Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIV, вып. 1, 1957 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

С. С. Смородин

Примерно одна пятая часть угля в Советском Союзе добывается пневматическими отбойными молотками, а механизация подземных работ в рудной промышленности осуществляется почти исключительно с помощью энергии сжатого воздуха. Кроме отбойных и бурильных молотков, в забое и на участке в настоящее время появилось много разнообразного горного оборудования с пневматическим приводом.

При широком применении на мощных крутопадающих пластах щитовой системы добычи угля, а также системы разработки горизонтальными слоями резко увеличивается количество восстающих выработок, которые используются для вентиляции, транспортировки угля, крепежного леса и т. п. Для проходки таких выработок все чаще используются сбоечно-буровые машины с пневмодвигателями.

Пневматические двигатели применяются также в качестве привода к врубовым машинам, комбайнам, конвейерам, породопогрузочным машинам, вентиляторам частичного проветривания, маневровым лебедкам и пр.

В настоящее время в горной промышленности применяется более десяти типов отбойных и бурильных молотков и несколько типов пневмодвигателей. Каждый потребитель сжатого воздуха имеет свою характеристику, т. е. зависимость основных показателей работы от подведенного к нему давления сжатого воздуха. С энергетической точки зрения из всех показателей работы потребителя наибольший интерес представляет зависимость расхода воздуха в функции подведенного к потребителю давления. Эта ярко выраженная зависимость коренным образом влияет как на методику расчета воздухопроводных сетей, так и на выбор производительности компрессорной станции.

Основная задача предлагаемой работы — обобщение накопленного экспериментального материала по определению энергетических показателей потребителей сжатого воздуха и выявление единой закономерности расхода воздуха в зависимости от давления для разного типа потребителей.

Ввиду сложности явлений, происходящих в рабочей камере пневматической машины, пока не представляется возможным аналитически решить данный вопрос. Учитывая важность его решения для производства, при эксплуатации воздушно-силового хозяйства и при проектировании, здесь избран путь опытного исследования закономерностей.

В настоящей работе использованы материалы лабораторных испы-аний 1948—1954 гг. завода «Пневматика» в Ленинграде, Томского за-ода им. В. В. Вахрушева и промышленных испытаний различных шахт рудников Советского Союза.

По методике испытания все потребители, исследуемые в данной ра-оте, разделены на три группы: отбойные молотки, перфораторы и пнев-одвигатели.

1. Отбойные молотки

В настоящее время существует три типа отбойных молотков: ОМ-1,)М-2 и ОМСП-5. Отличаются они, главным образом, внешней формой конструкцией рукоятки, держателя пики и др.).

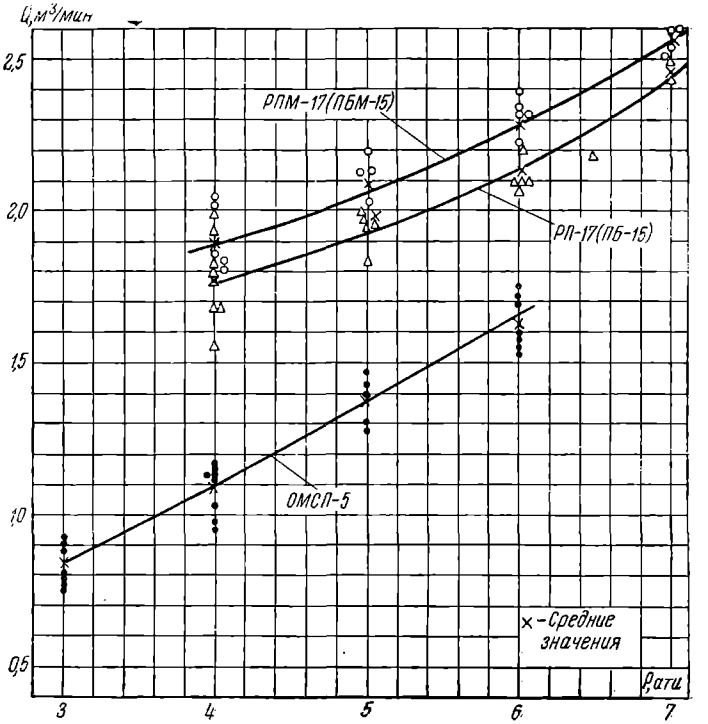


Рис. 1. Расход воздуха для отбойных молотков и легких бурильных машин

В угольной промышленности распространены в основном молотки ипа ОМСП-5, поэтому весь дальнейший материал и выводы будут изло-кены на основе исследования этих отбойных молотков.

Как и ранее предложенная [3], методика испытания отбойных молот-ков сводится в основном к следующему.

1. Устанавливается степень износа отбойного молотка (путем непо-средственного обмера основных рабочих деталей).

2. Определяются условия работы молотка, которые характеризуются еличиной нажатия на рукоятку. При экспериментах за оптимальную ринималась величина приложения мускульной силы рабочего на ру-оятку молотка в пределах 20—30 *кг*.

3. Давление сжатого воздуха, подводимого к отбойному молотку и азываемое далее давлением у приемника, измеряется в точке присоеди-

нения гибкого шланга к металлическому трубопроводу. Длина гибкого шланга допускалась при опытах не более 10 *м*. Таким образом, потери давления в гибком шланге относятся как бы к сопротивлению самого отбойного молотка. Это оправдывается с точки зрения разработки методики расчета воздухопроводных сетей.

4. Количество потребляемого свободного воздуха измеряется воздухомером поплавкового типа, изготовленного Ленинградским заводом «Пневматика».

Опытные данные по расходу воздуха в зависимости от давления для отбойных молотков типа ОМСП-5 приведены в табл. 1. Графическая же зависимость указанных величин представлена на рис. 1, где в прямоугольной системе координат нанесены все опытные точки. Затем по точкам среднего значения расходов, обозначенных крестиками, построена сводная характеристика расхода — плавная кривая.

Таблица 1

Давление, *ати*	Расход воздуха, *м³/мин*										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	средний
3	0,90	0,78	0,83	0,77	0,88	0,93	0,87	0,83	0,83	0,75	0,847
4	1,16	1,14	1,11	1,04	1,13	1,12	1,09	0,98	1,08	1,06	1,091
5	1,40	1,42	1,39	1,38	1,26	1,47	1,46	1,39	1,30	1,38	1,385
6	1,71	1,67	1,69	1,62	1,58	1,60	1,75	1,56	1,54	1,66	1,639

2. Перфораторы

Опытами определялось количество воздуха, потребляемого ручными бурильными молотками, колонковыми и телескопными бурильными машинами.

Методика исследования потребляемого перфоратором воздуха во многом совпадает с методикой испытания отбойных молотков. Изменяются лишь условия работы. Перфораторы испытывались при работе вертикально, горизонтально и наклонно. Причем горизонтальное и наклонное бурение изучалось как при работе перфоратора с руки, так и с колонки (с автоподатчиком). Характеристики расхода воздуха в зависимости от условий работы перфоратора изменялись мало и здесь различаться не будут. Характеристики же расхода воздуха перфораторов

Таблица 2

Тип молотка	Давление, *ати*	Расход воздуха, *м³/мин*								
		1	2	3	4	5	6	7	8	средний
РП-17 (ПБ-15)	4	2,00	1,94	1,83	1,85	1,80	1,69	1,55	1,69	1,79
	5	2,15	2,05	1,99	2,00	1,96	2,00	1,83	1,96	1,99
	6	2,20	2,11	2,10	2,15	2,10	2,20	2,07	2,10	2,13
	7	2,42	2,60	2,50	2,43	2,50	2,42	—	—	2,47
РПМ-17 (ПБМ-15)	4	1,80	1,83	1,83	1,85	2,00	2,00	1,97	—	1,88
	5	2,13	2,13	2,02	1,96	2,35	2,27	2,41	2,00	2,10
	6	2,33	2,32	2,31	2,30	2,50	2,40	2,42	2,20	2,28
	7	2,60	2,60	—	—	2,70	2,57	2,68	2,30	2,57

данного типа, работающих как с продувкой, так и с промывкой, также мало отличаются и поэтому обобщены.

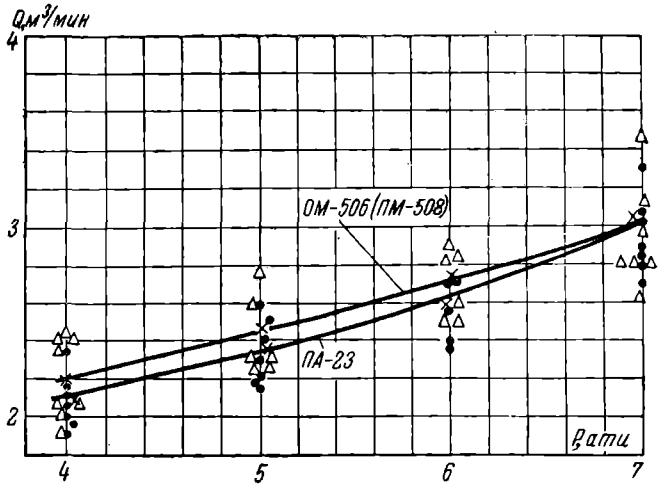


Рис. 2. Расход воздуха для легких и средних бурильных машин

В табл. 2 указана зависимость расхода воздуха от давления для ручных бурильных молотков РП-17 и ПБ-15, а также РПМ-17 и ПБМ-15.

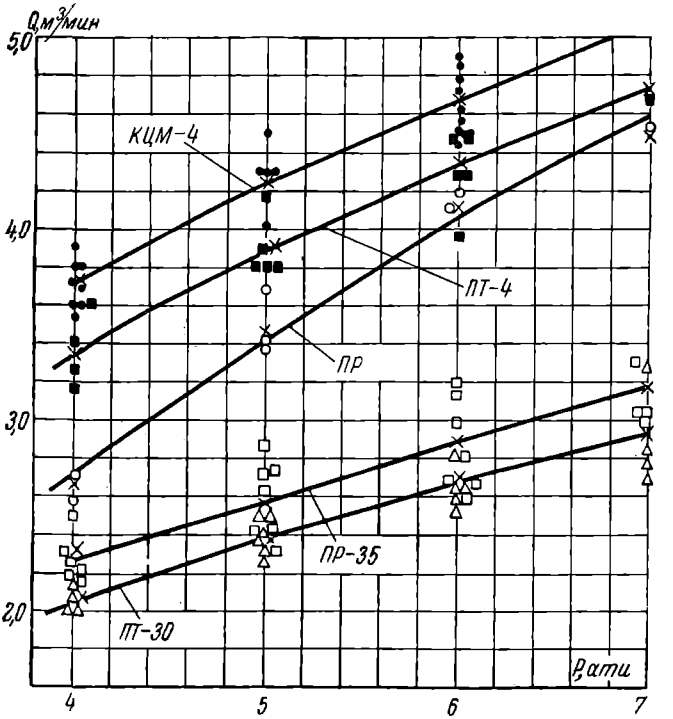


Рис. 3. Расход воздуха для тяжелых бурильных машин

В табл. 3 сведены опытные данные по определению расхода воздуха для наиболее близких по характеристикам ручных бурильных молотков типа ОМ-506 (ПМ-508) и ПА-23.

Сводные характеристики по данным табл. 2 приведены на рис. 1, по данным табл. 3 — на рис. 2.

Таблица 3

Тип перфоратора	Давление, *ати*	Расход воздуха, *м³/мин*										
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	средний
ОМ-506 (ПМ-508)	3	1,55	1,70	1,90	—	—	—	—	—	—	1,45	1,65
	4	1,90	2,05	2,40	2,14	2.17	2.04	2,10	2.30	2,35	2,00	2,14
	5	2,25	2,45	2,60	2,40	2,50	2,29	2,31	2,60	2,63	2,50	2,33
	6	—	—	—	2,56	2,69	2,50	—	2,90	2,84	3,05	2,76
	7		—		2,80	2,78	2,60	—	3,00	3,00	—	2,87
ПА-23	3	1,38	—	—	—	—	—	—		—	—	1,38
	4	1,90	2,00	1,98	2,10	1,95	2,37	2,13	—	—	—	2,08
	5	2,35	2,30	2,16	2,40	2,20	2.58	2,38	2,50	—		2.36
	6	—	2,57	2,38	2,70	2,37	2,78	2,57	2,70	—	—	2.58
	7	—	2,67	—	2,87	—	2,88	2,78	3,30	—		2,90

Сводные характеристики колонковых и телескопных пневматических машин, построенных по данным табл. 4, приведены на рис. 3.

Таблица 4

Тип перфоратора	Давление, *ати*	Расход воздуха, *м³/мин*								
		1	2	3	4	5	6	7	8	средний
ПТ-30	4	2,00	2,00	2,13	2,08	—	—	—	—	2,05
	5	2,32	2,43	2,38	2,3	2,50	—	—	—	2,39
	6	2,58	2,63	2,61	2,55	2,80	—	—		2,63
	7	2,80	2,72	2,78	—	3,30		—		2,90
ПР-35	4	2.13	2,20	2,20	2,17	2,33	2,47	—	2,28	2,25
	5	2,43	2,43	2,53	2,33	2,63	2,75	2,90	2,70	2.59
	6	2,70	2,65	2,80	2,59	2,93	3,14	3,20	—	2,86
	7	3,08	2,97	—	—	3,02	3,27	3,60		3,18
ПР	4	2,59	2,65	2,65	—		—			2,63
	5	3,30	3,39	3,43	3,70	—	—	—		3,46
	6	4,10	4,00	4,20	4,10		—	—		4,10
	7	4,40	—	—	4,50		—	—		4,45
ПТ-4	4	3,40	3,27	3,60	3,18	—			—	3,36
	5	3,90	3,80	3.80	3,80	4,20				3,90
	6	4,27	3,97	4,50	4,30	4,50		—		4,30
	7	—	—	—	—	4,70		—		4,70
КЦМ-4	4	3,60	3,70	3,80	3,80	3,60	3,54	3,90	3,70	3,70
	5	3,93	4,30	4,20	4,30	4,30	4,00	4,20	4,50	4,21
	6	4,57	4,50	4,80	4,90	4,60	4,85	4,50	4,90	4,70

Результаты лабораторных и промышленных испытаний колонковых и телескопных бурильных машин сведены в табл. 4. Причем данные по типу ПР относятся к машине, изготовленной Қыштымским заводом; в данные по КЦМ-4 включен расход воздуха и автоподатчика, потребляющего примерно 0,7 $м^3/мин$.

3. Пневматические двигатели

Накопление опытного материала по исследованию характеристик пневмодвигателей требует проведения трудоемких и сложных в организационном отношении работ, особенно при промышленных испытаниях. Поэтому в настоящей работе использованы данные лабораторных испытаний завода «Пневматика».

Изменение характеристик пневматических двигателей подчинено более сложным закономерностям, чем отбойных молотков и перфораторов. Расход воздуха пневмодвигателем обусловлен не только величиной давления, но в довольно широких пределах изменяется и в зависимости от внешнего момента сопротивления.

Исходя из этого, зависимость характеристик расхода воздуха от давления у пневмодвигателя строилась при условии максимальной мощности на валу двигателя, что отвечает в большинстве случаев требованиям работы горных машин в подземных условиях. Методика определения расхода воздуха пневмодвигателем в основном совпадает с методикой для отбойных молотков.

При больших расходах воздуха в качестве измерительного прибора использовался воздухомер типа кольцевых весов, иногда же измерение производилось с помощью дифманометра.

В табл. 5 приведены данные, характеризующие средний расход воздуха различными пневматическими двигателями в зависимости от давления. Сводные характеристики пневмодвигателей приведены на рис. 4 и 5.

Таблица 5

Тип двигателя	Расход воздуха ($м^3/мин$) при Рп ($ати$)							
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
ДР-5А	—	—	—		3,57	4,6	5,87	7,8
ДР-10	—	—	—	—	6,56	—	8,45	10,55
ВМ-1	—		5,2	6,5	8,0	9,2	—	—
ПРШ-10	—	—	—	6,6	8,5	10,0	11,2	
ПРШ-16	5,2	7,0	9,0	11,0	13,4	16,0	18,5	
ПШ-30м	—	—	22,0	26,9	32,0	38,4	46,0	

Как видно из графиков, расходы воздуха в зависимости от давления для всех потребителей близки к линейной. Если, по аналогии с отбойным молотком, представить все эти закономерности в виде степенной функции, то окажется, что для одних потребителей показатель степени будет немного больше единицы, а для других несколько меньше единицы.

Весьма важно обратить внимание на тот факт, что закономерности расхода воздуха в функции давления для различных потребителей оказываются одного и того же порядка с различными начальными ординатами.

Исследование характеристик потребителей в отношении расхода воздуха имеет целью представить опытные данные в обобщенном виде, удобном для использования при проектировании и эксплуатации воз-

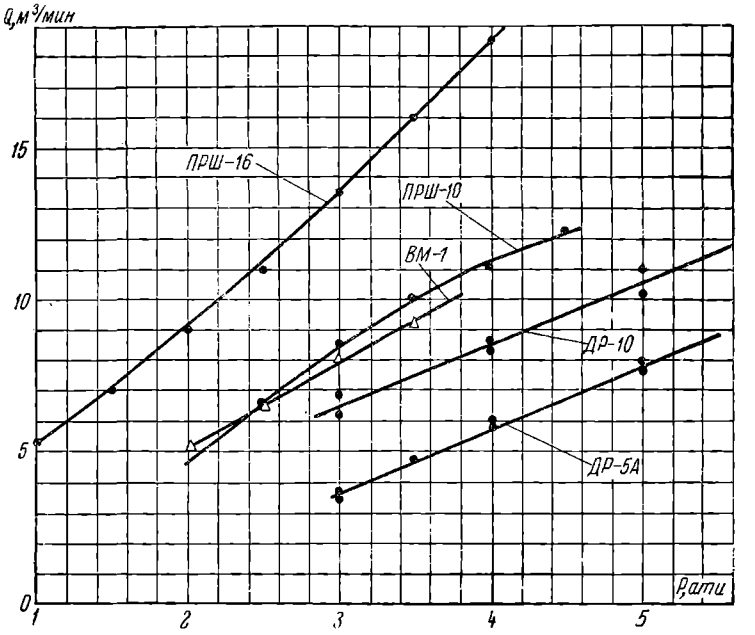


Рис. 4. Расход воздуха для пневматических двигателей

душно-силового хозяйства на горных предприятиях. Такое обобщение накопленного материала необходимо также и для дальнейшего аналитического решения вопроса.

Используем уравнение, согласно которому расход воздуха отбойным молотком находится в следующей зависимости от манометрического давления [4]

$$Q = 265P_{\text{п}}. \qquad (1)$$

По этому уравнению построим характеристику отбойного молотка в системе прямоугольных координат $Q—P_{\text{п}}$. Характеристики всех других исследованных потребителей представим в той же системе координат в измененном виде, таким образом, чтобы каждая из них отвечала уравнению

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{\alpha} = 0{,}265P_{\text{п}}, \qquad (2)$$

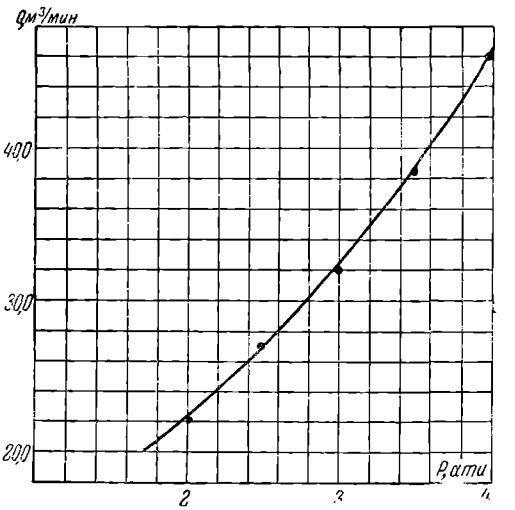


Рис. 5. Расход воздуха пневмодвигателем ПШ-30м при максимальной мощности

где α — постоянный коэффициент для данного потребителя, характеризующий его конструкцию.

Из уравнения (2), очевидно, что для отбойного молотка α равна единице.

Таблица 6

Тип потребителя	Давление, *ати*	Расход воздуха, *м³/мин*	Мощность, *л. с.*	Вес, *кг*	α
ОМСП-5	4,0	1,0	0,8	9,5	1,0
РП-17	5,0	1,8—2,0	0,95	18,0	1,5
(РПМ-17)					
ОМ-506	5,0	2,4	1,95	29,5	1,75
(ПМ-508)					
ПА-23	5,0	2,5	1,66	23,0	1,75
ПТ-30	5,0	2,5	1,85	30,0	1,75
ПР-35	5,0	2,0	2,6	30,0	1,90
ПР	5,0	2,8—3,3	2—2,7	30,0	2,50
ТП-4	5,0	3,26	2,7	44,5	2,80
КЦМ-4	5,0	3,65	2,95	37,0	3,10
ДР-5А	3,0	3,50	3,3	92,0	4,70
ДР-10	5,5	10,00	10,5	81,0	7,70
ВМ-1	3,0	10,00	10	62,0	8.60
ПРШ-10	3,5	10,00	10	130,0	9,30
ПРШ 16	3,5	16,00	16	335,0	16,00
ПШ-30	3,0	30,00	30	413,0	39,00

Если характеристики исследованных бурильных молотков и пневматических двигателей с определенной точностью приближения будут удовлетворять уравнению (2), тогда эти измененные характеристики можно назвать кривыми «эквивалентных молотков».

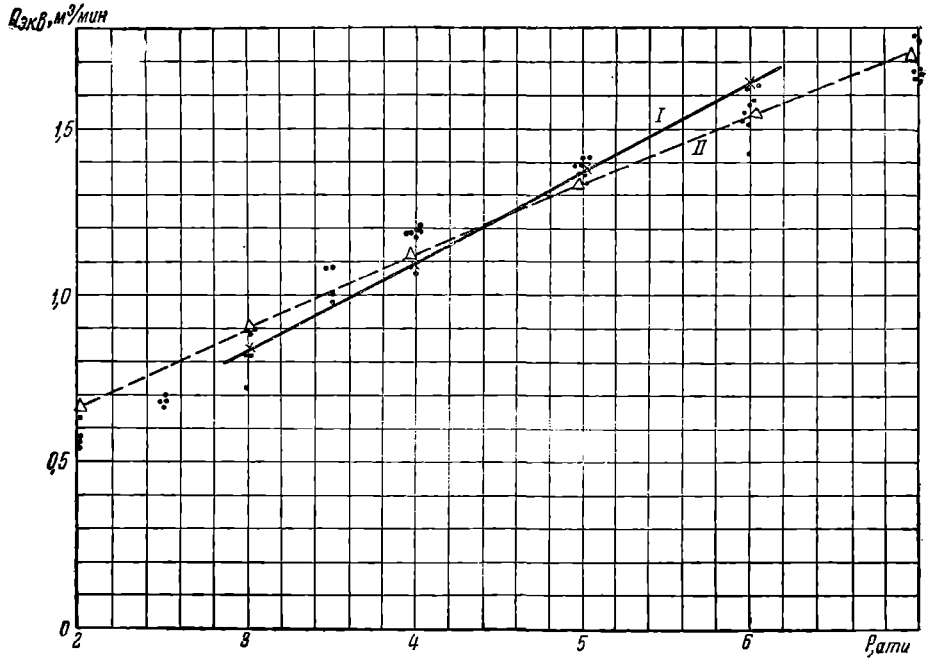


Рис. 6. Характеристики молотков:
I — отбойного по уравнению (1); *II* — эквивалентного по уравнению (6)

Найденные на основании исследования характеристик потребителей значения α (табл. 6) дают наибольшее приближение новой кривой к характеристике отбойного молотка. В табл. 6 приведены основные параметры некоторых унифицированных отбойных молотков, перфораторов и пневматических двигателей.

На рис. 6 представлено семейство точек измененных характеристик по уравнению (2) и проведена средняя кривая *II*, представляющая характеристику «эквивалентного молотка». Как видно на рисунке, точки, характеризующие экспериментальные данные по определению расхода воздуха различными потребителями, при соответствующих значениях α очень близко размещаются к кривой, определяющей расход воздуха отбойным молотком при различных давлениях. Такое близкое совпадение измененных характеристик потребителей и отбойного молотка дает основание для представления характеристик всех исследованных потребителей сжатого воздуха в виде единой закономерности.

Воспользуемся известными в математике приближенными методами вычислений, чтобы, охватив многообразие опытных данных в сжатую формулу, иметь возможность в дальнейшем по ней не только восстановить эти результаты, но также легко производить и интерполирование.

Для вывода такой формулы возьмем из табл. 6 средние значения расхода эквивалентного молотка от 3 до 7 *атм*. При давлениях ниже 3 *атм* испытания производились только четырех пневматических двигателей, поэтому эти данные нецелесообразно распространять на все другие потребители.

Зависимость расхода воздуха от величины давления определяется табл. 7.

Таблица 7

Тип перфоратора или двигателя		Расход воздуха ($м^3/мин$) в пересчете на один эквивалентный молоток при $P_п$ ($атм$)									
			1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
ОМСП-5	1,00					0,847		1,091	1,385	1,639	—
РП-17	1,50							1,170	1,330	1,420	1,65
РПМ-17	1,50					—		1,260	1,400	1,520	1,71
ОМ-506	1,75					0,980		1,230	1,330	1,560	1,64
ПА-23	1,75			—		0,790		1,190	1,350	1,530	1,76
ПТ-30	1,75					—		1,170	1,360	1,510	1,66
ПР-35	1,90							1,180	1,310	1,510	1,67
ПР	2,50		—					1,060	1,380	1,640	1,78
ТП-4	2,80							1,200	1,390	1,540	1,68
КУМ-4	3,10				—	—	—	1,190	1,360	1,520	—
ДР-5А	4,70					0,715	0,980	1,250	—	—	
ДР-10	4,70			—	—	0,850	—	1,100	1,380		
ВМ-1	8,60			0,607	0,756	0,920	1,060	—	—		
ПРШ-10	9,30	—	—	—	0,700	0,910	1,070	1,200			
ПРШ-16	16,00	0,324	0,437	0,583	0,69	0,830	1,000	1,150			
ПШ-30м	39,00	—	—	0,565	0,680	0,820	0,985	1,180			
Среднее значение		0,324	0,437	0,578	0,706	0,851	1,020	1,176	1,36	1,539	1,70

Из известных формул приближенного вычисления наиболее подходящей для наших опытных данных является формула

$$Q'_{экв} = CP_п^a. \qquad (3)$$

Прологарифмировав формулу (3) по основанию 10

$$\lg Q'_{экв} = a \lg P_п + \lg C$$

и положив

$$\lg Q'_{\text{экв}} = y,$$

$$\lg P_{\text{п}} = x,$$

$$\lg C = b,$$

получим линейное уравнение

$$y = ax + b. \qquad (4)$$

Откладывая в прямоугольных координатах y и x, т. е. в логарифмической сетке, получим прямую, что будет свидетельствовать о применимости данной формулы.

Постоянные a и b определяются методом уравновешивания погрешностей. Коэффициент a дает показатель степени, а множитель C находится по логарифму числа b с помощью таблиц.

Необходимо отметить, что, пользуясь методом уравновешивания погрешностей в логарифмической форме, при определении коэффициентов уравновешивание погрешностей в исходной формуле не достигается. Этот метод широко распространен, хотя требует дальнейшей проверки погрешности в конечных величинах.

Таблица 8

$Q'_{\text{экв}}$, *дм³/мин*	851	1176	1360	1539	1700
$P_{\text{п}}$, *ати*	3	4	5	6	7

Для удобства решения задачи методом уравновешивания из экспериментальных данных табл. 8 возьмем нечетное число точек. Логарифмы этих величин следующие:

$$\lg Q'_{\text{экв}}\, y \quad 2{,}927 \quad 3{,}068 \quad 3{,}133 \quad 3{,}186 \quad 3{,}231;$$

$$\lg P_{\text{п}}\, x \quad 0{,}477 \quad 0{,}602 \quad 0{,}699 \quad 0{,}778 \quad 0{,}845.$$

Напишем два уравнения, взяв в первом из них сумму величин трех экспериментальных точек, во втором — сумму двух,

$$\begin{aligned} -9{,}128 &= 1{,}778a + 3b, \\ -6{,}417 &= 1{,}623a + 2b. \end{aligned}$$

Отсюда находим значение

$$b = 2{,}711 - 0{,}155a.$$

Подставим полученное значение b, например во второе уравнение, указанной выше разности

$$6{,}417 = 1{,}623a + 5{,}422 - 0{,}31a,$$

т. е.

$$0{,}995 = 1{,}313a,$$

и найдем величину показателя степени в исходном уравнении

$$a = \frac{0{,}995}{1{,}313} = 0{,}76. \qquad (5)$$

Зная величину коэффициента a, находим второй коэффициент

$$b = 2{,}711 - 0{,}155 \cdot 0{,}76$$

или

$$b = 2{,}593 = \lg C.$$

По таблице логарифмов находим значение $C = 392$.

Выяснив величину постоянных, получаем уравнение расхода воздуха в функции давления

$$Q_{экв} = Q'_{экв} 10^{-3} = 0{,}392 P_{п}^{0{,}76} \qquad (6)$$

По тому же методу уравновешивания для всех экспериментальных точек можно получить несколько иную формулу

$$Q_{экв} = 0{,}29 P_{п}^{0{,}95} \qquad (7)$$

Однако формула (6), как указано ниже, при расчете более целесообразна.

Определяем расход воздуха эквивалентным молотком по формуле (6) для давлений от 2 до 7 *ати* через каждую атмосферу и наносим точки в виде треугольничков на график рис. 6.

Точка пересечения кривой, отвечающей уравнению (6), с кривой отбойного молотка при давлении сжатого воздуха $P_{п} = 4{,}5$ *ати* показывает, что наибольшее приближение кривых наблюдается при давлениях 3,5—5,5 *ати*.

Погрешности определения расхода воздуха по предлагаемым формулам в сравнении с фактическими приведены в табл. 9, из которой видно, что формула (6) дает ошибку, не превышающую 10,6% для всех отбойных молотков и перфораторов при давлении сжатого воздуха от 3 до 7 *ати*.

Как указано, при выводе формулы (6) экспериментальные данные по испытанию пневмодвигателей при давлениях сжатого воздуха менее 3 *ати* не включались. Поэтому характеристика эквивалентного молотка (рис. 6) проходит выше точек экспериментально определяемого расхода воздуха для двигателей.

Если характеристику эквивалентного молотка полностью распространить и на двигатели, тогда погрешность в расходе воздуха по формуле (6) в сравнении с фактическим для пневмодвигателей будет около 20%.

По формуле (7) погрешности в расходе воздуха для всех потребителей, за исключением одной точки, не превышают 13%. Причем расходы воздуха для пневмодвигателей, рассчитанные по формуле (7), как правило, получаются меньше фактических.

Таблица 9

Тип потребителя	Давление, *ати*	Расход воздуха		Ошибка,	Расход воздуха по формуле (7), *м³/мин*	Ошибка, %
		фактический, *м³/мин*	по формуле (6)			
ОМСП-5	3,0	0,847	0,905	+4,5	0,824	—2,7
	4,0	1,091	1,12	+2,6	1,128	+3,3
	5,0	1,385	1,33	—4,0	1,338	—3,4
	6,0	1,639	1,53	—6,6	1,60	—2,3
РП-17 (ПБ-15)	4,0	1,79	1,68	—7,2	1,69	—5,6
	5,0	1,99	1,99	0	2,01	+0,1
	6,0	2,13	2,29	+7,5	2,39	+12,1
	7,0	2,47	2,58	+4,4	2,78	+12,5
РПМ-17 (ПБМ-15)	4,0	1,88	1,68	—10,6	1,69	—10,0
	5,0	2,10	1,99	— 5,2	2,01	— 4,3
	6,0	2,28	2,29	+ 0,4	2,39	+ 4,8
	7,0	2,57	2,58	+ 0,4	2,78	+ 8,2
ОМ-506 (ПМ-508)	3,0	1,65	1,58	— 0,4	1,44	—12,7
	4,0	2,14	1,96	— 8,4	1,98	— 7,5
	5,0	2,33	2,33	0	2,34	+ 0,4
	6,0	2,76	2,68	+ 2,9	2,80	+ 1,5
	7,0	2,87	3,02	+ 5,2	3,25	+13,0
ПА-23	4,0	2,08	1,96	— 8,7	1,98	— 4,8
	5,0	2,36	2,33	— 1,3	2,34	— 0,8
	6,0	2,58	2,68	+ 3,9	2,80	+ 8,5
	7,0	2,90	3,02	+ 4,1	3,25	+12,0
ПТ-30	4,0	2,05	1,96	— 5,3	1,98	— 0,
	5,0	2,39	2,33	— 2,5	2,34	— 0
	6,0	2,63	2,68	+ 1,9	2,80	+ 6
	7,0	2,90	3,02	+ 4,1	3,25	+12
ПР-35	4,0	2,25	2,14	— 4,9	2,145	— 4
	5,0	2,53	2,53	0	2,54	+ 0
	6,0	2,86	2,91	+ 1,7	3,03	+ 6
	7,0	3,18	3,28	+ 3,1	3,53	+11
ПР	4,0	2,63	2,80	+ 6,4	2,82	+ 7
	5,0	3,46	3,33	— 3,7	3,34	— 3
	6,0	4,10	3,81	— 5,8	3,98	— 2
	7,0	4,45	4,32	— 2,9	4,61	+ 3
ПТ-4	4,0	3,36	3,14	— 6,5	3,16	— 5
	5,0	3,90	3,73	— 4,3	3,74	— 4
	6,0	4,30	4,30	0	4,47	+ 4
	7,0	4,70	4,83	+ 2,7	5,20	+10
КЦМ-4	4,0	3,70	3,48	— 5,9	3,50	—
	5,0	4,21	4,13	— 1,8	4,16	— 1
	6,0	4,70	4,75	+ 1,0	4,95	+ 5
ДР-5А	3,0	3,57	4,25	+19,7	3,87	+ 8
	3,5	4,6	4,75	+ 3,2	4,45	+
	4,0	5,87	5,26	—10,0	5,31	— 9
	5,0	7,8	6,26	—19,7	6,3	—19
ДР-10	3,0	6,56	6,95	+ 5,9	6,35	— 3
	4,0	8,45	8,60	+ 1,7	8,69	+ 2
	5,0	10,55	5,93	— 3,3	10,6	+ 0

Продолжение табл. 9

Тип потребителя	Давление, *ати*	Расход воздуха		Ошибка, %	Расход воздуха по формуле (7), *м³/мин*	Ошибка, %
		фактический, *м³/мин*	по формуле (6)			
ВМ-1	2,0	5,2	6,76	+13,6	4.82	— 7,3
	2,5	6,5	7,78	+ 4,0	5,94	— 8,6
	3,0	8,0	8,70	— 2,7	7,06	—11,7
	3,5	9,2	9,60	— 5,4	8,13	—11,6
ПРШ-10	2,5	6,6	7.32	+11,0	6.43	— 2,6
	3,0	8,5	8,40	— 1,2	7,66	— 9.9
	3,5	10,0	9.41	— 5,9	8,81	—11,9
	4,0	11,2	10,43	— 5,2	10,5	— 6,2
ПРШ-16	1,0	5,2	6,27	+19.6	4,65	—10,6
	1,5	7,0	8,50	+21.4	6.80	— 2,8
	2,0	9.0	11,00	+22,2	8,98	— 0,2
	2,5	11,0	12,6	+15,2	11,0	0
	3,0	13,4	14,46	+ 7,9	13,2	— 1,5
	3,5	16,0	16,20	+ 0,1	15,15	— 5,3
	4,0	18,5	17,90	— 3,2	18,0	— 2,7
ПШ-30м	2,0	22,0	26,2	+19.0	21,86	— 0,6
	2,5	26,9	29,9	+11,0	26,9	0
	3,0	32,0	34,4	+ 7,5	32,16	— 0,5
	3,5	38,4	38,2	— 0,5	37,00	— 3,6
	4,0	46,0	42,6	— 7,4	44,0	— 4,3

При выборе формулы для определения расхода воздуха потребителями необходимо учитывать, что отбойные молотки и перфораторы испытывались как в лабораторных, так и в промышленных условиях обычно после некоторого периода эксплуатации и их показатели могут быть отнесены к среднеизношенным потребителям. Среднеизношенными называем такие потребители, у которых расход воздуха увеличился в сравнении с номинальным на 10—15%. Пневматические же двигатели испытывались только новые и в лабораторных условиях. Промышленные испытания после определенного срока эксплуатации пневмодвигателей, несомненно, покажут увеличение расхода воздуха. Поэтому более целесообразным следует считать применение формулы (6) с распространением ее и на пневмодвигатели.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования различных по принципу работы двадцати двух потребителей сжатого воздуха подтверждают наличие единой закономерности в расходе воздуха различными потребителями.

Уравнение (6), характеризующее расход воздуха потребителем в зависимости от давления сжатого воздуха, с достаточной для практики точностью дает возможность определить потребное количество воздуха любым пневмоинструментом или двигателем при разных давлениях.

Хотя общая закономерность выявлена достаточно достоверно, уравнение (6) не претендует на большую точность и окончательность величины коэффициентов.

При наличии дополнительных экспериментальных данных по работе пневматических двигателей в промышленных условиях может оказаться

целесообразным представление функциональной зависимости расхода воздуха от давления в виде двух уравнений, взятых отдельно для пневмоинструментов и пневмодвигателей.

Независимо от результатов дальнейших исследований, полученное уравнение дает возможность окончательно разработать новую методику расчета воздухопроводных сетей взамен существующих методов расчета, не отражающих сущности явлений, происходящих в воздухопроводных сетях при транспорте сжатого воздуха от компрессора к потребителям.

Выявление закономерности в потреблении количества воздуха в зависимости от его давления у приемника дает возможность исследовать характеристики воздухопроводных сетей, которые принципиально отличны от обычно представляемых в виде исходящих из начала координат квадратичных парабол.

Использованная литература

1. Ильичев А. С. Собрание трудов Т. I. Рудничные пневматические установки, Углетехиздат, 1953.
2. Дмитриев А. И., Путовин М. Д. Некоторые результаты применения повышенного давления сжатого воздуха при перфораторном бурении. Колыма, 1950, № 2.
3. Смородин С. С. Определение показателей отбойных молотков и методика расчета воздухопроводных сетей в зависимости от этих показателей. Диссертация. Фонды Ленинградского горного института, 1940.
4. Смородин С. С. К вопросу о расчете воздухопроводных сетей с учетом показателей пневматических инструментов. Записки Ленинградского горного института, 1948, т. XX.
5. Смородин С. С. Исследование работы и сравнительная оценка бурильных молотков РП-17 и ПБ-15. Горный журнал, 1949, № 12.
6. Кусницын Г. И. Пневматические двигатели горных машин и механизмов. Углетехиздат, 1953.
7. Чугунихин С. И. Сбоечно-буровые машины. Углетехиздат, 1950.