

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.27.003

УДК 622.454

© О.С. Токарев, В.Б. Попов, А.С. Голик, Ли Хи Ун, А.С. Ярош, 2018

**О.С. ТОКАРЕВ**

начальник департамента  
угольной промышленности  
Кемеровской области  
АКО, г. Кемерово  
e-mail: Tokarev-OS@ako.ru



**В.Б. ПОПОВ**

д-р техн. наук, проф., академик МАНЭБ  
научный консультант  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: 1860PWB@mail.ru



**А.С. ГОЛИК**

д-р техн. наук, проф., академик МАНЭБ  
научный консультант  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: goliksomaneb@rambler.ru



**ЛИ ХИ УН**

д-р техн. наук, проф.,  
ученый секретарь  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: leeanatoly@mail.ru



**А.С. ЯРОШ**

канд. техн. наук,  
генеральный директор  
ОАО «НИИГД», г. Кемерово



## СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ НАПОРОВ В СИСТЕМЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

*В статье обоснована необходимость разработки и внедрения на современных угольных шахтах способов оперативного управления распределением количества воздуха и аэродинамических напоров в сети горных выработок. На современном этапе в связи с внедрением горнодобывающей техники нового технического уровня производительность очистных и подготовительных забоев возросла в десятки раз. Интенсивность ведения горных работ сопровождается постоянно изменяющейся топологией шахтных вентиляционных сетей, что требует своевременного принятия соответствующих мер по обеспечению надлежащего проветривания подземных производственных объектов в условиях происходящей дестабилизации воздушных потоков.*

*Решение указанной задачи возможно на основе применения способов положительного и отрицательного регулирования вентиляционных струй в сети горных выработок. На сегодня практическая реализация положительного способа регулирования воздушных потоков невозможна, так как действующей нормативной документацией использование подземных вентиляторов на опасных по метану угольных шахтах, которых подавляющее большинство, ограничено только проветриванием проходческих забоев. Включение их в общешахтные вентиляционные системы запрещено.*

*С учетом сложившегося положения авторами предложен способ отрицательного регулирования распределения количества воздуха и аэродинамических напоров в шахтных вентиляционных сетях с помощью вентиляционных окон и дана методика расчета мест их расстановки в горных выработках.*

**Ключевые слова:** ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЕТЬ, АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР, ВОЗДУШНЫЙ ПОТОК, ВЕНТИЛЯТОР, ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОКНО, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, КОЛИЧЕСТВО ВОЗДУХА, АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ.

### Введение

В настоящее время основным направлением технической политики в угольной промышленности является отказ от экстенсивного пути развития. В дальнейшем задача по увеличению объемов угледобычи будет решаться, главным образом, за счет реконструкции действующих предприятий и их технического перевооружения, концентрации и интенсификации горных работ, что сопровождается повышенной динамикой конструктивных изменений топологии вентиляционных сетей шахт. Это обуславливает необходимость осуществления систематического контроля состояния проветривания

подземных производственных объектов и своевременного вмешательства по поддержанию между ними требуемого воздухораспределения. Учитывая, что эффективность вентиляции шахт является наиболее важным фактором в проблеме обеспечения безопасности труда горнорабочих, при любых конструктивных изменениях шахтных систем следует оперативно принимать соответствующие меры по недопущению сбоя в воздухообеспечении горных работ. Решается данный вопрос либо за счет имеющегося резерва по производительности и напору подключенных на шахтную сеть вентиляторных установок, либо путем перераспределения количества воздуха и вентиляционного давления между объектами проветривания.

## Способы регулирования вентиляционных струй в сети горных выработок

Перевод вентилятора на режим работы с более высокими показателями связан с его длительной остановкой и выполнением трудоемких технических операций по замене двигателя или развороту лопаток рабочего колеса. Вследствие этого не исключена вероятность возникновения перерывов в проветривании шахт и загазования горных выработок.

Поэтому на практике, как правило, для установления надлежащих вентиляционных режимов используют второе направление — перераспределение количества воздуха и вентиляционного давления между объектами проветривания. Это возможно осуществлять на основе применения положительного или отрицательного способов регулирования. В настоящее время практическая реализация положительного способа регулирования воздушных потоков, базирующегося на использовании вентиляторов, невозможна, так как действующими нормативами их применение в угольных шахтах, опасных по метану, доля которых достигает почти 100 % от общего количества, ограничено только проветриванием проходческих забоев. Включение подземных вентиляторов в общешахтные вентиляционные системы запрещено. Однако считаем, что этот вопрос остается открытым, требует проведения целевых исследований и отдельного рассмотрения.

Сущность отрицательного способа регулирования заключается в установке в легкопроветриваемых ветвях шахтных сетей вентиляционных окон. При этом сопротивление окна определяет количество проходящего воздуха, а место установки влияет на распределение вентиляционного давления в ветви. Это даёт возможность управлять вентиляционным давлением путём установки данных сооружений одновременно в начале и в конце регулируемой ветви, что имеет большое значение для решения вопроса минимизации утечек (притечек) воздуха при отработке по-

жароопасных пластов. Суммарное аэродинамическое сопротивление этих окон обеспечивает поступление требуемого количества воздуха, а соотношение их сопротивлений — необходимое вентиляционное давление внутри ветви.

Расчет требуемого распределения количества воздуха по ветвям сети в настоящее время какой-либо сложности не вызывает. Имеются соответствующее программное обеспечение и проверенные практикой методики расчета параметров всех видов вентиляционных сооружений.

Между тем вопрос управления аэродинамическими напорами в сетях горных выработок требует специального рассмотрения. Следует отметить, что требуемые значения вентиляционного давления одновременно в нескольких различных ветвях при заданном распределении количества воздуха могут быть обеспечены с помощью вентиляционных окон в том случае, если в одной ветви находится не более одной точки, в которой необходимо обеспечить требуемое вентиляционное давление, и никакая ветвь с заданным давлением не проветривается последовательно с другой подобной ветвью. По этой причине регламентировать вентиляционное давление необходимо, в первую очередь, в тех точках действующих горных выработок, которые оказывают прямое влияние на величину утечек (притечек) воздуха в зоне ведения очистных работ на самовозгорающихся пластах угля.

Величина аэродинамического сопротивления вентиляционных окон может быть определена расчётным путём. Для этого схему вентиляции шахты необходимо условно разорвать в точках, в которых задано требуемое вентиляционное давление, и полученные части вентиляционной сети рассчитать сначала независимо друг от друга. В точках разрыва при расчёте принимаются постоянные давления, равные по величине заданным. В ветвях с нерегламентированным давлением, которые было необходимо разорвать, чтобы разделить вентиляционную сеть, принимаются постоянные расходы.

Расчёт выполняется по следующему алгоритму.

Первоначально рассчитывается распределение воздуха в той части вентиляционной сети, которая расположена со стороны входящей струи. Расчёт выполняется по общеизвестным методикам с использованием существующих программ расчета воздухораспределения.

В результате расчёта определяются аэродинамические сопротивления вентиляционных окон, которые следует установить на входящей стороне ветвей с заданным вентиляционным давлением. Определяется фактическое распределение воздуха во входящей части вентиляционной сети.

После этого выполняется расчёт той части вентиляционной сети, которая расположена со стороны исходящей струи. В этом расчёте по известным теперь расходам и заданным давлениям определяются аэродинамические сопротивления вентиляционных окон, расположенных на исходящей стороне ветвей, а также режимы работы всасывающих вентиляторов.

На заключительном этапе расчёта отдельные части вентиляционной сети вновь объединяются в общую схему, что даёт возможность определить аэродинамические сопротивления шлюзов в тех ветвях, где были приняты постоянные расходы воздуха.

Последовательность выполнения расчёта можно продемонстрировать на примере вентиляционной сети, схема которой изображена на рис. 1

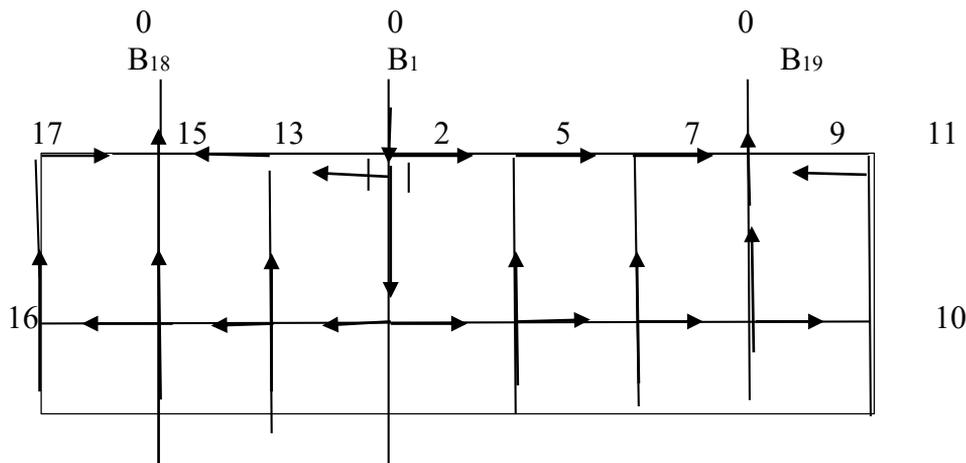


Рис. 1. Схема вентиляционной сети

В данном случае поставлена задача в узлах 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 или в непосредственной близости от них в ветвях 4-5, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17 обеспечить близкое к нулю вентиляционное давление. В общем случае могут быть заданы любые значения давлений, в том числе не равные друг другу в различных ветвях. Методика выполнения расчёта при этом не изменяется.

Схема вентиляции разрывается в точках, для которых задано требуемое давление, и вся вентиляционная сеть условно разделяется на части, изображенные на рис. 2 и рис. 3. В разорванных ветвях 2-5 и 2-13, вентиляционное давление в которых не задано, принимаются постоянные расходы воздуха, например, по допустимой скорости его движения.

При расчёте входящей части сети (рис. 2) по известным аэродинамическим сопротивлениям всех ветвей и заданным значениям вентиляционного давления в конце ветвей 4-5, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17 подбирают вентилятор 0-1 так, чтобы по этим ветвям поступало не менее расчётного количества воздуха.

Для ограничения поступления излишнего количества воздуха в легкопроветриваемые ветви могут, но не обязательно, использоваться вентиляционные окна, устанавливаемые на входящей стороне вышеперечисленных ветвей.

Расчёт исходящей части вентиляционной сети (рис. 3) заключается в том, чтобы при заданных давлениях в конце ветвей 4-5, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17, по известным

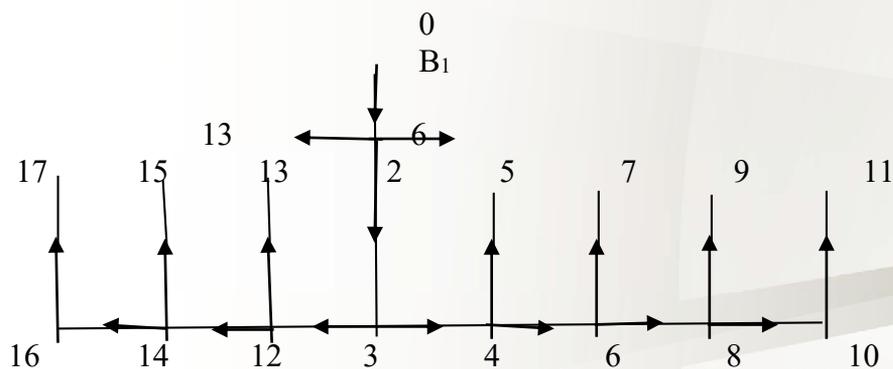


Рис. 2. Входящая часть вентиляционной сети

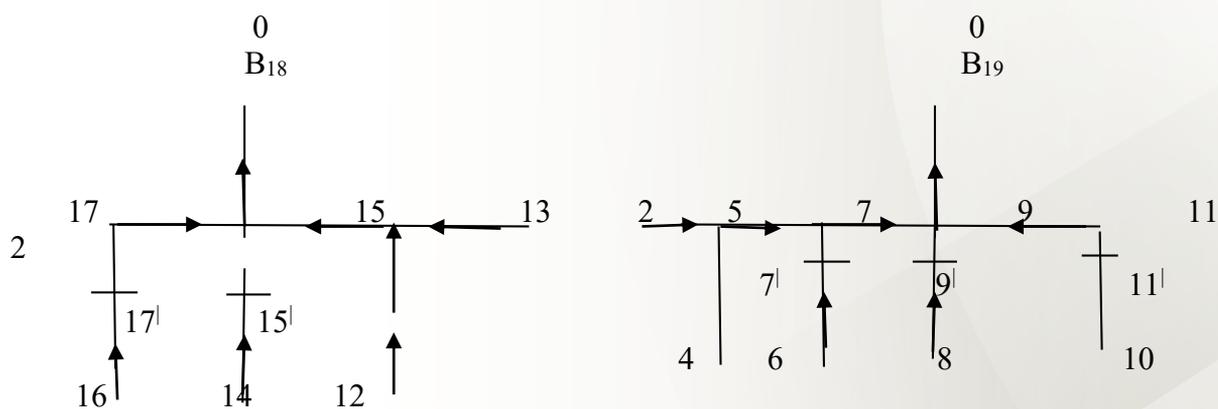


Рис. 3. Исходящая часть вентиляционной сети

аэродинамическим сопротивлениям ветвей и по расходам воздуха, определенным в результате расчёта входящей части сети, подобрать всасывающие вентиляторы 18-0 и аэродинамические сопротивления окон в конце ветвей с заданным давлением воздуха.

После объединения входящей и исходящей частей в общую схему (рис. 4) определя-

ется перепад давлений в ветвях 2-5 и 2-13 по известным теперь давлениям в узлах 2, 5, 13, что даёт возможность рассчитать аэродинамические сопротивления шлюпов, установленных в этих ветвях.

Результаты расчёта приведены в табл. 1, из которой видно, что в ветвях 4-5 и 12-13 достаточно установить вентиляционные окна

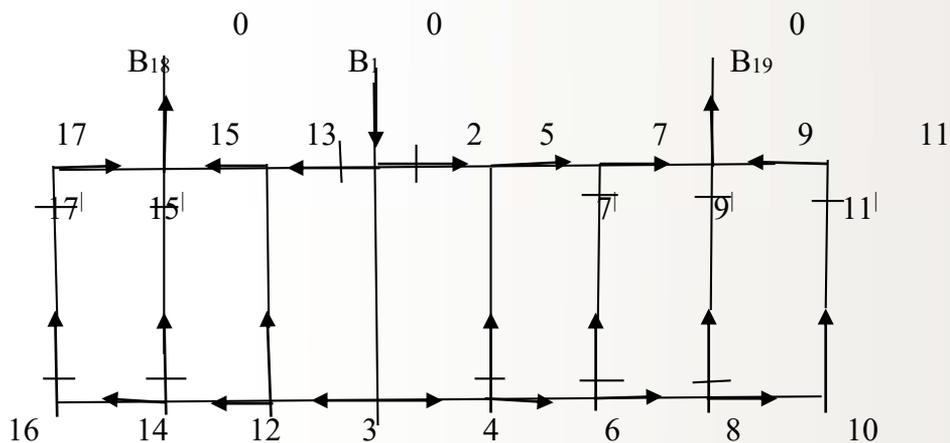


Рис. 4. Расстановка вентиляционных окон

только на входящей стороне, в ветви 10-11 — только на исходящей стороне, а в ветвях 6-7, 8-9, 14-15 и 16-17 необходима установка вентиляционных окон одновременно и на входящей, и на исходящей сторонах.

При этих условиях в ветви 4-5, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-17 поступает расчётное количество воздуха, а в узлах 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 устанавливается заданное нулевое вентиляционное давление (табл. 2).

Таблица 1

Распределение количества воздуха

Ветвь	Аэродинамическое сопротивление, $R \cdot 10^{-1}$ , кг/м <sup>7</sup>			Количество воздуха, м <sup>3</sup> /с		Перепад давления, деПа			
	окна на входящей стороне	ветви	окна на исходящей стороне	требуемое	полученное	окна на входящей стороне	ветви	окна на исходящей стороне	сумма
0-1	Нагнетательный вентилятор				80				226,5
1-2		0,005			80		32		32
2-5		7,78		5	5		194,5		194,5
2-13		7,78		5	5		194,5		194,65
2-3		0,005			70		24,5		24,5
3-4		0,05			40		80		80
3-12		0,05			30		45		45
4-5	0,700	0,2	-	10	10	70	20	-	90
4-6		0,05			30		45		45
5-7		0,05			15		11,3		11,3
6-7	0,250	0,2	0,113	10	10	25	20	11,3	11,3
6-8		0,05		20			20		20
7-9		0,05		25			31,3		31,3
8-9	0,050	0,2	0,425	10	10	5	20	42,5	67,5
8-10		0,05		10			5		5
9-19		0,05			5		10,1		10,1
10-11		0,02	0,375	10	10		20	37,5	57,5
11-9		0,05			10		5		5
12-13	1,050	0,2		10	10	105	20		125
12-14		0,05			20		20		20
13-15		0,05			15		11,3		11,3
14-15	0,850	0,2	0,113	10	10	85	20	11,3	116,3
14-16		0,05			10		5		5
15-18		0,0005			35		11,3		11,3
16-17	0,800	0,2	0,63	10	10	80	20	6,3	106,3
17-15		0,05			10		5		5
18-0	Всасывающий вентилятор				35				17,4
19-0		-«-	-«-		45				52,6

Таблица 2

Распределение вентиляционного давления

Узел	0	1	2	3	4	5	6	7
Давление, даПа	0	+226,5	+194,5	+170,0	+90,0	0	+45,0	-11,3
Узел	71	8	9	91	10	11	111	12
Давление, даПа	0	+25,0	-42,5	0	+20,0	-37,5	0	+125,0
Узел	13	14	15	151	16	17	171	18
Давление, даПа	0	+105,0	-11,3	0	+100,0	-6,3	0	-17,4
Узел	19							
Давление, даПа	-52,6							

### Вывод

Управление распределением количества воздуха и аэродинамических напоров с помощью вентиляционных окон является простым и вполне доступным на практике способом

постоянного поддержания режимов проветривания шахт в соответствии требованиями действующих нормативов по обеспечению безопасных и комфортных условий ведения подземных горных работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1989. 319 с.
2. Скочинский А.А., Комаров В.Б. Рудничная вентиляция. М.: Углетехиздат, 1959. 633 с.
3. Попов В.Б. Об аэродинамике выработанного пространства при отработке угольного пласта // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. № 6. С. 77–80.
4. Ярцев В.А. Аэродинамический анализ простейших гетерономных соединений // Известия вузов. Горный журнал. 1964. № 10. С. 61–67.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.27.003

УДК 622.454

© O.S. Tokarev, V.B. Popov, A.S. Golik, Lee Khee Un, A.S. Yarosh, 2018

#### O.S. TOKAREV

Coal Mining Industry Department Head  
Administration of the Kemerovo region, Kemerovo  
e-mail: Tokarev-OS@ako.ru

#### V.B. POPOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Member of MANEB  
Scientific Consultant  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: 1860PWB@mail.ru

**A.S. GOLIK**

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Member of MANEB  
Scientific Consultant  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: goliksomaneb@rambler.ru

**LEE KHEE UN**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Academic secretary  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: leeanatoly@mail.ru

**A.S. YAROSH**

Candidate of Engineering Sciences  
General director  
JSC «NIIGD», Kemerovo

**METHOD OF INSTANT CONTROL OF AIR FLOWS AND AERODYNAMIC PRESSURES IN THE MINE WORKINGS SYSTEM OF COAL MINES**

*The necessity of the development and implementation of methods for the instant management of air distribution and aerodynamic pressure in mine workings system is given.*

*At the present, as the new types of mining equipment have been implemented, both coal and drivage faces productivity has increased tenfold. The mining operations intensity is accompanied by the constantly changing topology of mine ventilation systems. The well-timed appropriate measures to ensure proper ventilation of underground mine workings in the context of the ongoing destabilization of air flow are required.*

*The solution could be based on applying the positive and negative regulation methods of air flows in the mine workings system. At present, the practical implementation of the positive air flow regulation method is impossible, since it is limited by the current regulations to use underground fans only to ventilate drivage faces in coal, dangerous of methane gases mines, which are the vast majority. It is prohibited to include these fans to the main ventilation systems.*

*Taking into account the current situation, the negative regulation method of the air quantity and aerodynamic pressure distribution, using the regulators, in the mine ventilation systems is proposed and the calculation method of their placement in the mine workings is given.*

Key words: VENTILATION SYSTEM, AERODYNAMIC PRESSURE, AIR FLOW, FAN, REGULATOR, ROADWAY, AIR QUANTITY, AIR FLOW RESISTANCE, DIFFERENTIAL PRESSURE.

**REFERENCES**

1. Guidance for coal mines ventilation design. Makeevka-Donbass: MakNII, 1989. 319 p. (In Russ.).
2. Skochinskiy A.A., Komarov V.B. Mine ventilation. Moscow: Ugletechizdat, 1959. 633 p. (In Russ.).
3. Popov V.B. About the goaf aerodynamic during the coal seam mining // Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science. 1990. № 6. pp. 77–80. (In Russ.).
4. Yarcev V.A. Aerodynamic analysis of primary heteronomous compounds. Izvestiya vuzov «Gorny zhurnal» = News of the Higher Institutions. Mining Journal. 1964. № 10. pp. 61–67. (In Russ.).