

Разработка и опыт применения методики проектных расчетов вентиляции железорудных шахт на ЭВМ

Л.А. Лысов (Московский горный институт)

Выполнение проектных расчетов вентиляции требует соблюдения положений существующих норм и методики проектирования. Анализ программного обеспечения расчетных методов показал, что из всех задач с использованием ЭВМ может быть решена только задача проектного потокораспределения. Использование выбранной для расчетов программы потребовало разработки методики выполнения расчетов, соответствующей изменившейся постановке задачи.

Применительно к условиям железорудных шахт задача проектного потокораспределения сформулирована следующим образом: при заданных параметрах системы вентиляции определить возможность получения требуемого потокораспределения в сети или наиболее близкого к нему при использовании допустимых средств управления расходами воздуха.

В математической формулировке задача имеет вид:

$$\Phi = \sum \Delta q_i \rightarrow 0;$$

$$\Delta q_i^{(n)} = q_{pi}^{(n)} - q_{zi} \quad \text{для} \quad q_{pi}^{(n)} < q_{zi}, \quad i \in B,$$

где n - число узлов расчетной схемы сети; q_{zi} - заданные значения расходов в ветвях.

При ограничениях, отражающих первый и второй законы вентиляционных сетей,

$$\sum_{j=1}^m q_{pi} = 0, \quad i = 0, 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{k=1}^n (\tau_k + \Delta R_k) q_{pi} = H_k(q_k),$$

где m - число контуров расчетной схемы сети; τ_k , ΔR_k - аэродинамические сопротивления ветвей схемы регуляторов; $H_k(q_k)$ - суммарные аэродинамические характеристики вентиляторов в контурах; q_{pi} - расчетные значения расходов в ветвях.

Требуемое потокоопределение определяется заданием q_{zi} в некоторых ветвях расчетной схемы в соответствии с предполагаемым расположением потребителей свежего воздуха и может быть записано в виде: $q_{zi} = \text{const}$; $i \in B$; $B \in A$; где A, B, C - соответственно множества всех ветвей расчетной схемы, ветвей с заданным расходом воздуха и ветвей, допускающих установку регуляторов.

Расчетное потокораспределение отражает значение расходов в ветвях, соответствующие законам сетей и величинам аэродинамических параметров ее элементов. Для управления потокораспределением при проектировании предусматривается система регуляторов, характеризующаяся величинами ΔR_i и множеством ветвей $D \in C$, где они должны быть установлены.

Определение наиболее близкого к требуемому потокораспределения производится в процессе итерационного цикла вычислений. Первым выполняется расчет естественного потокораспределения ($\Delta R_i = 0$). Полученные расходы сравниваются с заданными и определяются ветви, удовлетворяющие $q_{pi}^e \geq q_{zi}$. По результатам сравнения задается установка выделенных ветвях и производится расчет задачи управления потокоопределением, по данным которого определяются соответствующие параметры системы регуляторов и новые значения расходов в ветвях сети. Итерационный цикл расчетов продолжается до достижения целевой функцией Φ ($\Phi < 0$) наибольшего значения, в пределе равного нулю, при котором в схеме отсутствуют ветви с $q_{pi}^e \geq q_{zi}$. Полученный в результате последней итерации вариант системы регуляторов $\Delta R_i^{(n)}$, $I \in D \in C$ обеспечивает наиболее близкое к требуемому потокоопределение.

При проведении расчетов выполняются соотношения $\Delta R_i^{(n-1)} < \Delta R_i^{(n)}$, $D^{(n-1)} \in D^{(n)} \in D$, благодаря чему итерационный процесс сходится к решению задачи.

Решение основывается на следующих положениях, указанных в нормативных документах: для управления потокораспределением применяются только регуляторы расхода воздуха отрицательного типа; значения сечений выработок принимаются минимально допустимыми по габаритам транспортных средств; приемлемым проектным вариантом потокораспределения является такой, при котором все потребители обеспечены необходимым расходом воздуха. Последнее положение проверяется по выполнению соотношения:

$$q_{pi}^e \geq q_{zi}; i \in B.$$

Невыполнение этого условия хотя бы для одной из ветвей с заданным расходом означает, что система вентиляции не может обеспечить требуемое потокораспределение. В этом случае необходимо внести изменения в проектный вариант системы и повторить весь цикл расчетов.

Выполнение условия означает, что система вентиляции обеспечивает требуемое потокораспределение и имеет возможность увеличить подачу воздуха в шахту. Величина резерва может быть оценена коэффициентом k , определяемым специальным расчетом из условия: $q_{pi}^e \geq k q_{zi}; i \in B$. При этом в одной или нескольких ветвях схемы должно соблюдаться соотношение: $q_{pi}^e = q_{zi}, i \in B, \Delta R_i^{(n)} = 0$. Коэффициент k указывает величину общего одинакового для всех потребителей увеличения заданного расхода, которое может быть достигнуто при полном использовании всех возможностей проекторной системы вентиляции по подаче воздуха в шахту и его перераспределению по выработкам с помощью регуляторов.

Для вычислений по выбранной программе потребовалась разработка специальных приемов подготовки исходной информации, обеспечивающих согласование требований инструкций по заполнению данных для ЭВМ с положениями существующей методики проектирования и условиями функционирования реальных вентиляционных систем.

Разработанные методики расчетов и дополнительная подпрограмма для ЭВМ «Минск-32» автоматизирующая весь процесс вычислений, апробированы и использованы при выполнении расчетов отдельных проектов рудников Кривбасса.

Опыт выполнения расчетов показал следующие положительные стороны разработанной методики и использованных программ. Расчеты выполняются с полным соблюдением требований, указанных в нормах технологического проектирования и других нормативных документах. Для проектного варианта системы определяются возможность получения необходимого потокораспределения (а при невозможности его достижения - наиболее близкого к нему); параметры систем регуляторов, обеспечивающие промежуточные и окончательно полученные потокораспределения; величина резерва системы по увеличению подачи воздуха и потребителям; соответствие характеристик выбранных вентиляторов параметрам вентиляционной сети, степень экономичности их рабочих режимов. Расчеты позволяют определить недостатки схемы вентиляции и возможные пути их устранения. В результате этого существенно повышается обоснованность и достоверность расчетов проектного потокораспределения. По результатам расчетов может приниматься решение об окончании разработки проекта системы вентиляции или необходимости его дальнейшего совершенствования. В целом разработанная методика расчетов потокораспределения, являясь достаточно простой, обеспечивает решение основных проектных вопросов, реализуется с использованием стандартных методов и программ при полной автоматизации основных вычислений на ЭВМ.

Вместе с тем, расчеты вскрыли недостатки разработанной методики и использованных программ, а также существующей методики проектирования. Повышение точности при расчетах на ЭВМ оказалось незначительным. Небольшое отличие потокораспределения, выполненного на ЭВМ, от рассчитанного обычными приемами, в основном лишь подтвердило возможность осуществления последнего, обосновав такой вывод определением параметров обеспечивающей его системы регуляторов. Однако данные о регуляторах на этапе проектирования не являются необходимыми, поскольку соответствуют лишь одному варианту потокораспределения из всех возможных, требующихся в процессе эксплуатации. Для этапа проектирования необходимо и достаточно проверки регулируемости потокораспределения в разрабатываемой системе вентиляции, т.е. возможное получения любого из требующихся в практических условиях потокораспределений. Соответственно небольшой разнице в результатах расчетов потокораспределения незначительно отличаются и остальные рассчитанные вентиляционные параметры - утечки воздуха в сети, потери депрессии на местные сопротивления, величины необходимых депрессий и расходов главных вентиляторов и др.

Подготовка данных к расчетам на ЭВМ требует больших затрат времени. По существующим нормативам все расчеты вентиляционных параметров для одного проекта, выполненные по применяемой методике проектирования, занимает в среднем около 230 человеко-часов, что меньше затрат времени на подготовку данных только к расчетам потокораспределения. Кроме этого, данные, отражающие топологию расчетной схемы сети, не допускают наличия ошибок, а их поиск и устранение представляет сложную задачу. Объем данных пропорционален числу ветвей в расчетной схеме, которое для железорудных шахт оказывается в среднем в 1,5-2 раза больше, чем для угольных.

Существующие программы не позволяют выполнять на ЭВМ все проектные расчеты вентиляции. Определение числа забоев различных типов и других потребителей свежего воздуха, значение необходимого расхода для каждого из них и в целом по шахте, а также ряд других расчетов выполняются заранее.

Известные программы не обеспечивают комплексного учета ряда важных условий функционирования вентиляционных систем современных железорудных шахт, к числу которых относится влияние большой глубины разработки, сказывающееся в значительном проявлении сжимаемости воздуха и воздействия метеорологических параметров рудничной атмосферы, изменения вентиляционных параметров и в процессе функционирования, сложной картины распределения утечек по сети и др. Поэтому для проектных расчетов вентиляции требуется разработка нового программного обеспечения, свободного от указанных недостатков, учитывающего, кроме отмеченных, также следующие важные стороны функционирования систем вентиляции: изменение схемы и параметров ее отдельных элементов в процессе развития; взаимосвязь проектируемой части системы с вентиляционной сетью действующего рудника или шахты; перемещение потребителей свежего воздуха по выработкам сети при движении фронта горных работ; изменение выделения вредных веществ в ходе технологического процесса и ряд других.

Разработка новых программ на основе существующей методики проектирования не может обеспечить их соответствия современным требованиям по следующим причинам. Применяемая методика расчетов шахтной вентиляции используется без значительных изменений в течение нескольких десятков лет, ориентирована на выполнение расчетов «вручную», без использования ЭВМ. Учет отмеченных факторов, значительно влияющих на функционирование вентиляции, производится в ней путем применения отдельных условных упрощений реальной картины функционирования системы или специальных приемов, благодаря этому, сложность и объем расчетов снижены до приемлемого уровня, но одновременно с этим значительно понизилась их обоснованность и достоверность.

В настоящее время появление мощных вычислительных средств вызывает несоответствие между существующей методикой проектирования, ориентированной на «ручные» расчеты, и возможностями ЭВМ. Поэтому на передний план выступает задача значительного совершенствования методов решения основных проектных задач в направлении повышения полноты и достоверности учета условий функционирования реальных систем.

На основе накопленного опыта выполнения расчетов сделан вывод о том, что применение разработанной методики целесообразно только в отдельных случаях, когда осуществляется проектирование весьма сложных систем, для которых расчеты по существующей методике могут привести к значительной неточности расчетов и недостоверности результатов.

Для существенного повышения качества проектирования вентиляции за счет использования ЭВМ необходимо значительное совершенствование методики выполнения проектных расчетов и разработка соответствующего ей программного обеспечения, отвечающего следующим основным требованиям: решение в комплексе всех основных проектных задач расчета вентиляционных параметров, обеспечение высокого уровня обоснованности и достоверности расчетов, адекватности используемой математической модели системы вентиляции, соответствия требованиям автоматизированного проектирования (минимизация объема подготовки исходных данных, простота использования, возможность работы в диалоговом режиме, решение новых задач и др.).