

Ю.Н. Миняев, А.В. Угольников, А.Х. Зарипов
**ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ РУДНИЧНЫХ
КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК**

Семинар № 20

Предлагаемая стратегия оптимизации развития рудничных компрессорных установок (РКУ) заключается в том, чтобы с использованием прогноза добычи объемов горной массы, фронта горных работ, удельных затрат энергоресурсов и тарифов на энергоносители определить периоды ввода в действие новых мощностей по производству сжатого воздуха и реализации мероприятий, повышающих эффективность РКУ. Периоды ввода новых мощностей должны определяться таким образом, чтобы обеспечить снижение удельных затрат на производство сжатого воздуха, компенсирующих в определенной мере рост тарифов. Ввод новых мощностей может обеспечиваться оснащением РКУ новыми типами компрессоров, сооружением ГПА, оснащением компрессоров регулируемыми приводами, снижением энергетических потерь путем утилизации тепла сжатого воздуха и т.д.

Динамическая оптимизационная задача заключается в реализации гарантированного уклонения от запрещенной области, в которой объем производства сжатого воздуха оказывается меньше требуемого, а его себестоимость выше допустимой. Для этого предлагаемая стратегия управления каждой сложившейся позиции (t_*, x_*) ставит в соответствие физически реализуемое правило обработки

будущей траектории, развитие которой и определяет момент переключения $t^* \geq t_*$, т.е. момент (период) реализации мероприятия, направленного на уклонение от запрещенной области.

Последовательность реализации мероприятий определяет сценарии развития, которые должны сопоставляться друг с другом в соответствии с принятой нормативно-целевой базой.

Общий период реализации комплекса сценариев разбивается на этапы, имеющие, в общем случае, разную продолжительность. Каждый этап целесообразно разбить на ограниченное число интервалов, в течение которых реализуются промежуточные целевые состояния, обеспечивающие выполнение основной цели данного периода.

В процессе управления необходимо таким образом спланировать развитие РКУ, чтобы за заданный период достичь заданного состояния с минимальными затратами.

Условия задачи задаются средними объемами сжатого воздуха для j -го потребителя и необходимой величиной давления, которые должны быть обеспечены на производственных участках:

$$Q_{j_{\text{н}}} \leq Q_j(X) \leq Q_{j_{\text{в}}}, j = 1, 2, \dots, m; \quad (1)$$

$$p_{j_{\text{н}}} \leq p_j(X) \leq p_{j_{\text{в}}}. \quad (2)$$

С учетом неопределенности, обусловленной погрешностями оценки

давления сжатого воздуха у потребителей, ограничение (2) принимает вид:

$$p_{\min} + \rho(\eta_{\phi})S_p \leq p \leq p_{\max} - \rho(\eta_{\phi})S_p, \quad (3)$$

где η_{ϕ} - допустимая вероятность нарушения ограничения на давление; $\rho(\eta_{\phi})$ - параметр, зависящий от закона распределения $f(p)$ и величины η_{ϕ} (при $\eta_{\phi} = 0,95$ $\rho(\eta_{\phi}) = 2$); S_p - среднее квадратичное отклонение давления у потребителей.

Для всех типов компрессоров известны их расходные характеристики, т.е. связи между расходом и избыточным давлением сжатого воздуха в начале сети, определяемой характеристиками пневматической сети; и регулировочные характеристики, связывающие число компрессоров определенного типа, работающих в РКУ, и их мощности с расходом сжатого воздуха. Расход воздуха через начальное сечение участка определяется машинами и механизмами, питающимися от сжатого воздуха, утечками в распределительной сети и на рассматриваемом участке.

Общая вводимая мощность по производству сжатого воздуха может быть обеспечена компрессорами различных типов, устанавливаемыми в различных узлах пневматической сети.

Управляемыми переменными u_{ijkg} в задаче оптимизации развития РКУ являются принадлежность компрессора вершине – источнику; типы и производительности компрессоров, где i - порядковый номер вершины; j - тип компрессоров; k - индекс производительности компрессора; g - момент дискретного времени. При наличии в i -й вершине j -го типа компрессора k -й производительности, установленного в g -й интервал времени, $u_{ijkg} = 1$, в

противном случае $u_{ijkg} = 0$. В зависимости от размещения компрессоров меняются расстояния от РКУ до потребителей, потери давления, зависящие от длины и диаметров труб, а также объемные потери, зависящие от условий эксплуатации и связанные с утечкой сжатого воздуха из пневмосети.

Любое управляющее воздействие снижает совокупные потери через влияние на удельные расходы ресурсов и на интенсивность отказов РКУ.

Управление развитием РКУ осуществляется в дискретные, заранее неизвестные интервалы времени, в которых происходят разрывы непрерывности значений переменных состояния. Эти скачки рассматриваются как переменная управления, а все скачки всех компонент вектора x образуют вектор управления, действующего в дискретные моменты времени t_1, \dots, t_f , которые априорно неизвестны.

Последовательность мероприятий (проектных решений), направленных на управление развитием РКУ, образует путь.

Развитие характеризуется соотношением:

$$x_{g+1} = f_g(x_g, u_{ijkg}), \quad (4)$$

а критерий оптимальности (цена пути) соответствует:

$$\min \sum_{g=0}^n H_{0g} \quad (5)$$

при заданных значениях $x(t_0), x(t_f)$.

Здесь H_{0g} - совокупные потери за g -й интервал времени.

Известно начальное распределение компрессоров по узлам системы.

Задано полное множество проектных решений $e_l \in E$.

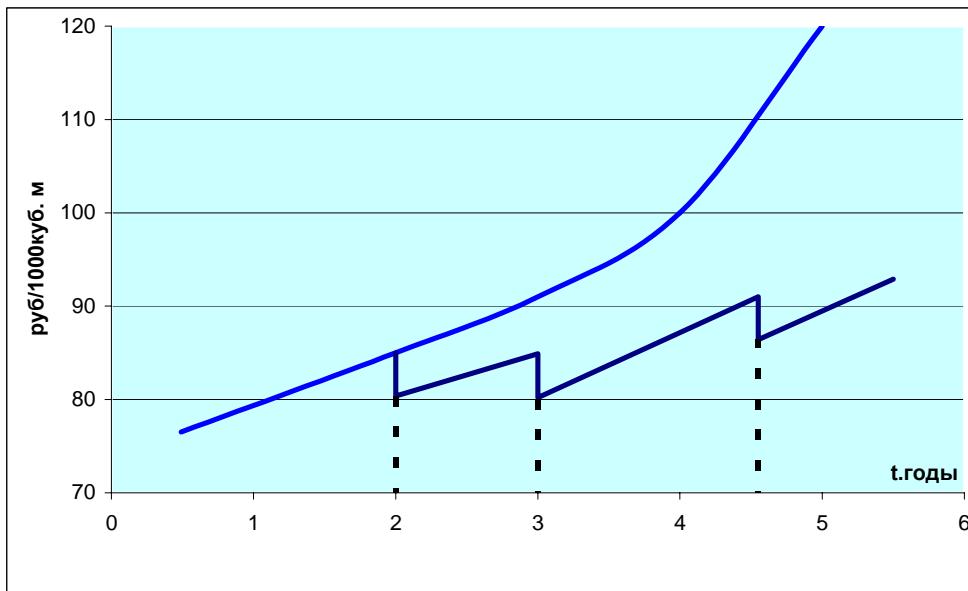


Рис. 1. Графики изменения потерь при управляемом развитии РКУ

Требуется найти наилучший вариант проектного решения, определяющий минимум цены пути на интервале времени ($g, g+1$).

При решении задачи оптимизации развития РКУ, являющейся комбинаторной экстремальной задачей на графике, в заранее неизвестные интервалы времени g происходит переход от одной структуры РКУ к другой, т.е. траектория движения имеет характер кусочно-постоянных функций, которые находят из условия:

$$A_j(k) = \arg \min \{ H_0(g, g+1) / A_j(k), I(g) \} \quad (6)$$

где $H_0(g, g+1)$ - прогнозируемые совокупные потери при выборе k -й альтернативы; $I(g)$ - информация, полученная к моменту времени g .

Информация должна включать в себя:

- прогноз производительности шахты по ГМ;
- прогноз производительности РКУ по сжатому воздуху;

- прогноз изменения тарифов на энергоносители;
- удельные расходы энергоресурсов для конкретных типов компрессоров;
- предполагаемый график работы РКУ, определяющий распределение времени работы компрессоров с полной и неполной нагрузкой;
- интенсивности потоков отказов и восстановления компрессоров для конкретных структур РКУ.

Оптимизационная задача (6) разбивается на четыре составляющие ее подзадачи:

- выбор критериев H_i ;
- генерация полного множества вариантов развития конкретного РКУ;
- оценка вариантов по всем критериям;
- многокритериальный выбор наилучшего варианта.

Графики изменения потерь при управляемом развитии РКУ представлены на рисунке 1.

Точка $t = 2$ соответствует вводу в эксплуатацию (в составе централизованной РКУ, оснащенной поршневыми компрессорами) турбокомпрессора ТКА-130/9, имеющего меньший удельный расход электроэнергии по сравнению с удельным расходом электроэнергии для поршневого компрессора 4 ВМ10-100/9.

Точка $t = 3$ соответствует вводу в эксплуатацию передвижного винтового компрессора маслозаполненного типа, установленного вблизи шахтных пневматических приемников. При этом практически отсутствуют гидравлические и объемные потери, возникающие в процессе транспортирования сжатого воздуха и составляющие до 40 % при централизованной схеме. Это обеспечивает соответствующее снижение удельных энергетических затрат.

Точка $t = 4,5$ соответствует вводу в эксплуатацию ГПА объемом 5 тыс. м³, обеспечивающим уменьшение потерь производительности по горной массе.

В общем случае нельзя указать такую структуру РКУ, которая обладала бы бесспорным преимуществом перед всеми остальными. Выбор структуры и параметров РКУ необходимо производить в каждом конкретном случае с учетом характеристик потребителей, а также стоимостных и эксплуатационных характеристик имеющихся технических средств. Важно подчеркнуть, что указанный выбор должен осуществляться в тесной взаимосвязи с вопросами влияния тех или иных структурных и параметрических изменений на достижимое качество управления развитием РКУ. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Миняев Ю.Н. – профессор,
Угольников А.В. – ст. преподаватель,
Зарипов А.Х. – инженер,
Уральский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 20 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.И. Галкин.

