

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ШАХТНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН.

А.М Махмудов, С. А. Ахмедов,
И.Т. Хушбоков, М.М.Шукуров

Аннотация: Приведен обзор современного состояния в области моделирования и методов расчета аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях шахт и рудников. Особое вниманиеделена последним достижениям вычислительной гидродинамики (CFD-методы (computational fluid dynamics), в вопросах моделирования **процессов регулирования потоков воздуха на рабочих местах шахтных самоходных машин** с использованием CFD-методов, снижающие объем физических экспериментов и затраты на вычислительные работы, которая является актуальной научно-практической задачей вопроса вентиляции шахт.

Ключевые слова: вентиляция, модель турбулентность, режим вентиляции, вычислительная гидрогазодинамика, газодинамика, CFD моделирование, поток, регулирование потока, **закон сохранения массы, закон сохранения энергии, принцип минимума мощности**, контроль пыли, контроль газа.

Добыча полезных ископаемых - это динамический процесс, во время которого постоянно изменяется вентиляционная сеть шахты в связи с появлением новых выработок и связей между ними. Для решения проблем с перемещением механических компонентов и изменением формы выработки может быть использован метод динамической сетки [1,7]. При использовании этого метода вычислительная сетка не статична, а перестраивается при изменении расчетной области для симуляции динамического процесса. Метод динамической сетки в настоящее время имеет ограниченное применение в связи с существенными вычислительными и временными затратами.

В вопросах повышения эффективности эксплуатации шахтных самоходных машин в осложненных условиях рудничной вентиляции и при исследовании

таких процессов, как движение воздушных потоков, пыли, горючих и ядовитых газов, распространение ударных волн, развитие пожаров, а также при расчетах эффективности и устойчивости вентиляции широко применяются принципы вычислительной динамики жидкости и газа [2,3,9]..

Под допустимой глубиной регулирования понимают следующее: всякое регулирование количества воздуха в руднике означает его перераспределение между участками, но при таком перераспределении, усиление одной из струй неизбежно сопровождается большим или меньшим ослаблением параллельных струй.

Отношение первоначального количества воздуха в ослабляемой струе к предельно допустимому после регулирования называется коэффициентом допустимой глубины регулирования. Так, если по характеру работ можно допустить уменьшение количества воздуха в ослабляемой струе на 30%, то коэффициент допустимой глубины регулирования составит 1,3. Возможная глубина регулирования, то есть множитель, показывающий во сколько раз (или на сколько процентов) можно усилить вентиляционную струю, зависит от способа регулирования[4].

На шахтах и рудниках применяют следующие способы и средства регулирования количества воздуха: Способы регулирования, вызывающие увеличение аэродинамического сопротивления шахтной сети в целом или отдельных ее ветвей и уменьшение общего количества воздуха, поступающего в горные выработки, называется отрицательным. Положительными являются способы, связанные с увеличением общего количества воздуха, поступающего в горные выработки, за счет снижения аэродинамического сопротивления или работы дополнительных источников тяги.

При положительном способе облегчается работа вентилятора главного проветривания, при отрицательном эта работа становится труднее. Отрицательное регулирование количества воздуха осуществляют с

помощью устройств дверных проемов, пластинчатых поворотных регуляторов, вентиляционных окон, воздушных завес или комбинаций перечисленных способов [5,8].

Регулирование воздушными завесами является новым направлением и суть его заключается в том, что сбоку выработки устанавливают вертикальную трубу с продольной щелью. В эту трубу небольшим вентилятором подают воздух, который, выходя из щели, создает завесу. Эта завеса действует на воздушный поток, так же как и регуляторы, притормаживая струю [6].

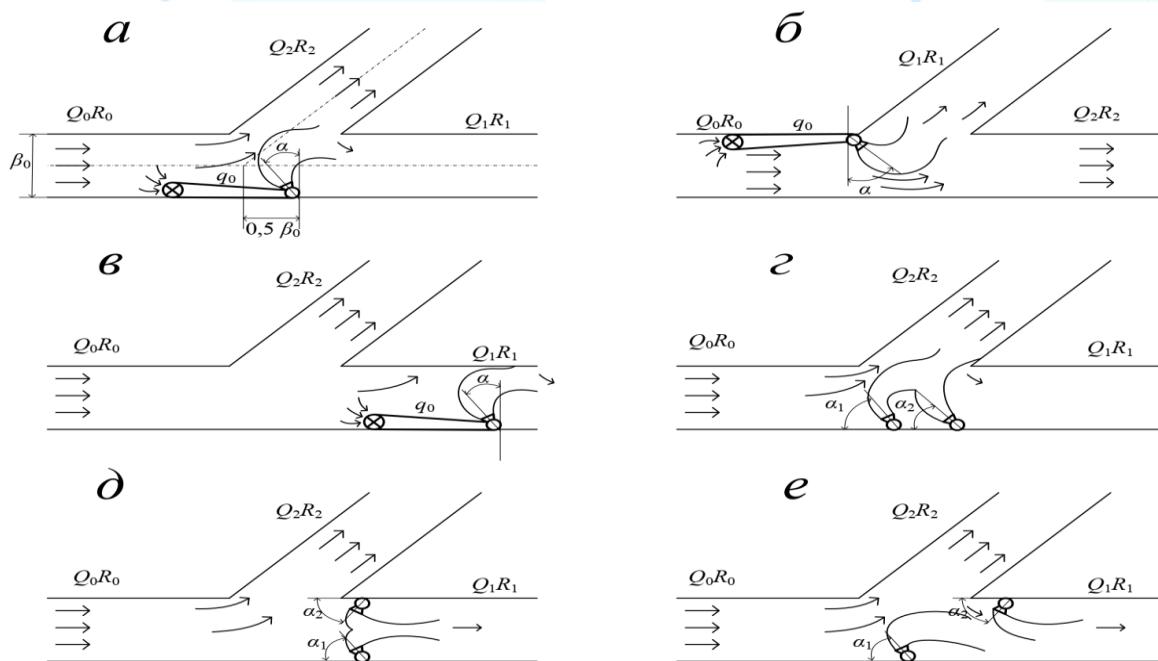


Рис.1. Схемы установки воздушных завес в выработках

В зависимости от конкретных условий завесы устанавливают на сопряжении параллельно соединенных выработок и непосредственно в той выработке, количество воздуха в которой необходимо сократить (рис. в). Завесы могут быть односторонними (рис. а, б, в, г) и двухсторонними (рис. д, е). Односторонние завесы могут быть установлены в виде одного распределяющего приспособления (рис. а, б, в), а также двух или нескольких, установленных последовательно (рис. г). Струя завесы может быть направлена навстречу (а, в, г, д, е) и попутно (рис. б) вентиляционному

потоку. Положительное регулирование достигается за счет уменьшения аэродинамического коэффициента сопротивления трения α или увеличения площади поперечного сечения выработки в усиливаемой среде. Кроме того, регулирование количества воздуха осуществляется с помощью вспомогательного вентилятора.

Для решения задач воздухораспределения используются три сетевых закона [5,6,7]:

1. Первый закон Кирхгоффа (закон сохранения массы). Расходы воздуха Q_i в ветвях v_i (рис. 2.а) должны удовлетворять условию неразрывности во всех узлах:

$$\sum_i Q_i = 0 \quad (i = 1,2, \dots n) \quad (1)$$

где n - число ветвей, инцидентных каждому узлу;

2. Второй закон Кирхгофа (закон сохранения энергии). Алгебраическая сумма депрессий P_j ветвей v_j любого замкнутого контура μ (рис. 2.б) равна 0, т.е.

$$\sum_j Q_j = 0 \quad (j = 1,2, \dots m) \quad (2)$$

где m - число ветвей замкнутого контура μ ;

3. Принцип минимума мощности. Расходы воздуха ветвей $v_k \in V$ с сопротивлением R_k , должны соответствовать минимуму затрат энергии на его перемещение:

$$\sum_k R_k \cdot Q_k^3 = \min \quad (k = 1,2, \dots V) \quad (3)$$

где V - множество всех ветвей в сети.

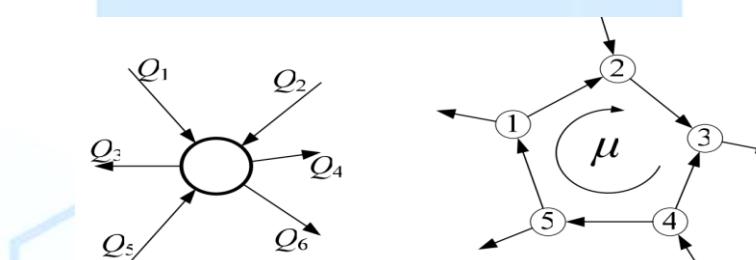


Рис. 2. Элементы вентиляционной сети. а - узел вентиляционной сети; б - контур вентиляционной сети

При моделировании процессов регулирование потоков турбулентных течений воздуха на рабочих местах шахтных самоходных машин **воздушными завесами**, по степени детальности разрешения турбулентных пульсаций и их энергетического спектра можно выделить четыре основных подхода: прямое численное моделирование (direct numerical simulation, или DNS), метод крупных вихрей (large eddy simulation, или LES), метод отсоединенных вихрей (detached eddy simulation, или DES) и метод, основанный на осреднении по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (Reynolds averaged Navier-Stokes, или RANS) [1].

Для увеличения количества воздуха применяют два способа установки вспомогательных вентиляторов – через перемычку или без перемычки. Вентилятор, работающий без перемычки (вентилятор-эжектор), создает скоростной напор, за счет которого увеличивается количество воздуха в усиливаемой струе. Так как скоростной напор невелик, то их используют при малом аэродинамическом сопротивлении выработок. Для повышения эффективности вентилятор снабжают конфузором и устанавливают в тех местах выработки, где сечение имеет сужение.

Из результатов исследований можно сделать следующие основные выводы:

CFD- моделирование применяется при рассмотрении движения воздушных потоков, пыли, горючих и ядовитых газов в тупиковых выработках, в выработанном пространстве шахт и рудников, при исследовании процессов самонагревания и самовозгорания угля, развития пожаров, в том числе эндогенных, а также при расчетах эффективности и устойчивости вентиляции при регулировании потоков;

для моделирования динамики пыли и твердых частиц в газовоздушной среде существует три основных подхода: однофазная многокомпонентная модель, двухфазная модель Эйлера-Эйлера и двухфазная модель Эйлера-Лагранжа;

CFD-модели хорошо подтверждаются экспериментальными данными при расчете коэффициентов местного сопротивления и установлена что, существующие методы определения коэффициентов местного сопротивления недооценивают их более чем на 50% при объединении двух потоков и на 20% при поворотах потока.

Список использованной литературы

1. Колесов Е. В., Накаряков Е. В. Выбор модели турбулентности при моделировании проветривания протяженных тупиковых очистных камер // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 3. — С. 82—89.
2. Каледина Н. О. Кобылкин С. С. О выборе способа проветривания тупиковых горных выработок газообильных угольных шахт // Горный журнал. — 2014. — № 12. — С. 99—103.
3. Павлов А. С. Об изменении аэродинамического сопротивления вентиляционной сети шахты при реверсировании воздушного потока // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 207—211.
4. Мальцев С. В., Казаков Б. П., Исаевич А. Г., Семин М. А. Исследование динамики процесса воздухообмена в системе тупиковых и сквозной выработок большого сечения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 2. — С. 46—57. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-46-57.
5. Аэродинамические режимы работы систем вентиляции подготовительных выработок / Качурин Н.М., Стась Г.В., Качурин А.Н., Стась В.П. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — №3. — С. 85—93.
6. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Стукалов В.А. Моделирование аэродинамических сопротивлений сопряжений горных выработок / Горный журнал. — 2009. — № 12. — с. 56—58.
7. A. Mahmudov, E. Musurmanov, A. Chorikulov, Sh.Tukhtaev, "Justification of

the development of the ventilation network and increasing the efficiency of ventilation equipment by controlling the movement of air flow," Proc. SPIE 12986, Third International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST-III 2023), 1298610 (19 January 2024); doi: 10.1117/12.3017914

8. Justus B. Deen. *Field verification of shaft resistance equations// Proceedings of 5th US Mine Ventilation Symposium, 1991. — Chapter 81. — P. 647—655.*

9. Hartman H. L. *Mine ventilation and air conditioning, John Wiley & Sons, New York. — 1982. — 718 p.*