

**А. М. В а л у е в, В. К. У ш а к о в** (Москва, МГГУ). **Модель и метод решения задачи оптимального воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети.**

Воздухораспределение в шахтной вентиляционной системе (ШВС), т. е. значения величин расхода воздуха (с учетом направления) в ветвях сети,  $q_j, j \in J$ , подчиняется системе сетевых уравнений Кирхгофа первого и второго рода [1]

$$\sum_{i \in I^+(j)} q_i - \sum_{i \in I^-(j)} q_i = 0, \quad j \in J, \quad (1)$$

$$- \sum_{i \in I(k)} r_i q_i |q_i| + \sum_{i \in I(k) \cap L} H_i(q_i, u_i) = 0, \quad k \in K, \quad (2)$$

где  $K$  — множество независимых контуров,  $L$  — множество ветвей, содержащих главные вентиляторные установки (ГВ) [1]. Управляемыми величинами служат: 1) сопротивления ветвей из множества  $R \subset J$ , содержащих регуляторы расхода воздуха (РРВ), и 2) управляемые параметры ГВ  $u_i, i \in L$ , подчиняющиеся соответственно ограничениям

$$0 < r_{j \min} \leq r_j \leq r_{j \max}, \quad j \in R, \quad u_{i \min} \leq u_i \leq u_{i \max}, \quad i \in L. \quad (3)$$

Целями регулирования ШВС являются: 1) обеспечение требуемого проветривания, при котором величины расхода воздуха в ветвях-потребителях ( $j \in P$ ) лежат в заданных пределах и заданы направления потоков воздуха в некоторых ветвях, потенциальных диагоналях ( $j \in D$ ), обеспечивающие отсутствие запрещенного последовательного проветривания, т. е. выполнение условий

$$0 \leq q_j, j \in D, \quad q_{i \min} \leq q_i \leq q_{i \max}, \quad i \in P, \quad (4)$$

и 2) минимум суммарной потребляемой ГВ мощности. В связи с этим рассматриваются две задачи определения значений величин  $r_j, j \in R, u_i, i \in L$ , подчиняющихся ограничениям (3). Первая задача — минимизировать максимальную невязку в ограничениях (4), вторая — минимизировать суммарную мощность

$$\sum_{i \in L} N_i(q_i, u_i) \rightarrow \min \quad (5)$$

при условии соблюдения условий (4) из следующего набора: 3) рабочие точки вентиляторов находятся в пределах заданных рабочих зон; 4) сопротивления РРВ находятся в допустимых пределах. Вторая задача — минимизация суммарной потребляемой мощности (5) при условии соблюдения ограничений (3), (4) — решается в том случае, если из решения первой задачи получены значения параметров регулирования и соответствующее им воздухораспределение, для которых выполнены все ограничения. Эти задачи решаются последовательно (вторая в том случае, если в результате решения первой суммарная невязка сведена к нулю) и имеют одинаковую структуру. Содержательно задача включает также выбор мест установки РРВ, для чего в работе [2] предложены и обоснованы инженерные решения, которые здесь не рассматриваются.

Предлагаемый метод решения задачи можно рассматривать как специфический вариант метода возможных направлений для задачи с ограничениями-неравенствами, считая сетевые уравнения лишь средством задания функций, описывающих ограничения, в виде неявных зависимостей от переменных управления. Более точно, однако, рассматривать этот метод как гибридный, сочетающий черты метода возможных направлений и метода проекции градиента. При таком представлении работа метода

идет в пространстве векторов, составленных из всех переменных управления и значений расхода воздуха в ветвях сети. Сетевые уравнения задают в этом пространстве поверхность  $S$ , причем точки любой касательной гиперплоскости задаются величинами, число которых равно количеству переменных управления (можно считать, что эти величины — приращения переменных управления относительно точки касания). В касательной гиперплоскости решается задача определения направления спуска по типу метода возможных направлений и делается шаг в направлении спуска. Затем делается шаг в данном направлении (градиентная фаза) и полученная точка гиперплоскости проецируется на поверхность  $S$  (фаза восстановления связей). Операция проектирования есть не что иное как расчет воздухораспределения на основе уравнений (1), (2) при заданных значениях параметров — переменных управления. Такая двухфазная схема повторяется на каждой итерации. Схема метода в общем виде изложена в статье [3]. Преимущество такого описания метода заключается в том, что могут быть рассмотрены варианты, когда операция проектирования выполняется приближенно, с контролируемой точностью, зависящей от близости к точке оптимума.

С помощью описанного метода были решены серии задач регулирования для различных моментов времени для ряда шахт Донбасса. Размерности задач: число вентиляторов 1, 2 и 4, число потребителей воздуха 16–30, число потенциальных диагоналей 1–2, число ветвей сети 390–470. При решении первой задачи удается уменьшить до нуля максимальную невязку порой при начальном ее значении 2–3 куб. м/сек. Число итераций при решении первой задачи составляет от 5 до 15, время выполнения одной итерации на на современных ПК составляет 0,05–0,2 секунды. При решении второй задачи обычно удается за 3–5 итераций уменьшить расчетную потребляемую мощность на 1–3%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Ф. А., Тяп Р. Б., Потемкин В. Я.* Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников. — М.: Недра, 1978.
2. *Ушаков В. К.* Математическое моделирование надежности и эффективности шахтных вентиляционных систем. М.: Изд-во МГГУ, 1999.
3. *Валуев А. М.* Гибридный декомпозиционный метод в задачах оптимизации с ограничениями общего вида. — В сб.: Модели и методы оптимизации. М.: ВНИИСИ, 1990.