуры; минимизации процесса поиска и устранения отказов при неплановых и аварийных ремонтах.

Список источников.

1. Щуцкий В.И., Макаров М.И., Осипов Э.Р. Надежность и безопасность электроснабжения подземных горных работ: Справочное пособ. - М.: Недра, 1994.- 255с.
2. Макаров М.И., Петрущечкина Л.М., Серезентинов Г.В., Котков А.В. Оптимизация планирования технического обслуживания комплекса электрооборудования очистного забоя.- Изв. Вузов. Горный журнал, 1984, №9, с.103-108.
3. Зайченко Ю.П., Шумилова С.А. Исследование операций: Сборник задач.- К.:Выща шк., 1990.- 239 с.