Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 1, 1968 г.

УДК 622.45

РАСЧЕТ ПРОВЕТРИВАНИЯ КАМЕР В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «КАУЛА-КОТСЕЛЬВААРА»

Н. Л. Приписнов

Существующие работы по определению необходимого количества воздуха для разжижения и выноса вредных примесей в камерообразных выработках основываются на том, что движение воздуха, поступающего в камеру, происходит согласно законам свободной турбулентности. В зависимости от конфигурации камер в них образуются круглые или плоские свободные струи, действующие в ограниченном пространстве. Распределение вредных примесей в объеме камер и вынос их свободными струями происходит за счет перемещения их ядрами постоянных масс, в которых через каждое поперечное сечение расход сохраняет постоянную величину. Исходя из этого основного положения, приводятся формулы для расчета необходимого количества воздуха при периодических (взрывные работы) и непрерывных (бурение, скреперование) источниках образования вредных примесей. Большинство предложенных формул в том или ином виде уточняют границы применения известной формулы

$$Q = 2{,}3\,\frac{v_к}{Kt}\,\lg\frac{B}{B_0}, \qquad (1)$$

где Q — количество воздуха, *м³/мин*; $v_к$ — объем загазованной части камеры, *м³*; t — время проветривания, *мин*; B и B_0 — соответственно допустимая и начальная вентиляционные нагрузки; K — коэффициент турбулентной диффузии.

Предварительные расчеты и опытные данные показали, что количество воздуха, необходимое для проветривания камер, вычисленное по этой формуле, несколько завышено при использовании применяемых в настоящее время значений коэффициента K и количества вредных примесей, образованных после взрыва. В условиях рудника Каула-Котсельваара для изучения проветривания камерообразных выработок были проведены эксперименты по определению значений коэффициента турбулентной диффузии, зоны отброса вредных примесей и их количества. Эксперименты проводились в очистных камерах длиной по падению 70, шириной 10—12 и высотой 8—12 *м*. Угол падения лежачего бока камер 20—40°. Камеры проветривались сквозной струей. Воздух подавался по ходовым отделениям сечением 1,5 × × 1,5 *м*, а вредные примеси выносились через наклонные выработки сечением 3 × 1,5 *м*, пройденные по оси камеры. При этом воздухоподающая и воздухоотводящая выработки располагались примерно по центру камеры. Для исследования отбирались камеры объемом 1300—1500 и 2500—3000 *м³*. В камерах объемом 1500 *м³* были проведены опыты при поступлении воздуха 40, 60, 75, 100, 140, 170 *м³/мин*, при объеме 3000 *м³* — 60, 80, 100 *м³/мин*. В каждом опыте производился отбор проб воздуха для определения содержания в нем окиси углерода, окислов азота и пыли. Пункты отбора проб располагались по длине камер на расстоянии 5—10, 10—25, 25—40 *м* от места взрыва. Четвертый пункт располагался на исходящей струе камеры — в верхней части восстающего или при выходе из камеры на

вышележащий горизонт. В каждом опыте пункты отбора проб определялись в указанных пределах в зависимости от протяженности камеры. Пылевые пробы отбирались только в двух пунктах. Расстояние первого от места взрыва было равно половине длины камеры. Место набора проб располагалось в середине камеры. Второй пункт отбора пылевой пробы находился на исходящей струе камеры.

Учитывая, что концентрация примесей распределяется, как показали исследования, проведенные в ИГД АН им. А. А. Скочинского, практически равномерно по сечению камеры, газовые и пылевые пробы отбирались на высоте 1,5 *м* от почвы.

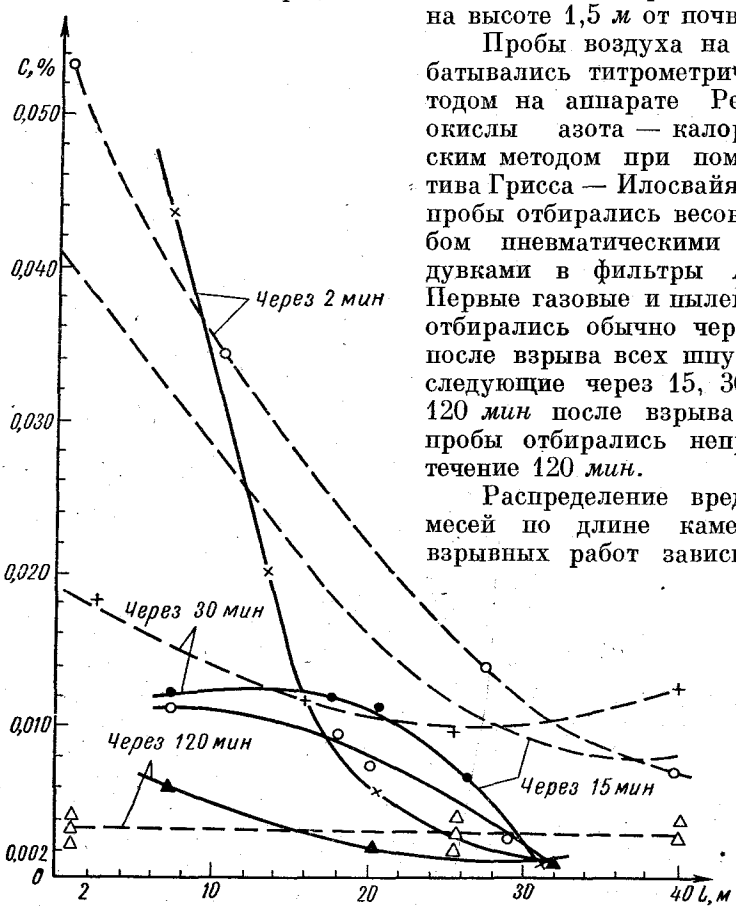


Рис. 1. Распределение окиси углерода по длине камеры при v = = 1500 *м*³, Q = 40 *м*³/*мин* (сплошная линия) и v = 3000 *м*³, Q = =60 *м*³/*мин* (пунктирная) через различные интервалы времени после взрыва.

Пробы воздуха на CO обрабатывались титрометрическим методом на аппарате Реберга, на окислы азота — калориметрическим методом при помощи реактива Грисса — Илосвайя. Пылевые пробы отбирались весовым способом пневматическими воздуходувками в фильтры АФА-В-18. Первые газовые и пылевые пробы отбирались обычно через 2 *мин* после взрыва всех шпуров, а последующие через 15, 30, 60, 90, 120 *мин* после взрыва; пылевые пробы отбирались непрерывно в течение 120 *мин*.

Распределение вредных примесей по длине камеры после взрывных работ зависит в первоначальный момент времени от интенсивности ударной волны, первоначального импульса, количества движения, сообщенного количеством взорванного ВВ. Поскольку распространение ударной волны происходит в камере, заполненной воздухом, то в результате оказываемого им сопротивления в определенное мгновение времени в различных точках камеры избыточное давление неодинаково и по мере удаления от места взрыва уменьшается. Следовательно, распределение вредных примесей по длине камеры после взрыва не будет равномерным. Из кривых распределения CO по длине камеры видно, что в первоначальный момент времени (через 2 *мин*) значения концентраций резко отличаются друг от друга (рис. 1).

Если в точке, отстоящей от места взрыва на расстоянии 10 *м*, концентрация CO равна 0,044%, то на расстоянии 20 *м* она в 7 раз меньше, а на расстоянии 30 *м* в 20 раз меньше. Расстояние, на которое отбрасываются вредные

примеси после взрыва, зависит от первоначального импульса количества движения, направления взрыва и наличия разного рода препятствий (последние ведут к образованию отраженных волн). Ввиду этого без специальных исследований указанных параметров взрывной волны дать аналитический расчет зоны отброса вредных примесей невозможно. Однако опытным путем установлено, что длина зоны отброса не превышает 50—60 *м*, практически после взрыва весь объем камеры заполняется вредными примесями. Так как в исследованных камерах нижний вход всегда находится на одной оси с верхним выходом, разжижение и вынос вредных примесей происходит последовательно во всех сечениях камеры. Количество захваченных вредных примесей зависит от характера потока в камере. Однако при любой структуре потока, учитывая, что содержание газов в атмосфере камеры далеко от состояния насыщения, количество воздуха, достаточное для разжижения и выноса вредных примесей для участка с наибольшим их содержанием, будет достаточным и для проветривания всей камеры. Согласно опытным данным, наибольшее содержание газов наблюдается в призабойной зоне или в зоне места взрыва на расстоянии 10—15 *м* от забоя. Следует считать, что это расстояние соответствует первой точке отбора проб. Расчет коэффициента выноса вредных примесей и всего количества воздуха следует вести для призабойного участка с расстоянием 10—15 *м* от места взрыва.

Распределение пылевых концентраций по камере после взрыва оказывается гораздо сложней, чем распределение газов. Если источником образования газов является разложение ВВ и ударная волна распределяет их по объему определенным образом, то основным источником запыления камеры являются ее стенки, где отложилась ранее образованная пыль. Ударная волна взвешивает пыль, количество которой при прочих равных условиях зависит от конфигурации камер, от различных выступов, неровностей, интенсивности ударной волны. Кроме того, взвешенная пыль при установившемся режиме проветривания строго соответствует профилю скоростей в камере. Поднятые взрывной волной пылинки частично оседают после ударной волны, частично выносятся вентиляционной струей.

Нами принимается, что если по истечении времени от конца взрыва до начала отбора пылевых проб проходит 5 *мин*, то вся крупная пыль должна осесть, а оставшаяся выносится так же, как и газы, в зависимости от структуры потока. Средняя концентрация пыли в камере по истечении 5 *мин* после взрыва определяется опытным путем отбором проб посередине камеры и составляет около 500 *мг/м*^{3}. Распределение вредных примесей во времени носит вполне определенный характер для CO, окислов азота и пыли, который воспроизводит некоторую показательную функцию вида $Y = a^x$ или один из частных случаев этой функции вида $Y = c^x$. Поскольку функция монотонно убывающая и непрерывная, то можно заключить, что вынос вредных примесей является процессом установившимся и для всех примесей одинаковым.

Исключением является снижение концентраций газов на расстоянии 25—50 *м* от места взрыва (рис. 2). На кривых рис. 2 явно выражены экстремальные точки, свидетельствующие об отбрасывании ударной волной только небольшой части газов. Значит, в первоначальный момент после взрыва концентрация изменяется во всем объеме и в самой удаленной точке от места взрыва по разным законам. В самой последней точке концентрация газа и пыли сначала увеличивается до некоторого стабильного значения, а затем уменьшается, следует тем же законам, что действуют во всей камере.

Для количественного определения выноса вредных примесей применен метод П. И. Мустеля.* За определенный отрезок времени t из камеры будет удалено вредных примесей

$$CQt = b, \qquad (2)$$

* Мустель П. И. Гидромоделирование процессов проветривания загазованных выработок. Зап. ЛГИ, т. L, вып. 1, 1965.

где C — концентрация вредных примесей на исходящей струе, для CO и окислов азота, %, для пыли *мг/м*³.

Так как отбор проб производился через 2, 15, 30, 60, 90, 120 *мин* после взрыва, то за это же время определялось количество вынесенных вредностей. За все 120 *мин* из камеры выносится вредностей

$$D = \sum C_i Q_i t_i. \qquad (3)$$

Средняя концентрация примесей в первоначальный момент времени определяется из формулы

$$C_{ср} = \frac{D}{v}, \qquad (4)$$

где v — объем проветриваемой камеры, *м*³.

Коэффициент количественного выноса вредных примесей за определенный отрезок времени находим из равенства

$$K_{м_i} = \frac{C}{C_{ср_i}}, \qquad (5)$$

где $C_{ср_i}$ — средняя концентрация примесей в объеме камеры, которая уменьшается на количество вынесенных примесей за те же отрезки времени, *мг/м*³.

Как правило, взрыв в сквозной камере производился около воздухо-выдающей выработки. Анализ значений $K_м$, подсчитанного для каждого

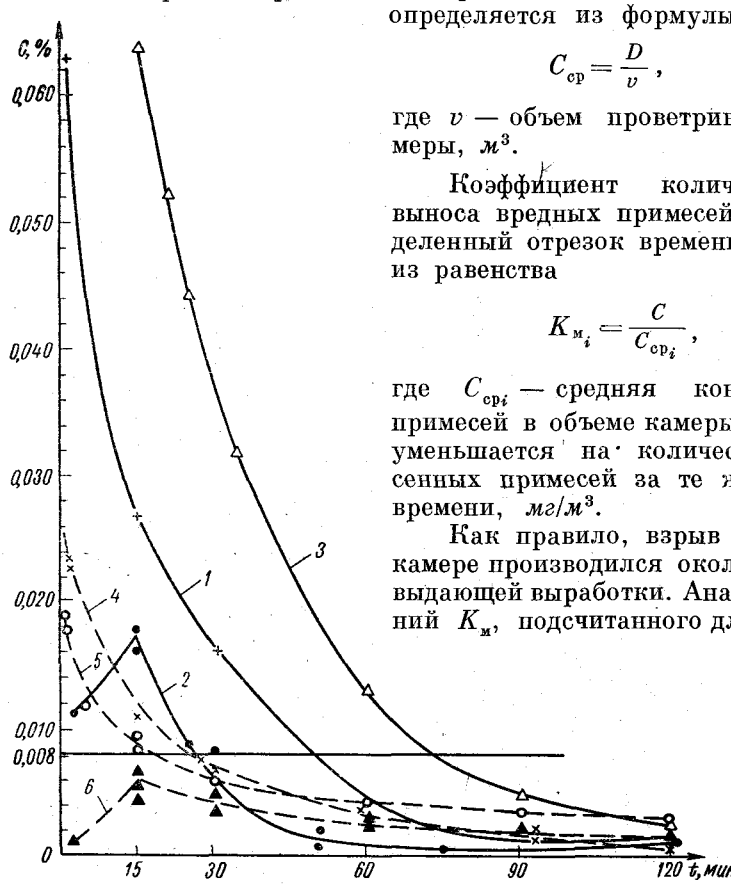


Рис. 2. Распределение окиси углерода в камере в зависимости от времени при v = 1300 *м*³, Q = 60 *м*³/*мин* (сплошная) и v = 3000 *м*³, Q = 100 *м*³/*мин* (пунктирная) на расстояниях от взорванного забоя: *1*, *4* = 10 *м*; *2* — 20 *м*; *3* — на выходе из камеры; *5* — 30 *м*; *6* — 40 *м*.

опытного взрыва, показывает, что на вынос примесей оказывает существенное влияние взрыв. В течение 30 *мин* после взрыва примеси выносятся особенно интенсивно. За это время восстанавливается структура потока в камере, выравнивается давление, и решающим фактором, определяющим процесс выноса, становится структура потока. Сразу же после взрыва $K_м$ принимает большие значения (1—5), затем по истечении 30—40 *мин* достигает минимума (0,4—0,9), после чего вновь увеличивается (до 3). Начальные и конечные значения $K_м$ приблизительно одинаковы.

Для практического решения вопроса проветривания изменение концентраций вредных примесей выражается коэффициентом турбулентной диффузии K. Численные значения коэффициента K принимаются в зависимости от характера свободной струи. Исследованиями установлено, что действие

свободной струи воздуха распространяется лишь в части камеры в пределах 1/3 ее длины. Проветривание остального объема происходит за счет действия турбулентных деформаций. Характер их мало известен, не известен и закон переноса вредных примесей. В нашем случае K определялся как отношение концентраций вредных примесей на исходящей струе к наибольшей концентрации в камере. K можно определить как коэффициент выноса вредных примесей, который учитывает не только процесс турбулентного перемешивания по отдельным сечениям, но и вынос их из камеры и зависит от структуры потока в камере.

Высокие значения полученного коэффициента K по сравнению с коэффициентом В. Н. Воронина и Ю. М. Первова подтверждают предположение о том, что в камере при данном объеме действует поток, не подчиняющийся законам свободных струй. Несоответствие можно объяснить незначительным сопротивлением камер рудника и перепадов давления. В этих условиях большое значение имеют токи свободной конвекции, образующиеся из-за разности температур вмещающих пород и поступающего воздуха. После взрыва температура воздуха повышается и за счет расширения газов интенсивность токов воздуха увеличивается, что приводит к выравниванию вредных примесей по отдельным сечениям. Поток воздуха последовательно обходит все сечения камеры и по мере продвижения к выходу из нее обогащается вредными примесями настолько, что концентрация их в исходящей струе становится выше концентрации в любом сечении камеры.

Значения K сгруппированы для CO, окислов азота и пыли, взят доверительный интервал: для газов $K = 2$, для пыли 1,6. Известно, что перенос примесей в турбулентном потоке воздуха обусловливается пульсационным полем скоростей и, в основном, его поперечными составляющими. Поскольку удельный вес пыли больше, чем газов, то последние выносятся быстрее. Проведенные эксперименты показали, что расчет необходимого количества воздуха для проветривания камер при объеме их до 1500 $м^3$ можно производить по формуле (1). При дальнейшем увеличении объема камер (3000 $м^3$ и более) расчет необходимо производить, принимая K, рассчитанный нами.

Для проветривания сквозных камер месторождений каменной соли длиной более 150—200 $м$ И. И. Медведев * рекомендует рассчитывать количество необходимого воздуха по формуле

$$Q = \frac{v}{mt} \ln \frac{C_0}{C}, \qquad (6)$$

где $m = 0{,}08 + 0{,}054 \ln \mathrm{Re}$ (Re — число Рейнольдса).

Приведенная формула справедлива для расчета количества воздуха камер такой длины, при которой после взрыва загазовывается лишь часть камеры, а остальная часть ее остается свободной от вредных примесей. В ней значение m значительно меньше K. При значительной протяженности камеры, где загазовывается только часть ее, очевидно, справедлива формула, рекомендованная И. И. Медведевым. Различные значения K и m указывают на необходимость подсчета количества воздуха по стадиям отработки камер.

---

* Медведев И. И. Теоретические основы и практика проветривания калийных рудников. Докт. диссертация, ЛГИ, 1966.