

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСАЧИВАНИЯ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ПЕРЕМЫЧКИ

М. А. Патрушев

Утечки воздуха в шахтах в последние годы стали предметом многочисленных исследований. Однако не все их виды еще достаточно изучены. Так, до сих пор почти не исследованы потери воздуха через целики и перемычки, разделяющие параллельные выработки, по которым проходят поступающая и исходящая струи.

Утечки воздуха в параллельных выработках могут достигать больших величин. На некоторых шахтах треста Несветайантрацит комбината Ростовуголь они составляли 15—30% от количества воздуха, поступающего в шахту, а удельный вес их во внутришахтных утечках достигал 40—60%.

С целью более точного учета утечек при проектировании вентиляции, борьбы с утечками при эксплуатации, а также при расчетах проветривания длинных парных выработок при проходке за счет общешахтной депрессии необходимо уметь правильно определять эти потери, чтобы обеспечить очистные и подготовительные забои достаточным количеством воздуха.

Режим движения воздуха при просачивании его через перемычки почти не изучен и единого мнения по этому вопросу нет. Очевидно, только при правильном представлении о режиме этого движения можно подойти к решению вопроса о размере потерь.

Проводившиеся ранее исследования о воздухопроницаемости перемычек сводились к определению в лабораторных условиях воздухопроницаемости материалов [1] и некоторых изолирующих устройств (набивных стенок, стенок из замесов, кладки и т. д.) [4]. Коэффициент воздухопроницаемости определялся по формуле Дарси-Грехэма

$$k = \frac{qb}{hSt}, \quad (1)$$

где q — количество воздуха, прошедшее за время t сквозь перегородку площадью S и толщиной b при разности давлений h по обе стороны перегородки.

Фильтрация воздуха через материалы перемычек происходит, как известно, через поры весьма малых поперечных сечений и принятие ламинарного режима в этом случае не вызывает сомнения.

В лабораторных условиях можно получить только ориентировочные данные о воздухопроницаемости перемычек, так как в них не моделируются такие факторы, как состояние боковых пород и целиков угля, окружающих перемычку, степень герметизации перемычки по периметру примыкания, качество кладки и др. Как известно, с течением времени уголь целиков в результате горного давления, действия воды и воздуха постепенно разрушается, становится более хрупким и трещиноватым. Под действием тех же факторов в боковых породах появляются трещины, отслоения кровли и т. д. Следовательно, для получения точных и надежных данных необходимы экспериментальные работы в шахтных условиях.

В 1955—1956 гг. на 55 шахтах 17 трестов Донбасса нами были проведены исследования режима просачивания воздуха через вентиляционные перемычки и определена их воздухопроницаемость.

Методика исследований

Количество просачивающегося воздуха через перемычку может быть подсчитано по формуле

$$q = \sqrt[n]{\frac{h}{R}}, \quad (2)$$

где h — разность давления по обе стороны перемычки;

R — сопротивление перемычки;

n — показатель степени, величина которого зависит от режима движения воздуха через перемычку, при ламинарном режиме $n = 1$, при турбулентном $n = 2$, при промежуточном $1 < n < 2$.

Определение показателя степени n , как известно, заключается в измерении значений q при различных h [5].

Исследовались только перемычки, находящиеся в хорошем состоянии. Изменение вентиляционного режима достигалось путем приоткрывания вентиляционных дверей, расположенных вблизи исследуемой перемычки, и короткого замыкания исходящей и поступающей струй (рис. 1) Разность давлений по обе стороны перемычки измерялась микроманометром типа ЦАГИ с наклонной шкалой.

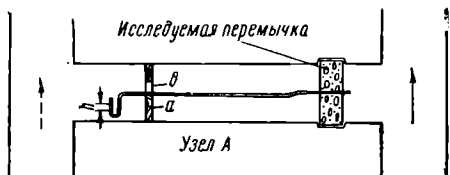
Просос воздуха через перемычку невелик и определить его по разнице количества воздуха ($Q_1 - Q_2$) до и после перемычки не представляется возможным, поэтому применялся способ непосредственного замера [3]. Для этого в просеке или на штреке, где возведена исследуемая перемычка, в нескольких метрах от нее сооружалась временная дощатая перемычка a с окном b (см. рис. 1), которая затем тщательно обмазывалась цементным раствором. Замер воздуха в окне производился чувствительным анемометром большого диаметра со слюдяными лопатками. Во избежание случайных ошибок все замеры при одном вентиляционном режиме повторялись 3—4 раза.

Размер окна был таким, что крыльчатка анемометра вращалась с достаточной скоростью. Поскольку сопротивление перемычки с окном ничтожно, по сравнению с исследуемой глухой перемычкой, никакого влияния окна на просос воздуха через последнюю не наблюдалось.

Обычно рассматривается вопрос о сопротивлении вентиляционных окон или местных сопротивлений типа диафрагм и выводятся формулы для их определения, исходя из турбулентного режима движения воздуха по выработкам. Потери воздуха через шлакобетонные, каменные и другие перемычки при хорошем их состоянии равны 0,05—0,10 м³/сек, а скорость движения воздуха по просекам и штрекам, соединяющим парал-

тельные выработки, не превышает 0,01—0,02 м/сек, т. е. устойчивого турбулентного движения воздуха нет, а следовательно, и нельзя воспользоваться полученными выводами.

Кроме того, опыты, проведенные В. Б. Комаровым [2] в трубе и штольне, закрепленных дверными окладами, показали, что расчетное сопротивление окна более или менее отвечает фактическому лишь при отношениях $\frac{s}{S}$ (площади сечения: s — окна; S — выработки), равных 0,20—0,25 (ошибка менее 5%). При $\frac{s}{S} < 0,20$ фактическое сопротивление



* Вентиляционные двери

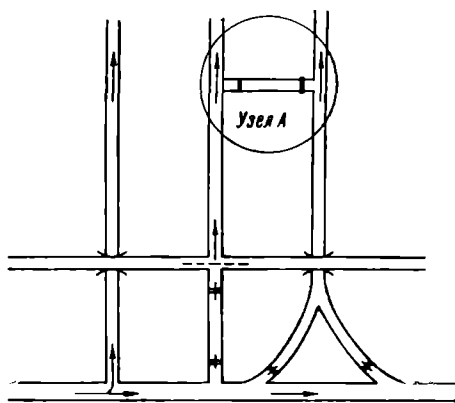


Рис. 1. Место расположения исследуемой перемычки в вентиляционной схеме участка (шахта «Западная-Капитальная»)

меньше расчетного, причем расхождение возрастает с уменьшением размеров окна и достигает 40—50% при $\frac{s}{S} = 0,11$. В наших опытах отношения $\frac{s}{S}$ достигали 0,006, т. е. расчетные сопротивления окна получались больше фактических в десятки раз.

Для выяснения влияния перемычки с окном на просачивание воздуха через исследуемую перемычку были проведены замеры просачивающегося воздуха q при разных размерах окон и, следовательно, разных отношениях $\frac{s}{S}$. В опытах с тремя разными типами перемычек размеры окон уменьшались от 0,3 до 0,028 м², а отношения $\frac{s}{S}$ изменялись от 0,12 до 0,003. Во всех случаях получены одинаковые результаты, отклонения наблюдались в пределах точности замеров. Величина показателя степени n определялась при нескольких состояниях перемычки, одновременно изучалось распределение утечек через нее.

После первой серии замеров q и h при первоначальном состоянии перемычки рабочими участка вентиляции производилась обмазка поверхности перемычки (второе состояние). Затем перемычка обмазывалась полностью, т. е. промазывались примыкание перемычки по периметру, трещины в целиках угля и боковых породах (третье состояние). Еще раз, но более тщательно, обмазывалась только поверхность перемычки (четвертое состояние). Обычно наносился ровный слой обмазки толщиной 1,5—2 см. Места просоча воздуха обнаруживались просачивающимся дымом — парами четыреххлористого титана, дающими стойкое и ясное видимое облачко. Они выпускались нажатием груши из небольшой стеклянной трубочки с ватой, пропитанной четыреххлористым титаном. По направлению движения облачка можно было обнаружить очень мелкие каналы и трещины, даже при депрессии 1—2 мм вод. ст.

В заключение самым тщательным образом промазывались примыкание перемычки по периметру, трещины в боковых породах и целиках угля (пятое состояние). После каждой обмазки перемычки глиной или цементным раствором проводились серии замеров количества воздуха q

при переменном h . В некоторых случаях замеры повторялись через несколько дней, что давало возможность судить о влиянии фактора времени на воздухопроницаемость перемычек. С этой целью замеры производились через 2 и 6 месяцев.

Таким образом, данная методика проведения исследований просачивания воздуха через перемычки давала возможность установить: 1) режим движения воздуха через перемычки при различных их состояниях; 2) основные места просоча воздуха через перемычки; 3) снижение утечек через перемычки при их обмазке с той тщательностью, как это делается на шахтах; 4) максимальное снижение утечек воздуха через перемычки при самой тщательной их обмазке; 5) влияние фактора времени на воздухопроницаемость перемычек.

Режим движения воздуха через перемычки

Исследования режима движения воздуха проведены на 22 перемычках различных типов. Всего произведено 124 отдельных опыта по определению показателя степени n .

На рис. 2 и 3 представлены результаты исследований режима движения воздуха через шлакобетонную и чураковую перемычки. Экспериментальные точки удовлетворительно ложатся на прямые линии. Величина показателя степени n , равная тангенсу угла наклона прямой, определялась способом минимальной средней ошибки [6].

Как видно из табл. 1, просачивание воздуха через перемычки при их первоначальном состоянии подчиняется квадратичному закону. Показатель степени n равен или очень близок к 2, исключением является шлакобетонная перемычка на шахте им. С. М. Кирова. Первая обмазка только поверхности перемычки почти не изменяет режима движения воздуха. После первой полной обмазки просачивание воздуха через перемычки происходит уже по промежуточному закону, но довольно близкому к квадратичному ($n = 1,55—1,85$), особенно при трещиноватых боковых породах ($n = 1,69—1,90$). Через несколько дней после первой полной обмазки режим движения воздуха приближался к турбулентному ($n = 1,75—1,92$), особенно при обмазке перемычек глиной и при трещиноватых боковых породах ($n = 1,74—2,00$), а через два месяца был турбулентным и при монолитных боковых породах.

Весьма тщательная полная обмазка снижала величину показателя степени n до 1,21—1,77, в среднем до 1,5, при монолитных боковых породах и до 1,51—1,74, в среднем до 1,65, при трещиноватых. Спустя два месяца после тщательной обмазки значение n значительно увеличилось, а через 6 месяцев просачивание воздуха через перемычки подчинилось уже квадратичному закону.

Таким образом, даже при весьма тщательной обмазке не удалось получить обычно принимаемого при расчетах ламинарного режима движения воздуха через перемычки. Просачивание воздуха происходит не только через поры в материале перемычек, но, главным образом, через неплотности примыкания перемычек по периметру и каналы небольшого диаметра в стенках перемычек (швах кладки, между чураками в глине и т. д.), а также трещины в целиках угля и боковых породах. Образование таких каналов, щелей, трещин и других неплотностей происходит непрерывно в результате высыхания и уплотнения кладок на глине, уменьшения прочности угля у краев целика, образования трещин в боковых породах под влиянием горного давления и процессов выветривания. Особенно быстро нарушается контакт между перемычкой и целиками

Показатель степени л пр

Трест, шахта	Тип перемычки	Первоначальное состояние	Первая обмазка			
			только поверхности		полная	
			глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором
При монолитных						
Трест Несветай- антрацит Шахта им. С. М. Кирова	Шлакобетонная	1,97	1,88	—	1,62	—
То же . . .	"	1,46	—	—	—	—
Шахта № 7	"	2,00	—	2,01	—	1,70
Шахта № 5	Каменная	1,92	—	1,93	—	1,64
Трест Шахт- антрацит Шахта „Нежданная“	"	1,88	—	1,85	—	1,59
Трест Краснолучуголь Шахта № 12-бис	"	2,00	2,02	—	1,81	—
Трест Чистяков- антрацит Шахта № 21	Шлакоблоковая	2,01	—	2,00	—	1,78
Трест Несветай- антрацит Шахта „Западная-Капи- тальная“	Чураковая	1,98	—	2,00	—	1,66
То же . . .	"	2,00	—	2,01	—	1,55
Шахта № 7	"	1,97	1,86	—	1,70	—
Трест Шахт- антрацит Шахта им. 20-летия РККА	"	1,99	2,00	—	1,87	—
Шахта „Нежданная“	"	2,00	—	2,01	—	1,64
Трест Красно- армейскуголь Шахта им. Г. Димитрова	"	1,91	—	1,96	—	1,58
Трест Советск- уголь Шахта № 13-бис	"	1,96	2,00	—	1,80	—
То же . . .	"	2,00	—	2,00	—	1,62
Трест Красно- армейскуголь Шахта № 3-бис	"	1,90	—	1,89	—	1,66
Трест Богуряев- уголь Шахта № 5 „Пастуховка“	Насыпная	1,99	2,00	—	1,85	—
При трещиноватых						
Трест Несветай- антрацит Шахта „Западная-Капи- тальная“	Бугобетонная	2,01	—	2,00	—	1,90
Шахта № 5 . . .	Каменная	2,00	—	1,98	—	1,69
Трест Ворошилов- уголь Шахта № 7 ШУ, № 5-бис	Шлакоблоковая	1,99	1,95	—	1,86	—
Трест Несветай- антрацит Шахта „Западная-Капи- тальная“	Чураковая	1,98	—	1,99	—	1,76
Трест Шахт- антрацит Шахта „Нежданная“	То же	2,0	2,01	—	1,75	—

Примечание. Данные четырех последних столбцов получены через 6 месяцев

Спустя несколько дней после полной первой обмазки		Вторая обмазка				Спустя несколько месяцев после обмазки			
		только поверхности		полная		первой полной		второй полной	
глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором

боковых породах

1,79	—	1,76	—	1,43	—	—	—	1,99	—
—	—	—	1,44	—	1,21	—	—	—	1,58
—	1,75	—	1,76	—	1,52	—	—	—	1,93
—	—	—	1,64	—	1,50	—	—	—	2,01
—	—	—	—	—	—	—	2,00	—	—
—	1,92	—	—	—	1,72	—	—	—	—
—	—	—	—	1,59	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	2,00*	—	—
—	1,78	—	—	—	—	—	1,99	—	—
—	1,70	—	1,73	—	1,37	—	—	—	1,87*, 1,99
1,74	—	—	—	—	—	2,00*	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2,00	—	—	—
2,00	—	—	—	1,70	—	—	—	—	—
—	1,76	—	1,77	—	1,48	—	—	—	2,00
—	—	—	—	—	1,52	—	—	—	—
1,97	—	2,00	—	1,62	—	—	—	—	—
—	1,70	—	1,70	—	1,42	—	—	—	—
—	—	—	—	—	1,44	—	—	—	—
2,01	—	—	—	1,75	—	—	—	—	—

боковых породах

—	1,97	—	—	—	1,65	—	—	—	1,98
—	1,74	—	—	—	1,51	—	—	—	1,92
1,94	—	1,95	—	1,74	—	—	—	—	—
—	1,84	—	—	—	1,58	—	—	—	2,00
—	—	—	—	1,67	—	—	—	—	1,99

а отмеченные * — через 2 месяца.

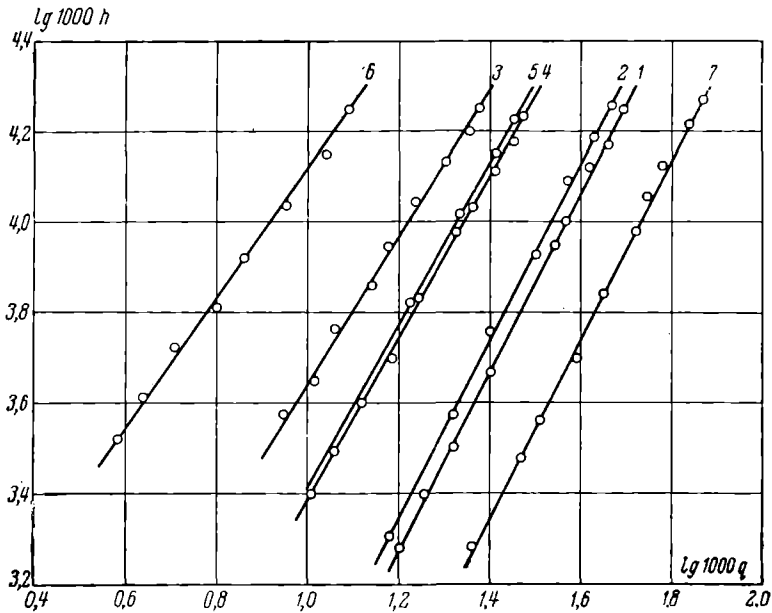


Рис. 2. Режим движения воздуха через одну шлакобетонную перемычку (шахта им. С. М. Кирова):

1 — первоначальное состояние, $n = 1,97$; 2 — после первой обмазки только поверхности перемычки, $n = 1,95$; 3 — после первой полной обмазки, $n = 1,62$; 4 — спустя 7 дней, $n = 1,79$; 5 — после второй обмазки поверхности, $n = 1,78$; 6 — после второй полной обмазки, $n = 1,43$; 7 — спустя 6 месяцев, $n = 1,99$

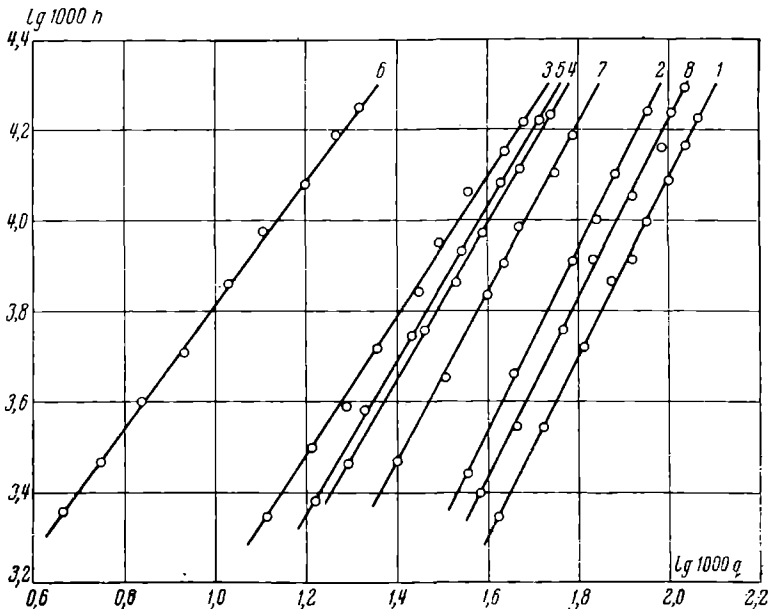


Рис. 3. Режим движения воздуха через одну чураковую перемычку (шахта «Западная-Капитальная»):

1 — первоначальное состояние, $n = 2,00$; 2 — после обмазки только поверхности перемычки, $n = 2,01$; 3 — после первой полной обмазки, $n = 1,55$; 4 — спустя 9 дней, $n = 1,73$; 5 — после второй обмазки поверхности, $n = 1,70$; 6 — после второй полной обмазки, $n = 1,37$; 7 — спустя 2 месяца, $n = 1,87$; 8 — спустя 6 месяцев, $n = 1,99$

угля и боковыми породами. Так как исследованию подвергались только лучшие по состоянию перемишки, при расчетах следует во всех случаях принимать квадратичный закон движения воздуха через них.

Воздухопроницаемость вентиляционных перемишек

Для выяснения характера распределения утечек воздуха через перемишку, количества просачивающегося воздуха, полученные при различных ее состояниях, для удобства сравнения приводились к депрессии $h = 25$ мм вод. ст.

$$q_{25} = q_i \sqrt{\frac{25}{h_i}}, \quad (3)$$

где q_i — количество воздуха, просачивающееся через перемишку при данном ее состоянии и депрессии h_i по замерам.

Об изменении воздухопроницаемости можно судить по уменьшению или увеличению количества воздуха, просачивающегося через перемишку, по сравнению с количеством воздуха $q_{25\text{пр}}$ (предыдущее состояние), отнесенным к $q_{25\text{пер}}$ (потери при первоначальном состоянии перемишки) и выраженным в процентах,

$$p' = \frac{q_{25\text{пр}} - q_{25\text{д}}}{q_{25\text{пер}}}, \quad (4)$$

где $q_{25\text{д}}$ — количество воздуха, просачивающееся через перемишку при данном ее состоянии.

Как видно из приведенной ниже табл. 2, потери воздуха только через стенку перемишки составляют незначительную часть всех потерь через перемишку как вентиляционное сооружение. Так, потери через шлако- и бутобетонные, каменные и шлакоблоковые перемишки составляют в среднем 10%, через чураковые и насыпные 20%, а при трещиноватых боковых породах для всех типов перемишек в среднем 8%. Остальная и при том основная часть потерь приходится на неплотности по периметру примыкания перемишек, трещины и щели в целиках угля и боковых породах.

При обмазке перемишек с той тщательностью, как это делается на шахтах, потери снижаются в среднем на 40%. Весьма тщательной обмазкой удавалось довести это снижение до 70—85%.

Увеличение воздухопроницаемости перемишек происходит довольно быстро в первые дни после обмазки, особенно при обмазке глиной и при трещиноватых боковых породах. За 6—10 дней увеличение составляет в среднем 12%, тогда как при обмазке цементным раствором и при монолитных боковых породах 4—5%. Через два месяца после первой обмазки глиной воздухопроницаемость чураковых перемишек увеличивается до первоначальной, а через 6 месяцев увеличивается в 1,5 раза. После весьма тщательной обмазки цементным раствором воздухопроницаемость перемишек увеличивается до первоначальной в течение 6—8 месяцев при монолитных боковых породах и 4—5 месяцев при трещиноватых.

Обмазка перемишек глиной малоэффективна. Чтобы потери воздуха через перемишки не превышали определенной величины, необходима частая обмазка не реже одного раза в 2 месяца. Цементным раствором достаточно обмазывать один раз в 5—6 месяцев. Особенно следует обращать внимание на промазку неплотностей по периметру перемишки, трещин в целиках угля и боковых породах.

О качестве перемишки как вентиляционного сооружения можно судить по величине ее сопротивления (или эквивалентного отверстия), по

Изменение количества просачивающегося воздуха

Шахта	Тип перемычки	Первая обмазка			
		только поверхности		полная	
		глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором
При монолитных					
Им. С. М. Кирова	Шлакобетонная	+7,35	—	+42,85	—
То же .		—	+4,02	—	—
№ 7		—	+8,00	—	+36,50
№ 5 .	Каменная		+14,00		+41,00
„Нежданная“			+4,18	—	+52,80
№ 12-бис		+15,10	—	+33,00	—
№ 21 им. С. М. Буденного	Шлакоблоковая	—	+13,70		+31,30
„Западная-Капитальная“	Чураковая		+18,95	—	+33,80
То же .			+24,10		+32,10
№ 7		+17,60	—	+39,30	—
Им. 20-летия РККА		+16,80	—	+45,70	—
„Нежданная“			+18,15		+47,25
Им. Г. Димитрова			+11,30		+51,10
№ 13-бис		+19,10	—	+30,40	—
То же .			+14,20	—	+31,20
№ 3—5-бис			+10,00		+45,70
№ 5 „Пастуховка“	Насыпная	+13,70	—	+35,60	—
При трещиноватых					
„Западная-Капитальная“	Бутобетонная		+5,15	—	+36,55
№ 5 .	Каменная		+6,00		+35,20
№ 7 ШУ, № 5-бис	Шлакоблоковая	+9,20	—	+33,90	
„Западная-Капитальная“	Чураковая		+8,80		+45,80
„Нежданная“	То же	+4,60	—	+38,40	

Примечание. Данные четырех последних колонок получены при замерах через знак „+“ означает уменьшение, знак „—“ увеличение потерь воздуха через перемычку.

в зависимости от состояния перемычек

Спустя несколько дней после полной первой обмазки		Вторая обмазка				Спустя несколько месяцев после обмазки			
		только поверхности		полная		первой полной		второй полной	
		глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором	глиной	цементным раствором

боковых породах

-12,62	—	+1,90	—	+27,80	—	—	—	-118,00	—
—	—	—	—	—	+45,00	—	—	—	-65,70*
—	-2,80	—	+5,04	—	+18,40	—	—	—	-42,90*
—	—	—	+2,28	—	+19,20	—	—	—	-71,00*
—	—	—	—	—	—	—	-86,45	—	—
-12,20	—	—	—	+32,00	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	+21,30	—	—	—	—
—	-6,96	—	—	—	—	—	-38,70*	—	—
—	-4,15	—	+1,32	—	+28,70	—	-27,85	—	-36,70*
-12,15	—	—	—	—	—	-52,10*	—	—	-31,05
-13,30	—	—	—	+31,60	—	-45,30	—	—	—
—	-2,90	—	+1,55	—	+21,55	—	—	—	-71,50*
—	—	—	—	—	+25,80	—	—	—	—
-10,00	—	+4,50	—	+24,50	—	—	—	—	—
—	-4,85	—	+1,90	—	+39,20	—	—	—	—
—	—	—	—	—	+26,90	—	—	—	—
-10,80	—	—	—	+35,10	—	—	—	—	—

боковых породах

—	-10,60	—	—	—	+35,90	—	—	—	-71,00*
—	-8,50	—	+0,60	—	+36,40	—	—	—	-78,20*
-14,50	—	+3,70	—	+41,30	—	—	—	—	—
—	-7,80	—	—	—	+22,70	—	—	—	-86,60*
—	—	—	—	+28,20	—	—	—	-89,40	—

6 месяцев, за исключением отмеченных *, которые получены через 2 месяца.

воздухопроницаемости, по величине утечек в абсолютном и процентном выражении.

Сопrotивление зависит от свойств материала, т. е. типа перемычки, тщательности ее выполнения, состояния целиков угля и боковых пород. Кроме того, при прочих равных условиях сопротивление перемычки зависит от ее размеров, поэтому для характеристики перемычки по сопротивлению необходимо знать эту зависимость.

Воздухопроницаемость перемычки характеризуется коэффициентом воздухопроницаемости. Как отмечалось выше, основное количество воздуха (80—90%) просачивается через неплотности по периметру примыкания перемычек к целикам угля и боковым породам. Эти потери наиболее трудно устранимы. Следовательно, количество воздуха, просачивающегося через перемычку, можно в первом приближении, считать прямо пропорциональным ее периметру P . Коэффициентом воздухопроницаемости перемычки K , в от-

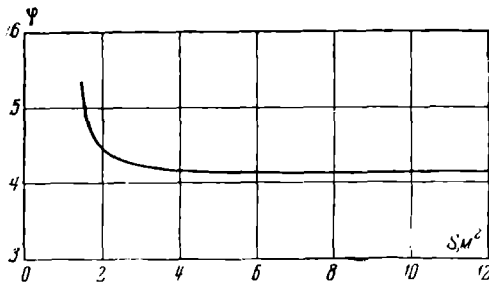


Рис. 4. Зависимость коэффициента φ от площади перемычки

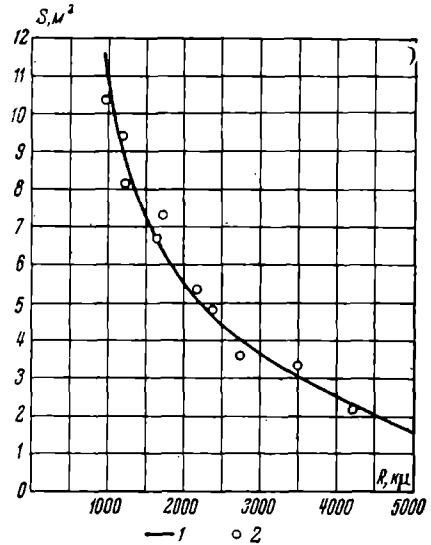


Рис. 5. Зависимость сопротивления от площади перемычки:
1 — теоретическая кривая; 2 — экспериментальные точки

личие от k Дарси-Грехэма, назовем количество воздуха (q , $\text{м}^3/\text{сек}$), просачивающегося через 1 пог. м периметра этой перемычки толщиной 1 м при депрессии 1 мм.

Пусть через перемычку периметром P и толщиной b при депрессии h просачивается количество воздуха q . Тогда при квадратичном законе просачивания

$$K = \frac{q \sqrt{b}}{P \sqrt{h}}, \frac{\text{м}^{3,5}}{\text{сек} \cdot \text{кг}^{0,5}}. \quad (5)$$

При расчетах удобнее иметь дело не с периметром, а площадью перемычек. Кроме того, на практике могут встретиться случаи, когда известными величинами являются только площади перемычек и отсутствуют данные о их периметрах. Величина периметра зависит не только от площади перемычки, но и от формы и соотношения ее сторон. Перемычки, установленные на штреках или просеках, сечением более 4 м^2 в большинстве случаев имеют трапециевидную или близкую к ней форму. Для таких сечений обычно принимают [4].

$$P = 4,16 \sqrt{S}.$$

В общем виде зависимость $P = f(S)$ имеет вид

$$P = \varphi \sqrt{S}. \quad (6)$$

На основании производственных замеров площадей и периметров около 1000 перемычек на 55 шахтах Донбасса получены следующие значения φ (см. также рис. 4):

$S, м^2$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	и больше
φ	5,2	4,43	4,31	4,24	4,2	4,16	

Наибольшие отклонения φ от среднего значения наблюдаются в основном при малых площадях (1,5—3,0 $м^2$), в целом же для тех соотношений размеров сторон перемычек, которые встречаются в практике, отклонения от среднего значения φ лежат в пределах точности вентиляционных расчетов.

Подставляя значение P из формулы (6) в выражение (5), получим

$$K = \frac{q}{\varphi} \sqrt{\frac{b}{hS}} \quad (7)$$

или

$$q = \varphi K \sqrt{\frac{hS}{b}}, \quad (8)$$

т. е. потери воздуха через перемычку прямо пропорциональны корню квадратному из ее площади и депрессии.

Сопротивление перемычки

$$R = \frac{h}{q^2}.$$

Подставляя вместо q его значение из выражения (8), имеем

$$R = \frac{b}{\varphi^2 K^2 S}. \quad (9)$$

Для обследования чураковых перемычек при монолитных боковых породах получены следующие значения R и K :

$S, м^2$	7,30	8,10	6,70	2,20	10,35	5,30	9,40	3,30	4,80
$R, км$	1730	1230	1640	4240	970	2170	1190	3480	2330
$K \cdot 10^5$	215	241	230	237	240	226	228	252	228

Формуле (9) отвечает кривая, построенная на рис. 5 (при $K \cdot 10^5 = 230$), из которой видно, что экспериментальные точки удовлетворительно ложатся на теоретическую кривую. Это подтверждает принятое положение о прямой пропорциональности утечек воздуха периметру перемычки.

Коэффициент воздухопроницаемости учитывает все факторы, влияющие на воздухопроницаемость перемычек, и является таким образом объективным критерием их качества.

Площади перемычек на шахтах колеблются от 2 до 10 $м^2$ и более, в среднем равны 5 $м^2$, поэтому для суждения о качестве перемычек по сопротивлению и количеству просачивающегося воздуха необходимо привести потери через перемычки с различными площадями к потерям через перемычки с определенной «стандартной» площадью, например, 5 $м^2$.

Приведенные потери определяются выражением

$$q' = \psi q, \quad (10)$$

где q' — количество воздуха, просачивающееся через перемычки площадью 5 м^2 ;

q — то же, с заданной площадью;

ψ — коэффициент приведения к „стандартной“ площади перемычки.

Значения ψ определяются подстановкой в формулу (10) значения q из выражения (8)

$$\psi = \frac{q'}{q} = \frac{\varphi K \sqrt{5hb}}{\varphi_i K \sqrt{S_i hb}};$$

$$\psi = \frac{9,3}{\varphi_i \sqrt{S_i}} = \frac{9,3}{P}. \quad (11)$$

Тогда

$$q_i = \frac{9,3}{\varphi_i \sqrt{S_i}} q = \frac{9,3}{P} q. \quad (12)$$

Когда известной величиной является периметр перемычки, значения ψ определяются по формуле (11); если известна только площадь — по графику рис. 6.

Заменяя в формуле (9) φ его значением из выражения (11), получим

$$R = \frac{b\psi^2}{86,5K^2}. \quad (13)$$

Приведенное сопротивление перемычки

$$R_{\text{пр}} = \frac{h}{q'^2} = \frac{h}{(\psi q)^2}. \quad (14)$$

Характеристики перемычек по приведенному сопротивлению и приведенному количеству просачивающегося воздуха при определенной депрессии будут являться такими же объективными критериями качества перемычек, как и коэффициент воздухопроницаемости.

Характеристика качества перемычек по количеству просачивающегося воздуха, выраженному в процентах, от проходящего мимо перемычки воздуха Q , т. е.

$$p_{\text{пр}} = \frac{q'}{Q} 100\%$$

или

$$p_{\text{пр}} = \frac{\psi q}{Q} 100\% \quad (15)$$

будет менее точной, чем характеристика по уже рассмотренным выше показателям. С увеличением Q возрастает депрессия и, следовательно, возрастают потери через перемычку в абсолютных цифрах, но их процентное выражение остается постоянным при условии, что сопротивление сети (крыла, участка и т. д.) не изменилось. Поскольку сопротивление вентиляционных сетей не только различно на разных шахтах, но не остается постоянным даже на одной шахте, то характеристика перемычек по проценту потерь будет несколько условной; однако она является наиболее удобной для практического пользования.

Подставляя в формулу (8) значение \sqrt{S} из формулы (12), получим

$$q = K \frac{9,3}{\psi} \sqrt{\frac{h}{b}} \quad (16)$$

Решая выражения (14) и (15) относительно q , получим соответственно

$$q = \frac{1}{\psi} \sqrt{\frac{h}{R_{\text{пр}}}}; \quad (17)$$

$$q = \frac{0,01}{\psi} p_{\text{пр}} Q. \quad (18)$$

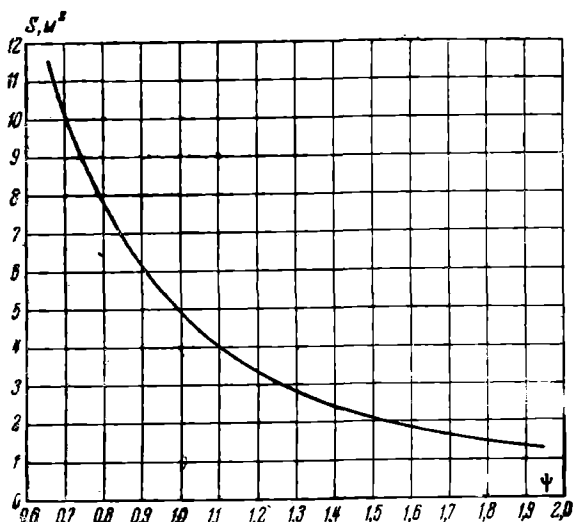


Рис. 6. Зависимость коэффициента ψ от площади перемычки

Наконец, совместным решением выражений (3) и (10) получим еще одну формулу для подсчета

$$q = \frac{q'_{25}}{\psi} \sqrt{\frac{h}{25}} \quad (19)$$

Показатели, характеризующие разные типы перемычек в зависимости от состояния боковых пород, приведены в табл. 3.

Таблица 3
Средние значения показателей, характеризующих каждый тип перемычек

Тип перемычки	K10°		R _{пр}		q'₂₅		p _{пр}
	при состоянии боковых пород						
	МОНОЛИТ-НОМ	ТРЕЩИНО-ВАТОМ	МОНОЛИТ-НОМ	ТРЕЩИНО-ВАТОМ	МОНОЛИТ-НОМ	ТРЕЩИНО-ВАТОМ	МОНОЛИТ-НОМ
Шлако-и бутобетонная	90	165	6100	1700	0,065	0,12	0,60
Каменная .	160	280	4600	1500	0,075	0,13	0,70
Шлакоблоковая	120	215	3000	1000	0,090	0,155	0,80
Чураковая	260	430	1700	600	0,120	0,200	1,00
Насыпная	280	—	1400	—	0,130	—	1,20

По данным табл. 3 можно подсчитать количество воздуха q , которое будет просачиваться через перемышку хорошего качества при любых значениях S и h по формулам (16) — (19)

Пример. Определить потери воздуха через каменную перемышку, при ее толщине $b = 1$ м; площади $S = 6,8$ м²; разности давления по обе стороны перемышки $h = 45$ мм вод. ст.; количестве воздуха, проходящем по выработкам мимо перемышки, $Q = 14$ м³/сек. Боковые породы монолитные.

По графику (см. рис. 6) находим значение коэффициента ψ , соответствующее $S = 6,8$ м², $\psi = 0,857$.

Показатели, характеризующие качество каменных перемычек при монолитных боковых породах (см. табл. 3): $K = 0,00160$; $R_{np} = 4600$; $q'_{25} = 0,075$; $p_{np} = 0,70$.

По формулам (16) — (19) соответственно получим

$$q = K \frac{9,30}{\psi} \sqrt{\frac{h}{b}} = 0,00160 \frac{9,30}{0,857} \sqrt{\frac{45}{1,0}} = 0,1163 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$q = \frac{1}{\psi} \sqrt{\frac{h}{R_{np}}} = \frac{1}{0,857} \sqrt{\frac{45}{4600}} = 0,1153 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$q = \frac{0,01}{\psi} p_{np} Q = \frac{0,01}{0,857} 0,70 14,0 = 0,1143 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$q = \frac{q'_{25}}{\psi} \sqrt{\frac{h}{25}} = \frac{0,075}{0,857} \sqrt{\frac{45}{25}} = 0,1172 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Таким образом, величина потерь воздуха, подсчитанная по всем четырем формулам, почти одинакова. Средние значения показателей дают возможность сделать некоторые выводы о качестве применяющихся на шахтах Донбасса перемычек.

Как видно из табл. 3, наименьшей воздухопроницаемостью, а следовательно, и лучшим качеством по сравнению с остальными, обладают шлако- и бутобетонные перемышки, затем каменные, шлакоблоковые, чураковые и насыпные. Это объясняется главным образом тем, что при заливке в опалубку цементного раствора наиболее плотное соединение с заполнением получается у боковых пород и целиков с краями шлако- и бутобетонных перемычек. Шлакоблоковые перемышки пропускают больше воздуха, имеют более слабый контакт по периметру, так как пространство между блоками и целиками угля и породами не заливается цементным раствором, а обмазываются только края блоков. Наличие швов также снижает качество перемычек.

Каменные перемышки занимают промежуточное положение. Хотя толщина их в 2,5 раза больше шлакобетонных и шлакоблоковых, но вводятся они на глине или реже на тощем цементном растворе. При высыхании глины резко возрастает воздухопроницаемость перемычек.

Чураковые перемышки требуют частой, периодической обмазки. Так как расклинка перемычек на шахтах не производится, то при отсутствии горного давления при усадке под кровлей образуются щели до 3—6 см шириной. Значительно меньше пропускают воздуха перемышки, обмазанные цементным раствором.

Наиболее низкое качество имеют насыпные перемышки. При оседании заполнителя образуются пустоты не только под кровлей, но и по бокам перемычки, в таких местах изолятором является только слой обмазки.

Выводы

1. Просачивание воздуха через перемычки в их первоначальном состоянии подчиняется в основном квадратичному закону. После обмазки перемычек с той тщательностью, как это производится на шахтах, движение воздуха через них подчиняется промежуточному закону, близкому к квадратичному ($n = 1,6—1,9$), однако вскоре снова становится квадратичным, особенно при обмазке глиной. Весьма тщательной второй обмазкой, которая на шахте не производится, удавалось снизить величину показателя степени n в среднем до 1,5.

2. Основные потери (80—90%) происходят через неплотности по периметру перемычек при монолитных боковых породах. При этом потери воздуха прямо пропорциональны периметру перемычек.

3. При трещиноватых боковых породах потери через перемычки, при прочих равных условиях, увеличиваются в среднем в 1,75 раза.

4. Наименьшую воздухопроницаемость имеют шлако- и бутобетонные перемычки, затем каменные, шлакоблоковые, чураковые и наибольшую — насыпные.

5. Обмазка перемычек глиной недостаточно эффективна. Основное внимание необходимо обращать на обмазку неплотностей по периметру примыкания перемычек и трещин в окружающих боковых породах и целиках угля. Чтобы потери воздуха через перемычки не превосходили определенной величины, необходимо регулярно не реже одного раза в 2 месяца обмазывать их глиной или один раз в 6 месяцев цементным раствором.

6. Расчет утечек через отдельные перемычки можно производить по формулам (16) — (19).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов П. И. и Ольвовский М. Л. Воздухопроницаемость материалов противопожарных перемычек. «Горный журнал», 1937, № 3.
 2. Комаров В. Б., Борисов Д. Ф. Рудничная вентиляция. ГОНТИ, 1938.
 3. Комаров В. Б., Мустель П. И. Установление норм утечек воздуха на шахтах Донбасса. Рукопись. Фонды ЛГИ, 1955.
 4. Маевская В. М., Шановская С. С. Способы изоляции целиков угля. Бюлл. МакНИИ, 1946, № 14.
 5. Скочинский А. А., Комаров В. Б. Рудничная вентиляция. Углетехиздат, 1951.
 6. Цукерман М. Л. Эмпирические формулы. Энергоиздат, 1951.
-