Расход воздуха для проветривания зумпфа определяется по формуле (8.8), в которую вместо $V_к$ подставляется объем зумпфа ($V_з$, м^3).

5.3. Выбор средств проветривания тупиковых выработок

5.3.1. При проходке и углубке стволов для вентиляционного трубопровода должны применяться жесткие трубы. На участке от проходческого полка до забоя допускается применение гибких труб.

Основным типом вентиляционных труб, применяемых при проходке стволов, являются стальные диаметром 0,5–1,2 м и длиной звена от 3 до 4,2 м.

Выбирается диаметр трубопровода с учетом глубины и площади поперечного сечения ствола, расхода воздуха и расположения проходческого оборудования.

При глубине стволов до 800 м для уплотнения стыков допускается применение промасленного картона или пенькового каната. При глубине стволов больше 300 м и при скоростных темпах проходки независимо от глубины ствола для уплотнения стыков должны применяться резиновые прокладки.

При проходке стволов-скважин бурением следует применять для проветривания бурильные трубы. Они имеют внутренний диаметр 0,15 м, а длину 6 и 12 м. Резьбовое соединение обеспечивает максимальное уплотнение трубопровода, благодаря чему утечек воздуха почти нет.

5.3.2. При проведении горизонтальных и наклонных выработок для вентиляционных трубопроводов в зависимости от способа проветривания могут применяться как жесткие, так и гибкие вентиляционные трубы.

При нагнетательном способе проветривания, как правило, применяются гибкие вентиляционные трубы, а при всасывающем — жесткие. Диаметр трубопровода выбирается в зависимости от его длины и расхода воздуха на выходе из трубопровода $Q_{тр}$, если воздух подается в призабойное пространство по одному трубопроводу, расчетный расход воздуха для проветривания призабойного пространства, равен $Q_{тр} = Q_{з.п}$.

Ориентировочно диаметр гибких труб типов 1А и 1Б можно принимать согласно табл. 5.4 или табл. 5.10.

Для уменьшения коэффициента утечек воздуха и аэродинамического сопротивления гибких трубопроводов следует применять комбинированный вентиляционный трубопровод из гибких труб типов 1А и 1Б и введенного внутрь их полиэтиленового рукава и конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава. Комбинированный трубопровод рекомендуется применять при диаметре труб 0,6 м и более и длине трубопровода более 400 м. Длина конечного участка без полиэтиленового рукава составляет 150-200 м. Комбинированный трубопровод допускается применять только со специальным пускорегулирующим устройством.

5.3.3. Коэффициент утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов из труб типа 1А и 1Б диаметром 0,6–1,0 м принимается согласно табл.5.4 в зависимости от длины трубопровода и расхода воздуха в конце его, а для трубопроводов диаметром 0,5 м и менее определяется по формуле

$$k_{ут.тр} = 1 + 1{,}78 \cdot 10^{-6}\, d_{тр}^2\, l_{тр}^2\, Q_{з.п}, \qquad (5.17)$$

где $d_{тр}$ — диаметр трубопровода, м;

$l_{тр}$ — длина трубопровода, м.

Для новых типов труб, а также при длине звена более 20 м значения коэффициента утечек воздуха принимаются по рекомендациям МакНИИ. Коэффициент утечек воздуха для жестких вентиляционных труб определяется по формуле

$$k_{ут.тр} = \left(\frac{1}{3} k_{ут.ст}\, d_{тр} \frac{l_{тр}}{\partial_{зв}} \sqrt{R_{тр.ж}} + 1\right)^2, \qquad (5.18)$$

где $k_{ут.ст}$ — коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости при фланцевом соединении трубопровода; принимается по табл. 5.5;

$l_{зв}$ — длина звена трубопровода, м;

$R_{тр.ж}$ — аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода без утечек воздуха, кμ; определяется по формуле (5.23).

Таблица 5.4

Значения коэффициента утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов из труб типа 1А и 1Б при длине звена 20 м

Расход воздуха в конце трубопровода, $м^3/с$	Коэффициент утечек воздуха при длине трубопровода, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
Для труб диаметром 0,6 м															
0,5	1,01	1,02	1,07	1,14	1,22	1,31	1,43	1,56	1,72	1,90	2,10	2,60	3,23	4,06	6,47
1,0	1,01	1,03	1,08	1,15	1,24	1,36	1,50	1,67	1,87	2,11	2,40	3,12	4,14	5,57	
1,5	1,01	1,03	1,08	1,17	1,27	1,41	1,58	1,79	2,04	2,35	2,73	3,76	5,32		
2,0	1,01	1,03	1,09	1,18	1,30	1,46	1,66	1,91	2,23	2,62	3,12	4,54			
2,5	1,01	1,03	1,10	1,20	1,33	1,51	1,74	2,04	2,43	2,93	3,57				
3,0	1,01	1,03	1,10	1,21	1,36	1,57	1,83	2,19	2,65						
3,5	1,01	1,03	1,11	1,23	1,39	1,62	1,93	2,34							
4,0	1,01	1,03	1,12	1,24	1,43	1,68	2,03								
4,5	1,01	1,04	1,12	1,26	1,46	1,74									
5,0	1,01	1,04	1,13	1,28	1,49										
5,5	1,01	1,04	1,14	1,29	1,53										
6,0	1,01	1,04	1,14	1,31											
6,5	1,01	1,04	1,15	1,33											
7,0	1,01	1,04	1,16												
7,5	1,01	1,05	1,16												
8,0	1,01	1,05	1,17												
Для труб диаметром 0,8 м															
0,5	1,01	1,01	1,04	1,08	1,13	1,18	1,24	1,31	1,39	1,47	1,57	1,79	2,04	2,35	3,13
1,0	1,01	1,02	1,04	1,08	1,13	1,19	1,26	1,34	1,43	1,52	1,63	1,89	2,21	2,60	3,63
1,5	1,01	1,02	1,05	1,09	1,14	1,21	1,28	1,37	1,46	1,58	1,70	2,01	2,39	2,87	4,23
2,0	1,01	1,02	1,05	1,09	1,15	1,22	1,30	1,39	1,50	1,63	1,77	2,13	2,58	3,17	4,90
2,5	1,01	1,02	1,05	1,10	1,16	1,23	1,32	1,42	1,54	1,69	1,85	2,25	2,79	3,50	
3,0	1,01	1,02	1,05	1,10	1,17	1,24	1,34	1,45	1,59	1,74	1,93	2,39	3,02	3,88	
3,5	1,01	1,02	1,05	1,11	1,17	1,26	1,36	1,48	1,63	1,80	2,01	2,53	3,26	4,29	
4,0	1,01	1,02	1,06	1,11	1,18	1,27	1,38	1,52	1,67	1,87	2,09	2,68	3,53	4,75	
4,5	1,01	1,02	1,06	1,11	1,19	1,29	1,40	1,55	1,72	1,93	2,18	2,85	3,82		
5,0	1,01	1,02	1,06	1,12	1,20	1,30	1,43	1,58	1,77	2,00	2,27				
5,5	1,01	1,02	1,06	1,12	1,21	1,31	1,45	1,61	1,82	2,06	2,37				
6,0	1,01	1,02	1,06	1,13	1,22	1,33	1,47	1,65	1,86	2,13	2,47				
6,5	1,01	1,02	1,07	1,13	1,22	1,34	1,49	1,68	1,92	2,21	2,57				
7,0	1,01	1,02	1,07	1,14	1,23	1,36	1,52	1,72	1,97	2,28					
7,5	1,01	1,02	1,07	1,14	1,24	1,37	1,54	1,75	2,02	2,36					
8,0	1,01	1,02	1,07	1,15	1,25	1,39	1,56	1,79	2,08						
8,5	1,01	1,02	1,07	1,15	1,26	1,40	1,59	1,83	2,13						

Расход воздуха в конце трубопровода, $м^3/с$	Коэффициент утечек воздуха при длине трубопровода, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
9,0	1,01	1,02	1,07	1,16	1,27	1,42	1,61								
9,5	1,01	1,02	1,08	1,16	1,28	1,43	1,64								
10,0	1,01	1,02	1,08	1,16	1,29	1,45	1,66								
Для труб диаметром 1,0 м															
0,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,21	1,26	1,32	1,38	1,51	1,67	1,84	2,27
1,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,13	1,17	1,22	1,27	1,33	1,40	1,55	1,72	1,92	2,42
1,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,13	1,18	1,23	1,29	1,35	1,42	1,59	1,78	2,00	2,58
2,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,45	1,62	1,84	2,09	2,75
2,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,19	1,25	1,32	1,39	1,47	1,66	1,90	2,18	2,93
3,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,15	1,20	1,26	1,33	1,41	1,50	1,71	1,96	2,27	3,13
3,5	1,00	1,01	1,03	1,07	1,11	1,15	1,21	1,27	1,35	1,43	1,53	1,75	2,03	2,37	3,34
4,0	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,16	1,22	1,29	1,36	1,45	1,55	1,79	2,09	2,48	3,56
4,5	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,16	1,23	1,30	1,38	1,47	1,58	1,84	2,16	2,58	3,80
5,0	1,00	1,01	1,04	1,07	1,12	1,17	1,23	1,31	1,39	1,49	1,61	1,88	2,24	2,69	
5,5	1,00	1,01	1,04	1,07	1,12	1,17	1,24	1,32	1,41	1,51	1,63	1,93	2,31	2,81	
6,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,54	1,66	1,98	2,39	2,93	
6,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,19	1,26	1,34	1,44	1,56	1,69	2,03	2,47		
7,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,19	1,27	1,35	1,46	1,58	1,72	2,08	2,55		
7,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,20	1,27	1,37	1,47	1,60	1,75	2,13			
8,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,14	1,20	1,28	1,38	1,49	1,63	1,78	2,18			
8,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,14	1,21	1,29	1,39	1,51	1,65	1,81	2,23			
9,0	1,00	1,01	1,04	1,09	1,14	1,21	1,30	1,40	1,53	1,67	1,84	2,29			
9,5	1,00	1,01	1,04	1,09	1,15	1,22	1,31	1,41	1,54	1,70	1,88	2,35			
10,0	1,00	1,01	1,04	1,09	1,15	1,22	1,31	1,43	1,56	1,72	1,91				

Таблица 5.5

Значения коэффициента удельной стыковой воздухопроницаемости для жестких трубопроводов при фланцевом соединении

Способ уплотнения стыков	$k_{ут.ст}$
Уплотнение стыков резиновыми прокладками с обмазкой синтетической мастикой	0,0006
Уплотнение стыков при помощи прокладок из пенькового каната и промасленного картона	0,003
Уплотнение стыков резиновыми прокладками с дополнительным уплотнением пеньковым жгутом, пропитанным кабельной мастикой	0,0004
Уплотнение при помощи резиновых прокладок	0,006

При использовании комбинированного гибкого трубопровода коэффициент уточек воздуха определяется по формуле

$$k_{ут.тр} = k_{ут.тр_1} \cdot k_{ут.тр_2}, \qquad (5.19)$$

где $k_{ут.тр_1}$ — коэффициент утечек воздуха для конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава; определяется по табл. 5.4;

$k_{ут.тр_2}$ — коэффициент утечек воздуха для участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом; определяется по табл. 5.6. При определении значения $k_{ут.тр_2}$ по табл. 5.6 значение $Q'_{з.п}$ следует определять по формуле

$$Q'_{з.п} = Q_{з.п}\, k_{ут.тр_1}. \qquad (5.20)$$

Таблица 5.6

Значения коэффициентов утечек воздуха для трубопроводов с полиэтиленовым рукавом

Длина трубопровода, м	Диаметр трубопровода, м	Значения коэффициента утечек воздуха при $Q_{з.п}$ (м³/мин)			
		до 150	151-300	301-450	451-600
до 500	0,6-1,0	1,01-1,01	1,02-1,01	1,04-1,01	1,06-1,01
501-600	0,6-1,0	1,02-1,01	1,04-1,01	1,06-1,01	1,08-1,01
601-800	0,6-1,0	1,04-1,01	1,07-1,01	1,11-1,01	1,15-1,02
801-1000	0,6-1,0	1,04-1,01	1,10-1,02	1,15-1,02	1,19-1,03
1001-1500	0,6	1,11	1,23	1,25	—
	0,8-1,0	1,03-1,02	1,06-1,03	1,11-1,05	1,14-1,06
1501-2000	0,6	1,19	1,45	1,71	—
	0,8-1,0	1,06-1,03	1,14-1,06	1,19-1,09	1,28-1,12
2001-2500	0,6	1,38	1,56	—	—
	0,8-1,0	1,12-1,04	1,23-1,10	1,35-1,14	1,40-1,19

5.3.4. Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха определяется по формуле

$$R_{тр.г} = r_{тр}\,(l_{тр} + 20\, d_{тр} n_1 + 10\, d_{тр} n_2), \qquad (5.21)$$

где $r_{тр}$ — удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха, кμ/м; для

труб типа 1А, 1В при длине звена 20 м значение это принимается для диаметров 0,2 (0,21); 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8 и 1,0 м соответственно равным 7,86; 1,33; 0,304, 0,177, 0,071; 0,0161 и 0,0053 кμ/м.

n_1 и n_2 — число поворотов трубопроводов на 90° и 45° соответственно.

Аэродинамическое сопротивление гибкого комбинированного вентиляционного трубопровода определяется по формуле

$$R_{тр.г} = r_{тр}\,(l_{тр_1} + 20\, d_{тр_1} n_1 + 10\, d_{тр_1} n_2) + \\ + r_{тр.к}\,(l_{тр_2} + 20\, d_{тр_2} n_1 + 10\, d_{тр_2} n_2), \qquad (5.22)$$

где $l_{тр_1}$ — длина конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;

$d_{тр_1}$ — диаметр конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;

$r_{тр.к}$ — аэродинамическое сопротивление 1 м трубопровода с полиэтиленовым рукавом; принимается равным 0,0194; 0,0046 и 0,00153 кμ/м при диаметре труб 0,6; 0,8 и 1,0 м соответственно;

$l_{тр_2}$ — длина участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м;

$d_{тр_2}$ — диаметр участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м.

Аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода и фасонных частей без утечек воздуха определяется по формуле

$$R_{тр.ж} = 1{,}2\, R_{тр} + \sum R_м, \qquad (5.23)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий нелинейности трубопровода и несоответствие стыков;

$R_{тр}$ — аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода без утечек воздуха, кμ; определяется по табл. 5.7 или по формуле

$$R_{тр} = \frac{6{,}5\, \alpha l_{тр}}{d_{тр}^5}, \qquad (5.24)$$

Подача вентилятора, работающего на гибкий или жесткий трубопровод, определяется по формуле

$$Q_в = Q_{з.п} k_{ут.тр}. \qquad (5.25)$$

При проветривании выработок с использованием воздухозаборных камер на строящихся шахтах (см. рис. 5.6 *в, г, д*) подача вентилятора, установленного на поверхности, определяется по формуле

$$Q_в = Q_{в.с} k_{ут.тр}. \qquad (5.26)$$

Подача вентилятора, установленного на поверхности, на период проходки стволов при комбинированных схемах проветривания (см. рис. 5.1 *в*) определяется по формуле

$$Q_в = Q_{в.с} k_{ут.вн}, \qquad (5.27)$$

где $Q_{вс}$ — расход воздуха, который необходимо подавать к всасу ВМП, установленного в стволе воздухозаборной камеры, м^3/мин; определяется по формулам (5.36) или (5.37);

$k_{ут.вн}$ — коэффициент, учитывающий подсосы воздуха через вентиляционный канал и перекрытие ствола;принимается равным 1,35–1,40.

Давление вентилятора, работающего на гибкий вентиляционный трубопровод или гибкий комбинированный трубопровод (депрессия трубопровода), определяется по формуле

$$h_в = Q_в^2 R_{тр.г} \left(\frac{0,59}{k_{ут.тр}} + 0,41 \right)^2. \qquad (5.28)$$

Давление вентилятора, работающего на жесткий вентиляционный трубопровод (депрессия трубопровода), определяется по формуле

$$h_в = \frac{Q_в^2 R_{тр.ж}}{k_{ут.тр}}. \qquad (5.29)$$

При проветривании стволов по схеме, приведенной на рис. 5.8 *в*, давление вентилятора, установленного на поверхности (депрессия сети), определяется по формуле

$$h_в = \frac{Q_в^2 R_c}{k_{ут.вн}}, \qquad (5.30)$$

где R_c — аэродинамическое сопротивление сети (вентиляционной установки, участка ствола со свежей струей, вентиляционной сбойки, участка ствола с исходящей струей воздуха, нулевой рамы), кμ.

Выбор вентилятора производится путем нанесения расчетного режима его работы $Q_в$ и $h_в$ (см. рис. 5.9, точка А), определяемого по формулам (5.25), (5.26) или (5.27) и формулам (5.28), (5.29) или (5.30) соответственно, на график аэродинамических характеристик вентиляторов. При этом для проветривания выработки следует принимать такой вентилятор (или несколько вентиляторов, установленных последовательно или параллельно), аэродинамическая характеристика которого проходит через точку с координатами расчетного режима $Q_в$ и $h_в$ или выше ее.

При использовании вентиляционных трубопроводов из гибких труб типов 1А и 1Б предварительно можно выбрать вентилятор по табл. 5.10 в зависимости от диаметра и максимальной длины трубопровода и значения $Q_{з.п}$, а затем уточнить тип вентилятора по аэродинамической характеристике трубопровода.

Если аэродинамическая характеристика вентилятора (или нескольких вентиляторов, установленных последовательно или параллельно) проходит выше точки с координатами расчетного режима $Q_в$ и $h_в$, то для определения подачи $Q_{в.р}$ и $h_{в.р}$ выбранного вентилятора (вентиляторов) необходимо нанести аэродинамическую характеристику трубопровода (сети) на график аэродинамической характеристики вентилятора. Точка пересечения характеристик (см. рис. 5.9, точка Б) определяет значения $Q_{в.р}$ и $h_{в.р}$. В атом случае расход воздуха у забоя составит

$$Q_{з.п.р} = 1,69 \sqrt{\frac{h_{в.р}}{R_{тр.г}}} - 0,69\, Q_{в.р}. \qquad (5.31)$$

Построение аэродинамической характеристики жесткого трубопровода или сопротивления сети выработок для схемы, приведенной на рис. 5.8 *в*, производится следующим образом. Задавая значения расхода воздуха 1, 2, 3 и т.д. в м^3/с, определяют значения $h_в$ (даПа) по формулам (5.29), (5.30). По парным значениям $Q_в$ и $h_в$ следует нанести на графике точки и соединить их кривой (рис. 5.9, кривая *1*).

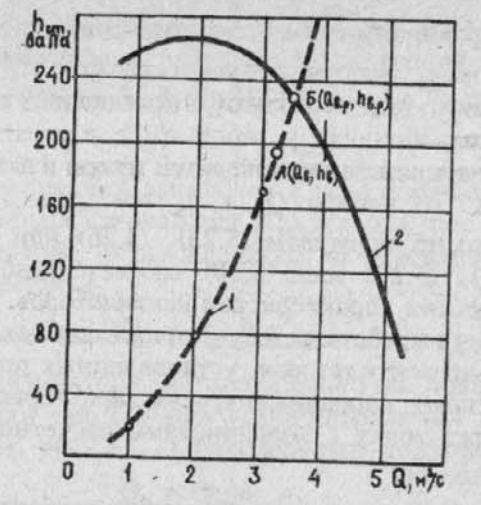

Рис. 5.9. Определение режима работы вентилятора: *1* — аэродинамическая характеристика трубопровода (сети); *2* — аэродинамическая характеристика вентилятора

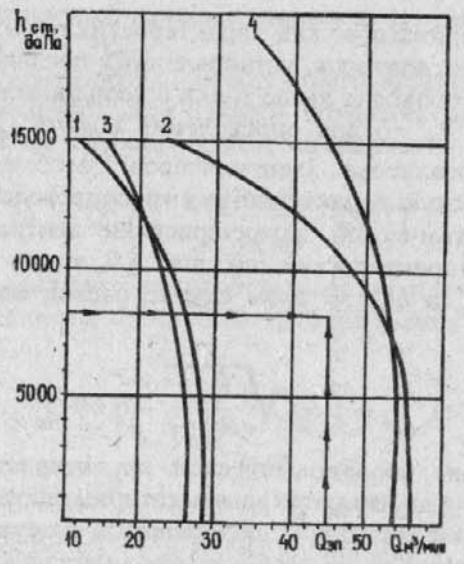

Рис. 5.10. Аэродинамические характеристики водокольцевых воздуходувок: *1* — ВК-25; *2* — две параллельно включенные ВК-25; *3* — РРМК; *4* — ВК-50

Таблица 5.10

Максимальная длина тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха у забоя, типа и количества вентиляторов, диаметра труб типов 1А и 1Б

Тип ВМП	Число ВМП, схема соединения ВМП	Диаметр труб, м	Максимальная длина тупиковой выработки (м) при расходе воздуха, необходимом для проветривания призабойного пространства, $Q_{з.п}$, м³/с												
			1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0
ВМ-4	один	0,5	330	170	80										
		0,6	500	300	150										
ВМ-5	один	0,5	515	325	225	150									
		0,6	800	560	410	300	220								
ВМ-5	два, пс	0,5	810	560	400	275	180								
		0,6	1000	750	565	436	320	220	150	90					
СВМ-6	один	0,6	820	600	440	320	260	200	140	110					
		0,8	1550	1200	970	800	650	540	430	340	260	160			
СВМ-6	два, пс	0,6	1120	780	620	480	370	290	230	190	150	110			
		0,8	1770	1430	1160	980	820	680	580	470	380	290	140		
СВМ-6	два, пр	0,6	830	620	450	340	270	210	170	140	110	90	—	—	150
		0,8	1650	1370	1130	950	800	670	580	490	420	360	270	210	
СВМ-6	четыре, по два пс, соединенных пр	0,6	1050	850	670	540	440	360	290	250	220	190	140	100	—
		0,8	1950	1600	1360	1180	1040	900	780	680	580	520	410	320	260
ВМ-6	один	0,6	920	680	510	400	320	250	200	160	140	100	—	—	—
		0,8	1700	1400	1160	960	800	680	570	470	380	300	200	100	—
ВМ-6	два, пс	0,6	1200	890	710	690	490	400	320	270	220	180	100	—	—
		0,8	1940	1570	1320	1120	950	810	700	600	520	430	290	150	—
ВМ-6	два, пр*	0,6	930	700	520	410	330	260	210	170	150	130	90	—	—
		0,8	1770	1450	1220	1050	910	780	670	580	520	450	340	270	210
ВМ-6	четыре по два пс, соединенных пр**	0,6	1160	900	750	600	520	440	380	320	270	230	170	130	100

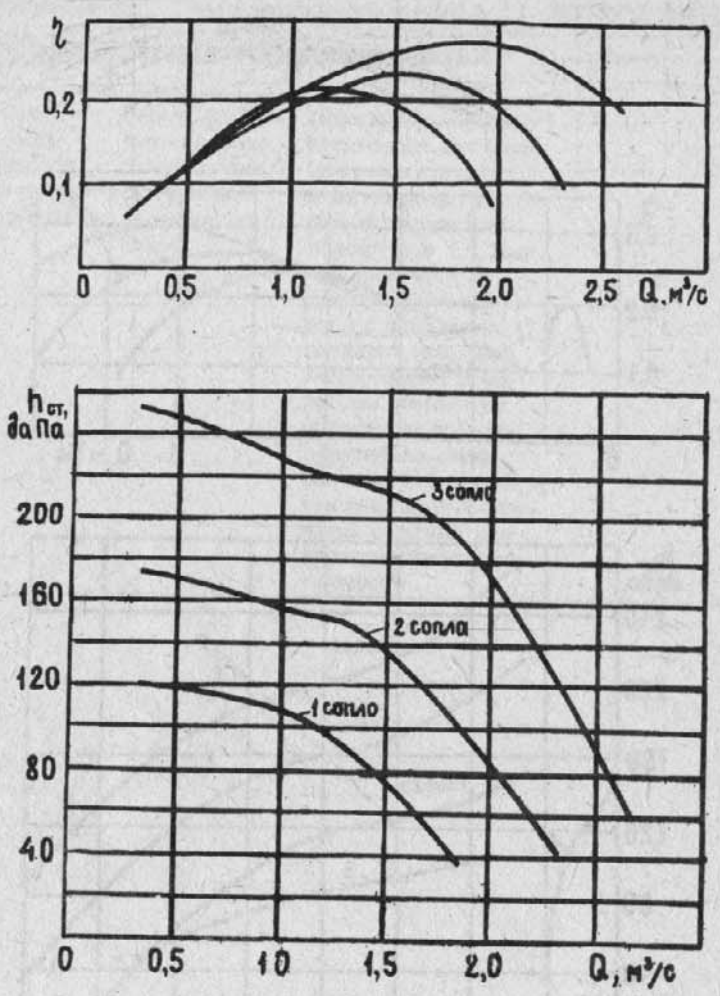

Рис. П.1.2. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМП-4 при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа

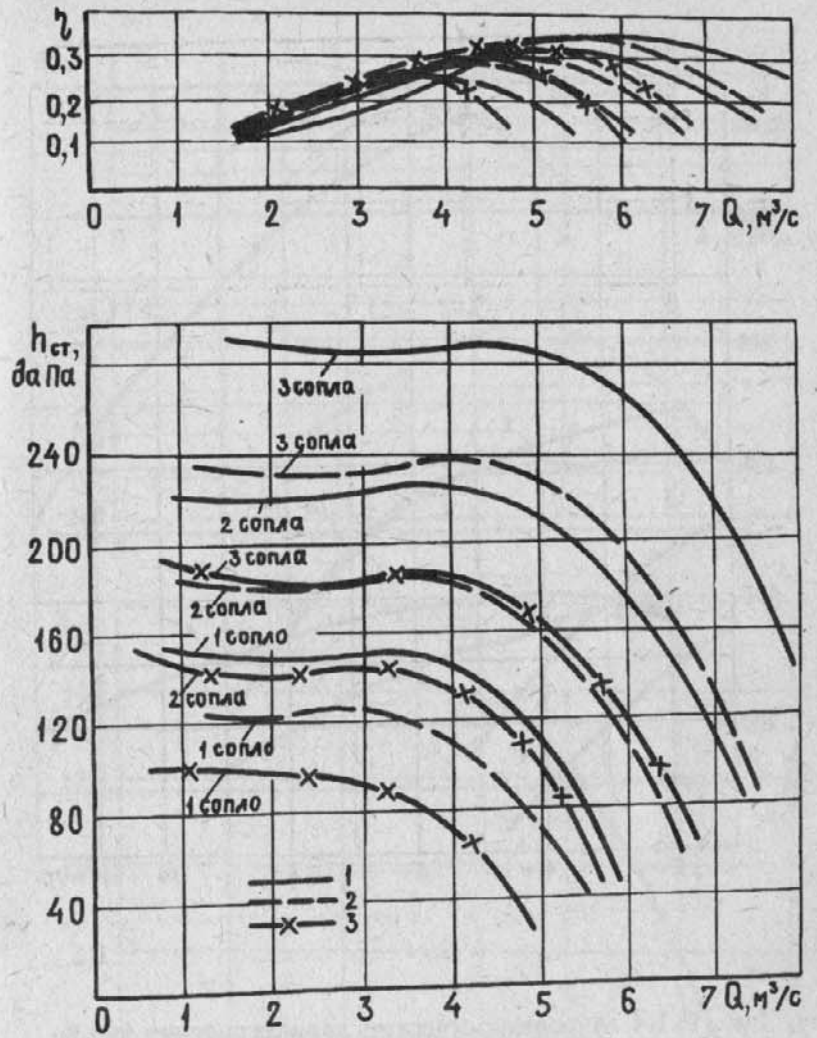

Рис. П.1.3. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМП-6 при давлении сжатого воздуха: 1-0,5 МПа; 2-0,4 МПа и 3-0,3 МПа

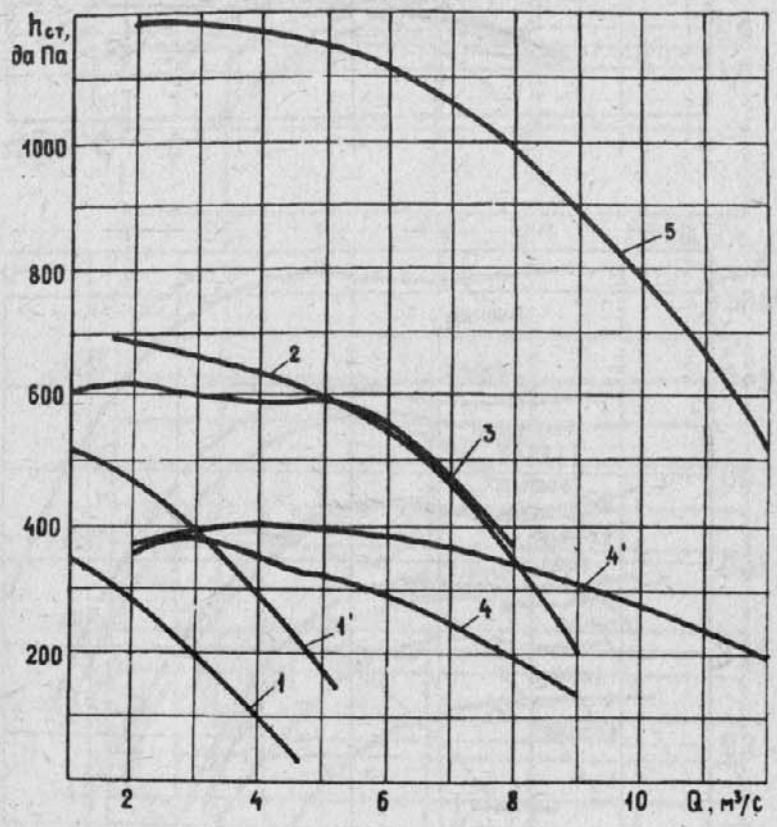

Рис. П.1.4. Аэродинамические характеристики источников тяги: 1-1 — эжектор ЭДД-5 м (диаметр сопла 38 мм, давление сжатого воздуха 0,3 МПа и 0,4 МПа); 2 — вентилятор ВМЦ-6; 3 — вентилятор ВЦО-0,6; 4′ и 4 — вентилятор ВГЭ-8 при θ = 16° и θ = 21°; 5 — вентилятор ВМЦГ-7М при θ = 30°

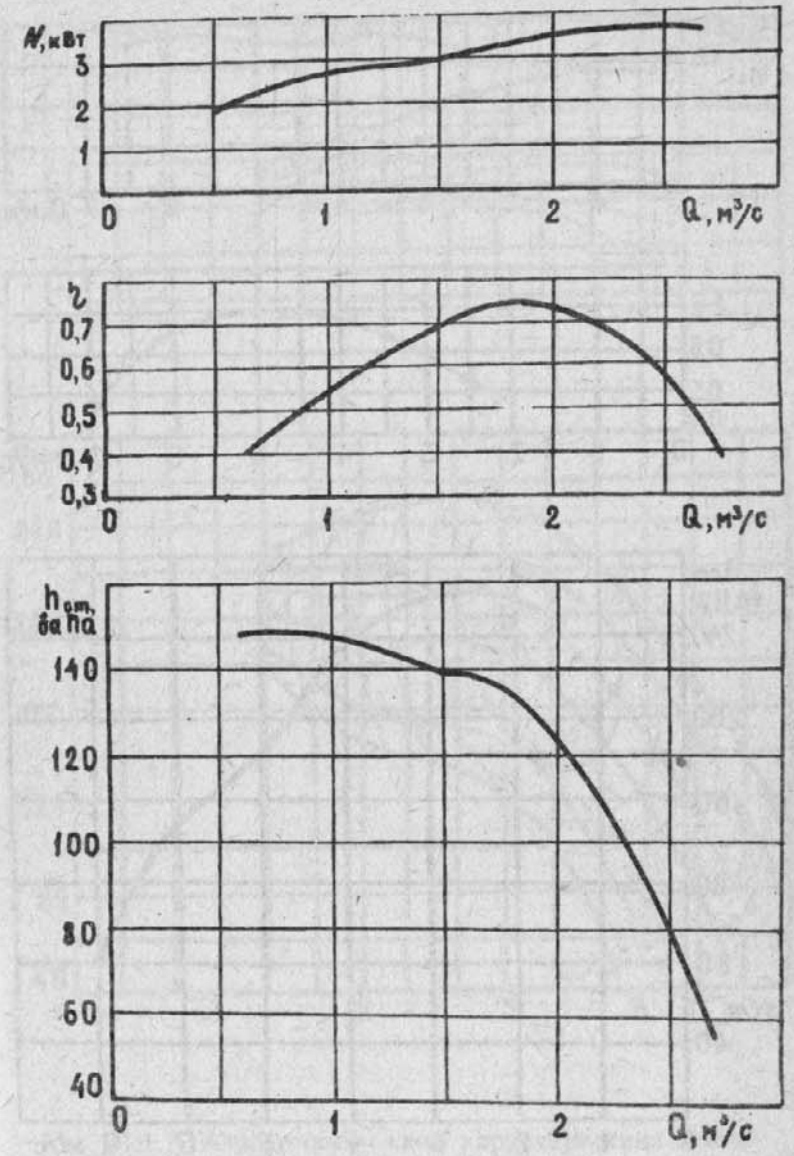

Рис. П.1.5. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-4

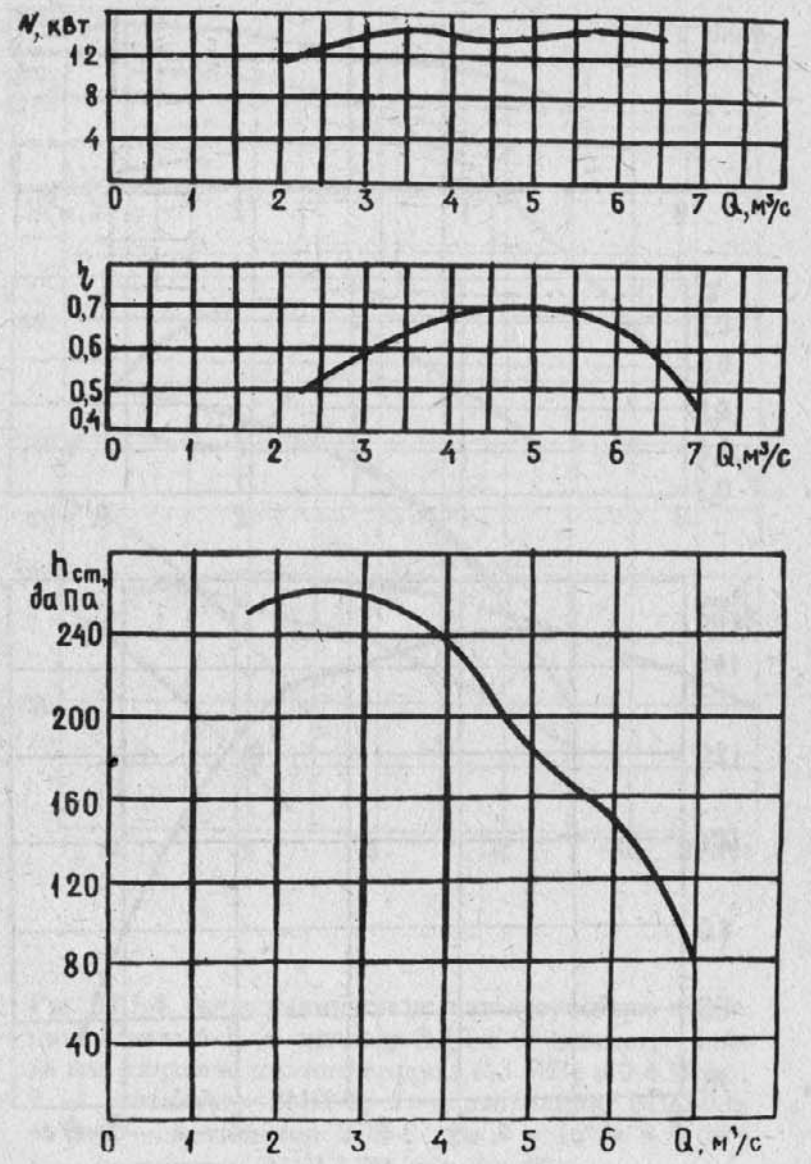

Рис. П.1.6. Аэродинамическая характеристика вентилятора СВМ-6

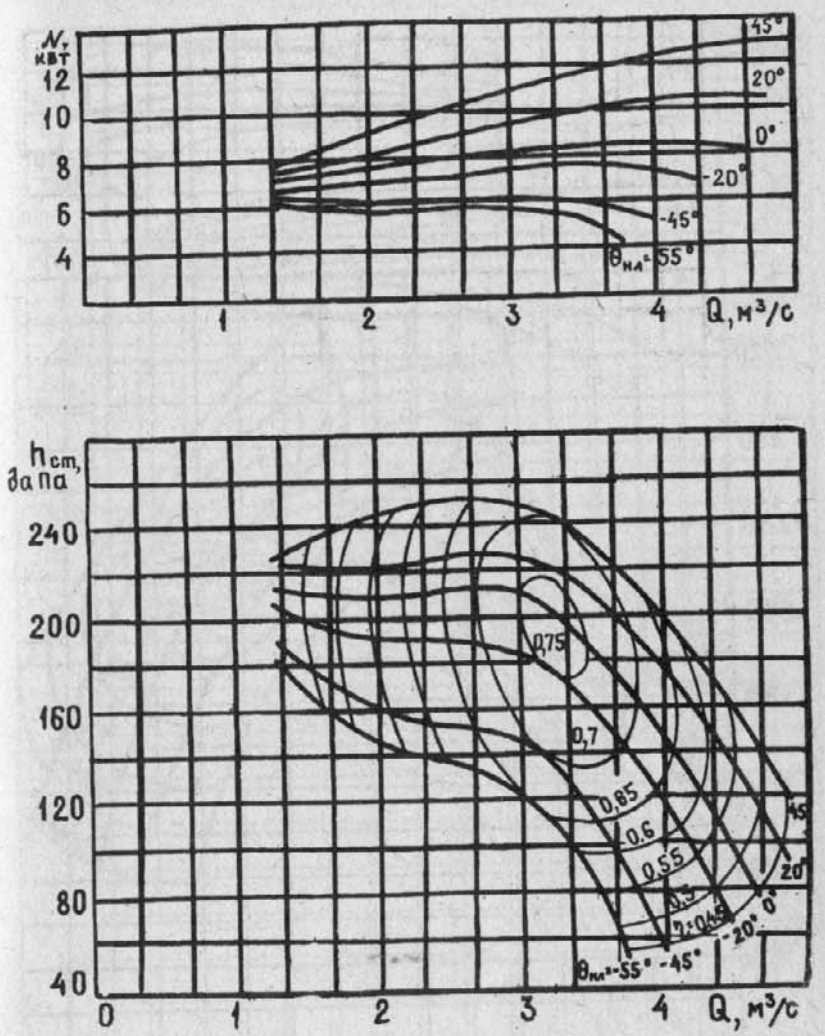

Рис. П.1.7. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-5

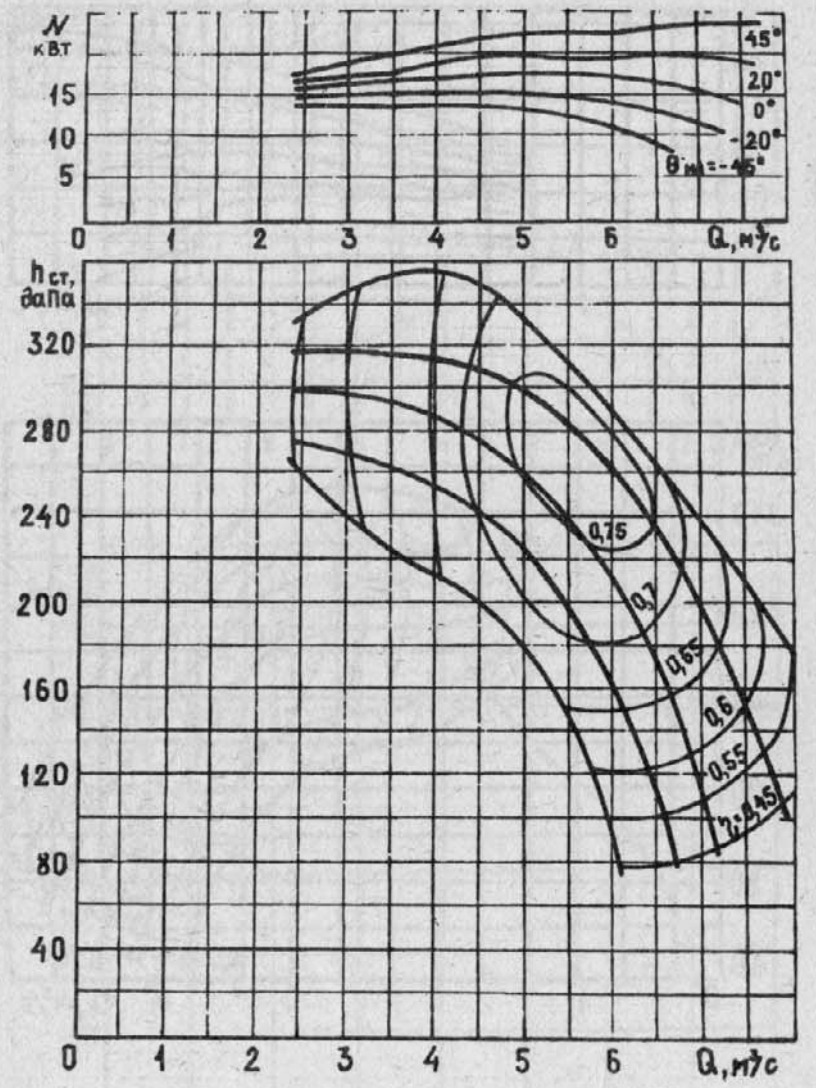

Рис. П.1.8. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-6

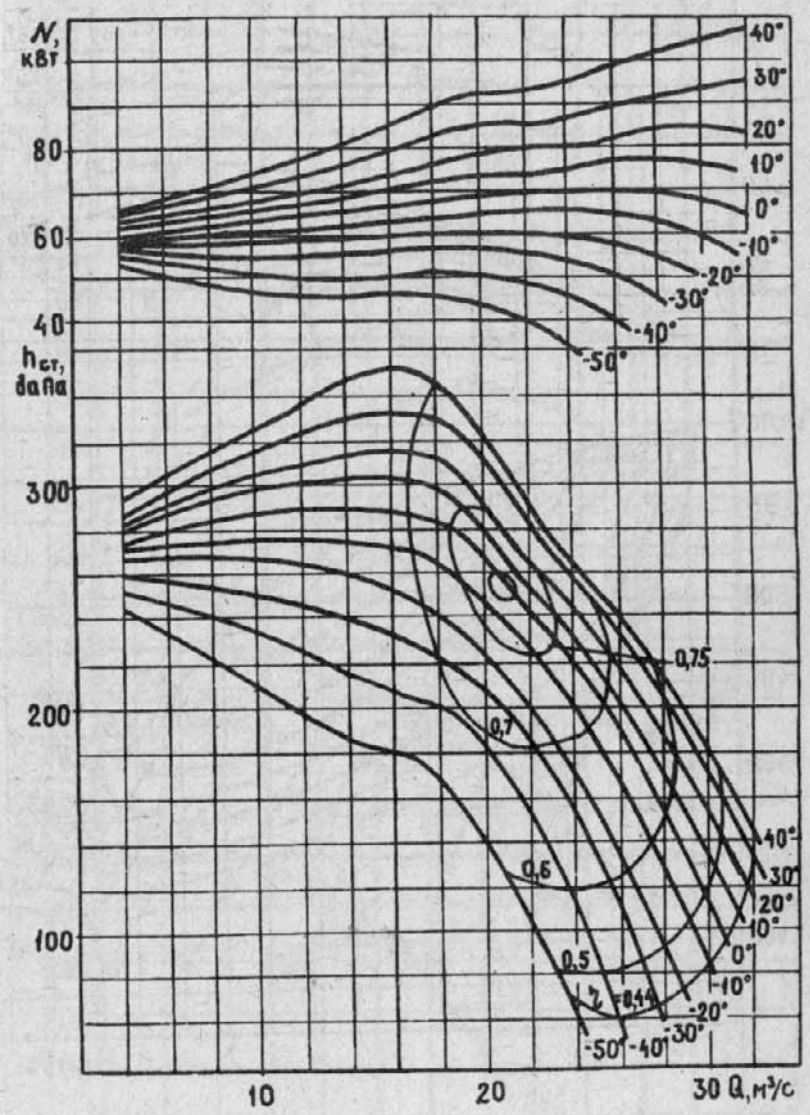

Рис. П.1.9. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЭ-12

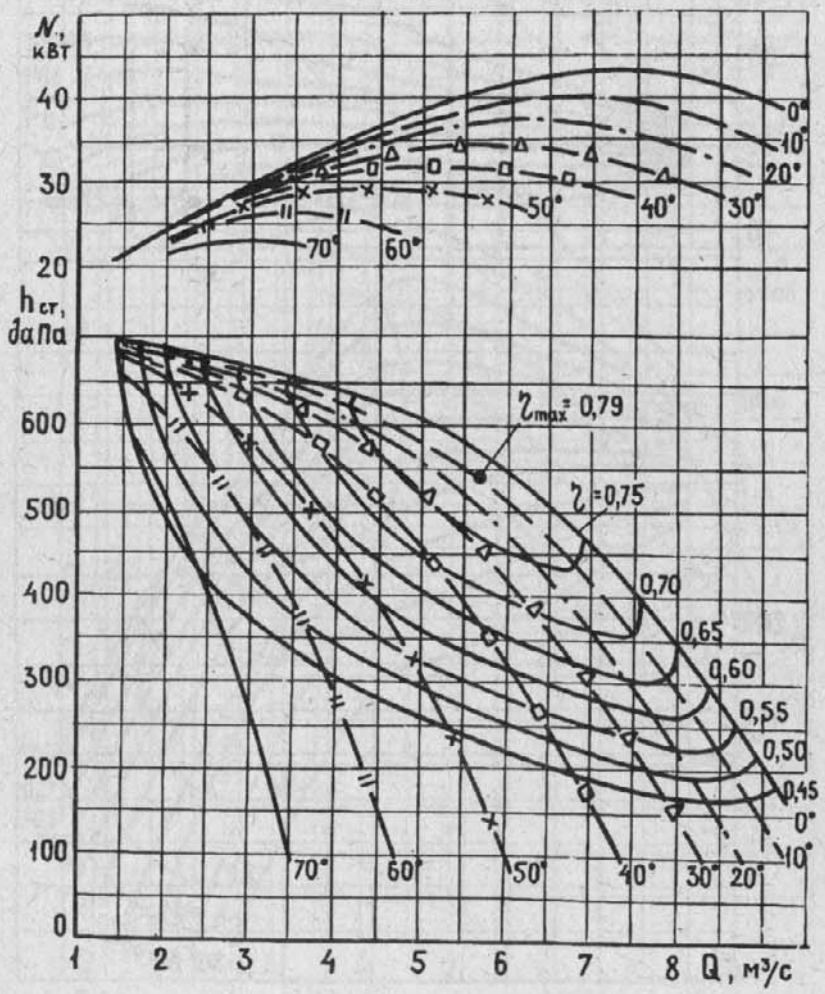

Рис. П.1.10. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЦ-6

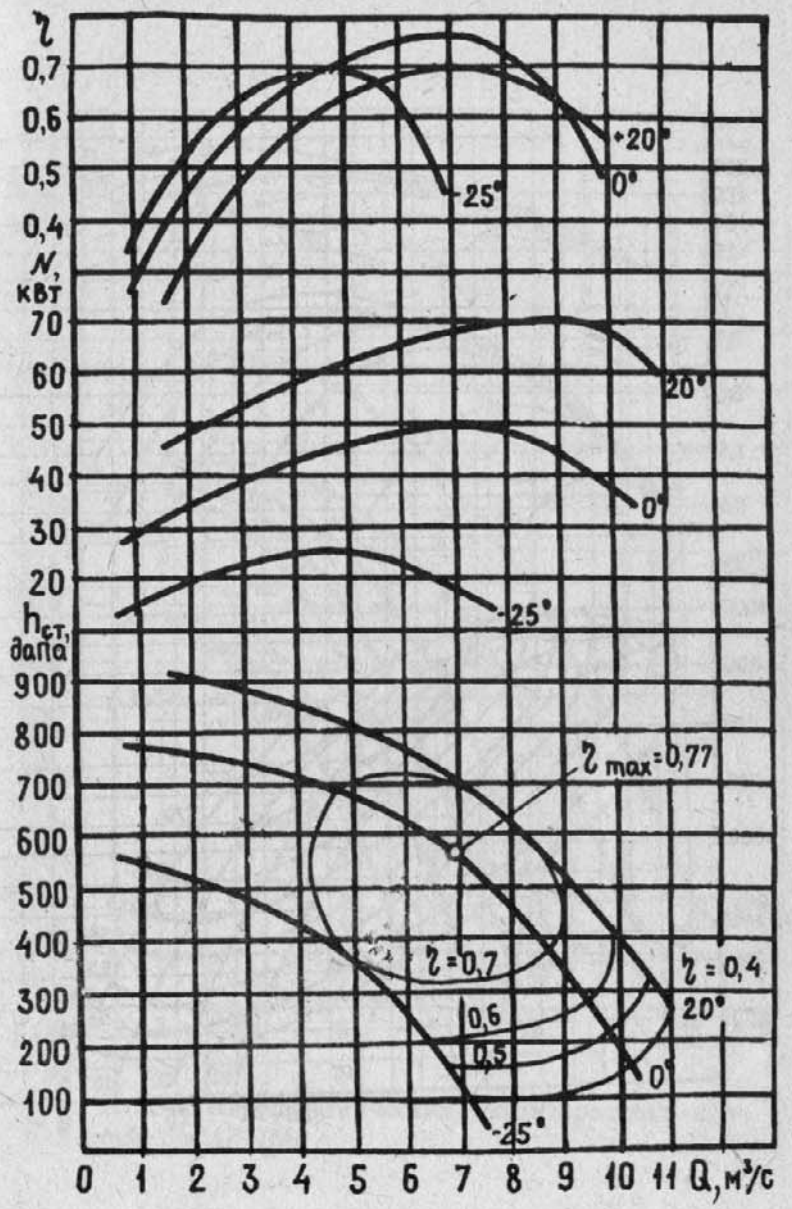

Рис. П.1.11. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЦ-8

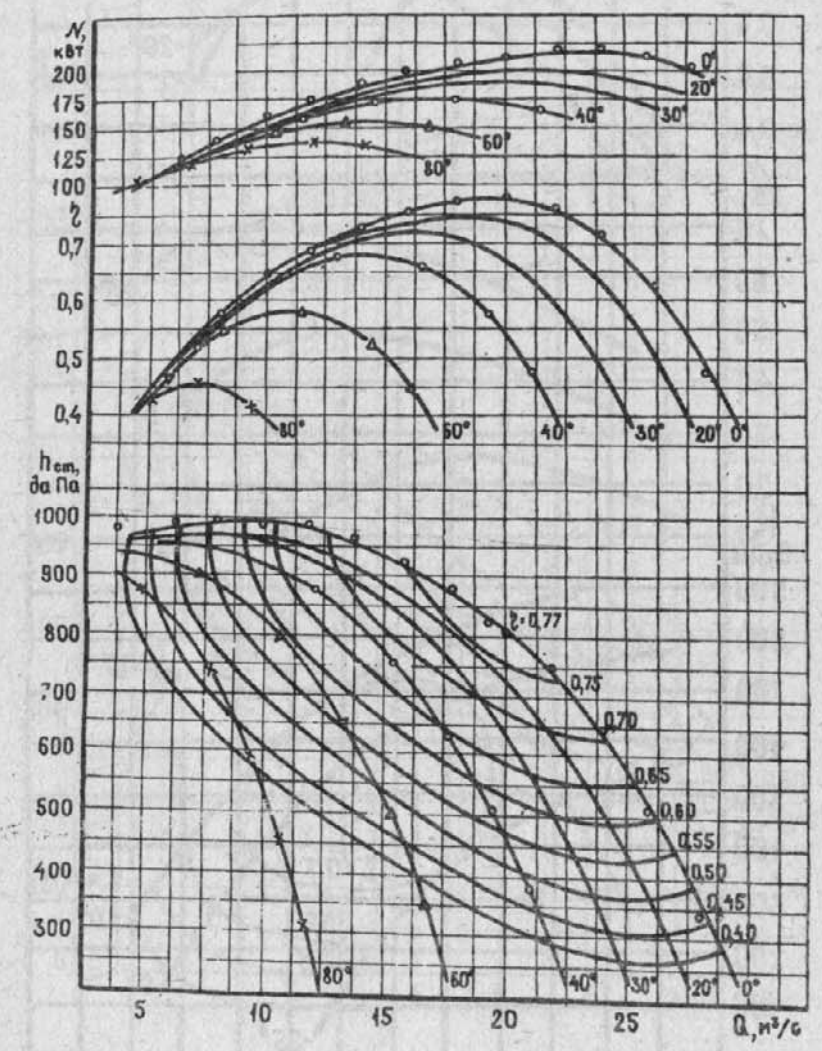

Рис. П.1.12. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВЦ-9

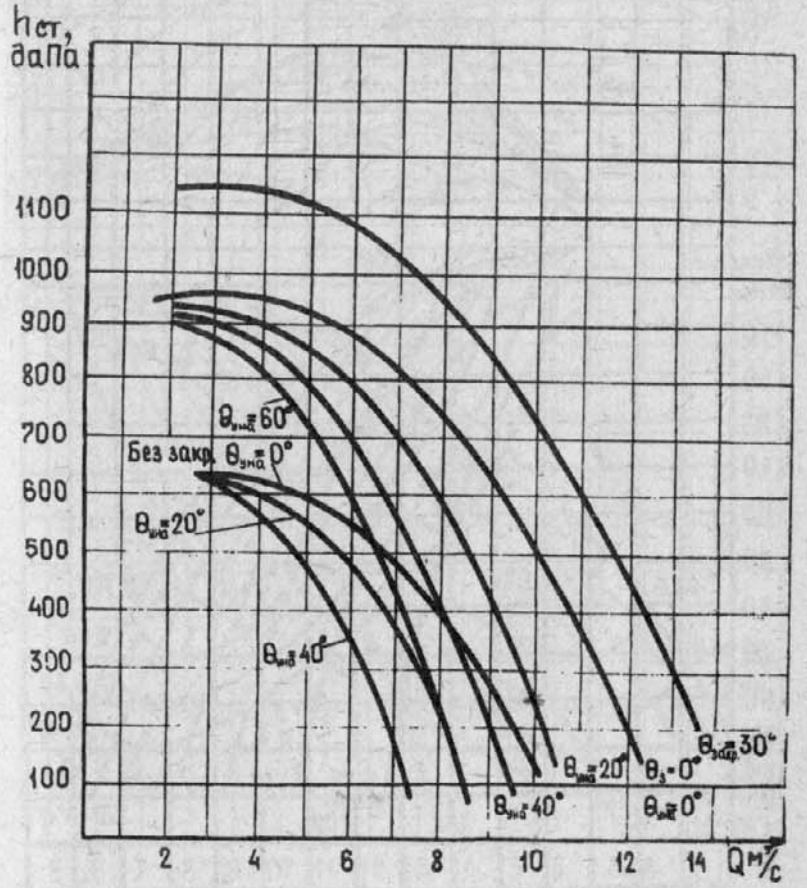

Рис. П.1.13. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЦГ-7М

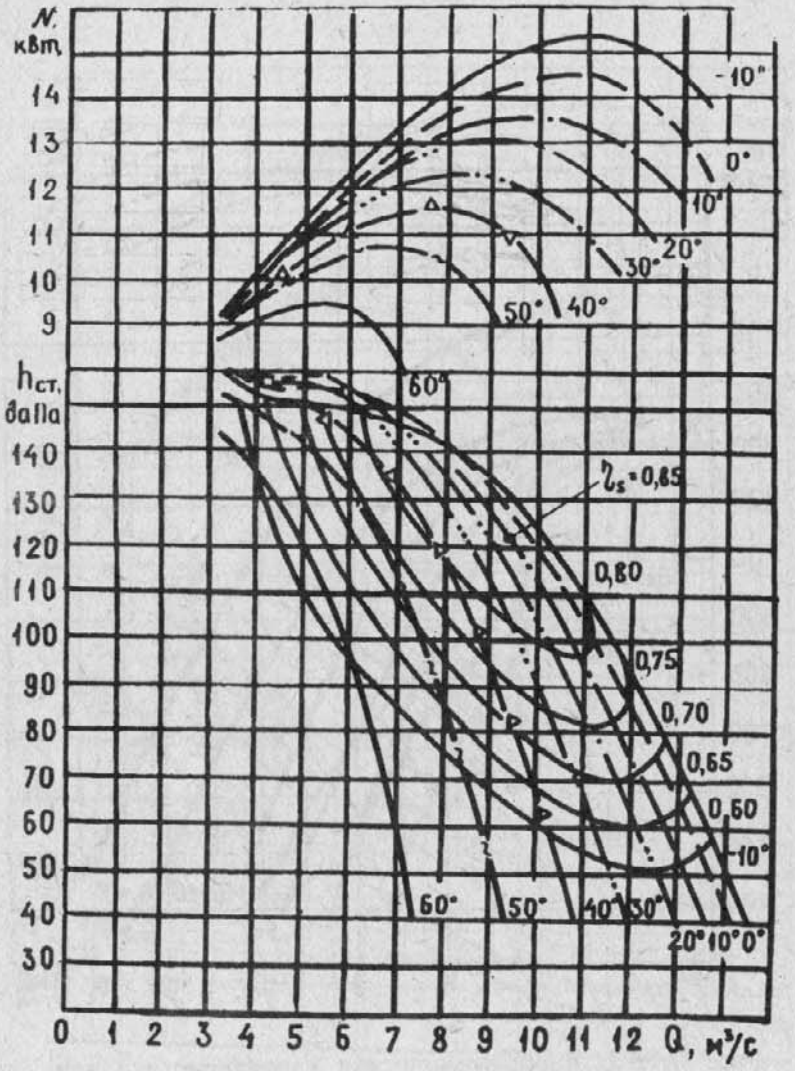

Рис. П.1.14. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВЦ-11М при $n = 980$ об/мин

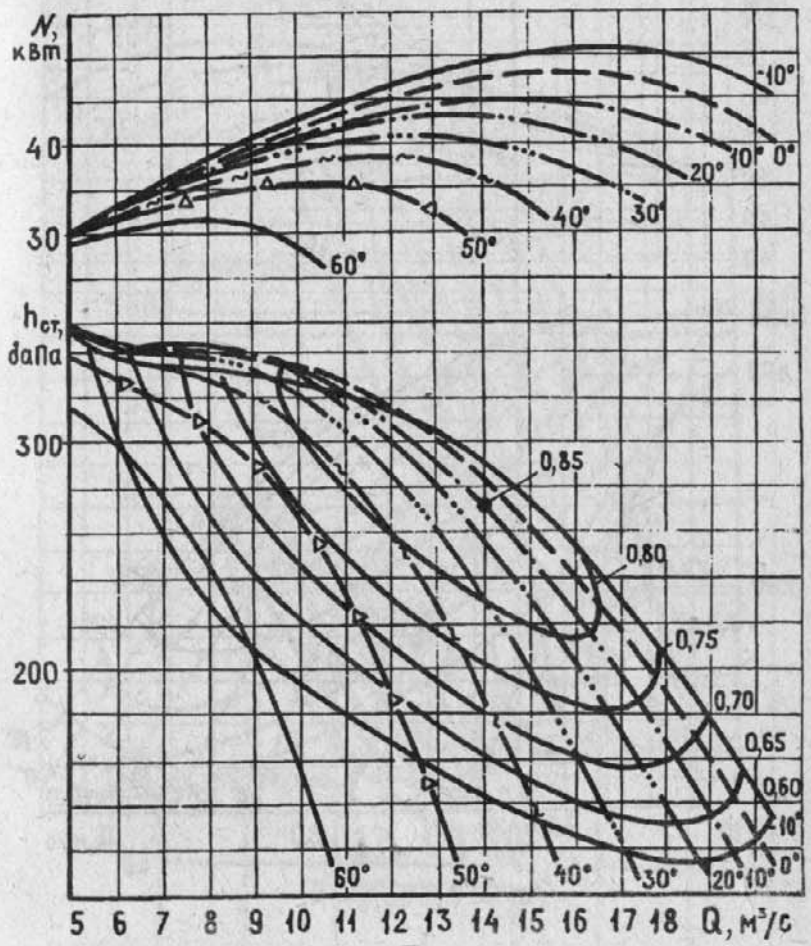

Рис. П.1.15. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВЦ-11 при $n = 1460$ об/мин