

УДК 622.4

Е.Л. Гришин, Б.П. Казаков, А.В. Зайцев

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТОПОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Разработана классификация типов подобия шахтных вентиляционных сетей и найдены формулы расчета эквивалентов для теплогазодинамических расчетов топологически сложных вентиляционных сетей.

Ключевые слова: воздухораспределение, оптимизация, численные методы расчета, нестационарность.

В настоящее время наличие такого мощного инструмента, как численные методы расчетов позволяет моделировать аэрологические процессы, проходящие в вентиляционных сетях любой сложности. В совокупности с общим набором имеющихся теоретических данных и физических моделей происходящих процессов численные методы позволяют решать следующие задачи рудничной аэрологии:

- расчет стационарного воздухораспределения;
- расчет нестационарного воздухораспределения;
- расчет газораспределения (газопереноса);
- расчет теплораспределения (теплопереноса).

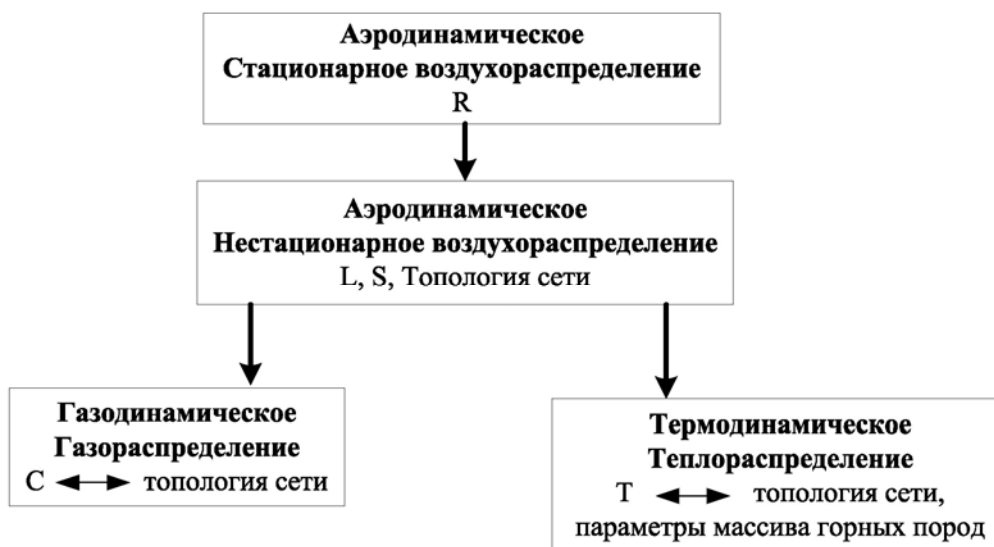
При этом, если расчет стационарного воздухораспределения широко применяется и является основным инструментом проектирования и управления вентиляционными сетями, то остальные задачи аэрологии являются более специфичными.

Расчет нестационарного воздухораспределения на настоящий момент времени находит применение при моделировании сложных быстропротекающих процессов в вентиляцион-

ной сети – таких как аварийные ситуации, связанные с реверсированием ГВУ или задействованием дополнительных источников тяги (к которым можно отнести и тепловые депрессии), а также при создании систем автоматического управления воздухораспределением в вентиляционных сетях.

Расчеты газораспределения и теплораспределения, конечно, имеют место при проектировании и управлении вентиляцией для шахт и рудников, для которых данные факторы имеют решающее значение. Но особый интерес и важное значение данные расчеты имеют в случае возникновения аварийной ситуации для спасения жизней горнорабочих.

Все указанные задачи нашли реализацию в виде Теплогазодинамического (ТГД) расчета в ПВК «АэроСеть». Процессы переноса рассчитываются на базе модели идеального вытеснения, исходными для которой являются данные стационарного воздухораспределения. При расчете стационарного воздухораспределения используется несколько методов расчета, среди которых выделяется по



Классификация типов подобия вентиляционных сетей

скорости счета и сходимости Метод контурных расчетов (МКР).

Тем не менее, расчет динамических процессов, происходящих в шахтной вентиляционной сети, данным методом производится итерационно по времени. Это вызывает необходимость многократно решать задачу стационарного воздухораспределения с заданным шагом по времени для сложной и разветвленной вентиляционной сети.

В настоящем даже при применении современной вычислительной техники процесс ТГД-расчета занимает значительное время, для особо сложных сетей составляющее десятки минут. В аварийной ситуации, когда расчеты теплогазопереноса могут помочь спасти людей, необходимо производить подобные расчеты за как можно малые промежутки времени. Кроме того, для производства ТГД-расчета количество вводимых исходных данных прямопропорционально количеству ветвей и узлов. Ввод больших объемов данных также не-

желателен в аварийной ситуации, тем более, что зачастую при расчете важен определенный участок вентиляционной сети, а не вся сеть в целом.

Для решения задачи ускорения расчетов в условиях аварийных ситуаций требуется производить выделение интересующих участков вентиляционной сети, топология которых должна быть представлена подробно, и замену малоинтересующих участков эквивалентами. Для этого требуется классифицировать вентиляционные сети по типам подобия и разработать формулы для расчета эквивалентов.

Классификация типов подобия представлена на рис. В классификации выделены следующие типы подобия: аэродинамическое, газодинамическое, термодинамическое. Аэродинамическое подобие в свою очередь подразделяется на подобие при стационарном воздухораспределении и подобие при нестационарном воздухораспределении. Кроме прочего, в классификации выделены уровни по-

добия, указывающие последовательность нахождения необходимого числа параметров ветви-эквивалента для соблюдения подобия того или иного типа.

Основным типом подобия для моделирования шахтных вентиляционных сетей является аэродинамическое подобие при стационарном воздухо-распределении, которое означает равенство аэродинамического сопротивления R эквивалента и реального участка вентиляционной сети. Очевидно что сопротивление эквивалента можно определить путем замера депрессии участка H и его расхода Q . Тогда аэродинамическое сопротивление эквивалента вычисляется:

$$R = \frac{H}{Q^2}. \quad (1)$$

Для расчетов динамических процессов в шахтных вентиляционных сетях требуется аэродинамическое подобие при нестационарном воздухо-распределении. Данное подобие требует нахождения длины L и площади сечения S выработки-эквивалента, а также напрямую зависит от топологии реального участка вентиляционной сети. Кроме указанных величин, данный тип подобия требует подобия аэродинамических сопротивлений ветви-эквивалента и реального участка вентиляционной сети, т.е. является более высоким уровнем подобия по отношению к аэродинамическому подобию при стационарном воздухо-распределении.

При последовательном соединении N ветвей, длиной L_i и сечением S_i длина L и сечение S эквивалента определяется уравнениями:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N L_i S_i}{\sum_{i=1}^N L_i}; \quad (2)$$

$$L = \sum_{i=1}^N L_i. \quad (3)$$

При параллельном соединении N ветвей, длиной L_i и сечением S_i длина L и сечение S ветви-эквивалента определяется решением следующей системы уравнений:

$$LS = \frac{\sum_{i=1}^N L_i S_i}{\sum_{i=1}^N L_i}; \quad (4)$$

$$\frac{S}{L} = \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{L_i}. \quad (5)$$

Решение можно представить в виде:

$$S = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N L_i S_i\right) \left(\sum_{i=1}^N \frac{S_i}{L_i}\right)}, \quad (6)$$

$$L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N L_i S_i}{\sum_{i=1}^N \frac{S_i}{L_i}}}. \quad (7)$$

При этом, как следует заметить, необходимо знать длины и площади сечения выработок в реальном участке вентиляционной сети.

Расчеты теплораспределения и теплопереноса в шахтных вентиляционных сетях сложной топологии требуют термодинамического подобия, что кроме подобия параметров нестационарного воздухо-распределения требует также подобия температурных полей реального участка вентиляци-

онной сети и ветви-эквивалента. В действительности, интерес представляет суммарное количество теплоты, которое будет получать (или отдавать) воздух массиву как при движении по реальному участку, так и при движении по расчетному эквиваленту. Применяя известный экспоненциальный закон падения (или возрастания) температуры воздуха по пути его движения:

$$T(x) = T_0 + (T_0 - T_m) e^{\frac{\alpha P x}{\rho Q c}}. \quad (8)$$

Для определения параметров эквивалента достаточно знать температуры в начале T_0 и конце T_L реального вентиляционного участка. Также необходимо знать температуру массива горных пород T_m . Тогда в выработке эквиваленте, в котором теплообмен осуществляется по закону (8), параметры должны быть подобраны так, чтобы конечные и начальные температуры совпадали с T_0 и T_L . Этому условию удовлетворяет уравнение для нахождения периметра и длины выработки эквивалента:

$$PL = -\frac{\rho c Q}{\alpha} \ln \left(\frac{T_L - T_0}{T_0 - T_m} \right). \quad (9)$$

Таким образом, у теплового эквивалента длина L и периметр P должны быть подобраны таким образом, чтобы их произведение было равно правой части выражения (9). Все переменные, входящие в его правую часть, могут быть непосредственно определены в ходе натуральных замеров.

Заметим, что T_0 и T_L , а также Q участка, должны быть получены в ходе проведения температурной и воздушной съемок.

Расчеты газораспределения и газопереноса в шахтных вентиляционных сетях в свою очередь основываются на термодинамическом подобии реального участка вентиляционной сети и выработки-эквивалента и требуют нахождения расчетных формул для нахождения параметров эквивалента для поля концентраций газовой примеси C в шахтной атмосфере на реальном участке вентиляционной сети.

В результате, разработанная классификация типов подобия вентиляционных сетей и найденные формулы для расчета параметров эквивалентов позволяют производить расчеты топологически сложных вентиляционных сетей в условиях аварийных ситуаций. **■**

Коротко об авторах

Казаков Б.П. – доктор технических наук, заведующий лабораторией аэрологии и теплофизики Пермского горного института Уральского отделения РАН, aero_kaz@mail.ru

Зайцев А.В. – младший научный сотрудник Пермского горного института Уральского отделения РАН, artzait@rambler.ru

Гришин Е.Л. – младший научный сотрудник Пермского горного института Уральского отделения РАН, traph@rambler.ru

