

или

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2 \left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_6} \left(\frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \cos \alpha + K_n''$$

где  $K_n''$  см. табл. 7-2.

16. Коэффициенты сопротивления нестандартизованных приточных тройников нормальной формы при турбулентном течении могут быть вычислены по формулам С. Р. Левина [7-28] и В. Н. Талиева [7-43], в которые внесены поправочные коэффициенты, полученные путем сопоставления расчета с опытными данными [7-28, 7-54, 7-60, 7-66, 7-78].

Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = A' \left[ 1 + \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 - 2 \frac{w_6}{w_c} \cos \alpha \right] - K_6' \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2$$

или

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = A' \left[ 1 + \left(\frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_6}{F_c}\right)^2 - 2 \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_6}{F_c} \cos \alpha \right] - K_6' \left(\frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_6}{F_c}\right)^2, \quad (7-3)$$

где  $K_6'$  — коэффициент сжатия потока.

Для тройников типа  $F_6 + F_n > F_c$ ,  $F_n = F_c$  величину  $A'$  см. табл. 7-4, а  $K_6'$  принимается равной нулю.

7-4. Значения  $A'$

$F_6/F_c$	$\leq 0,35$		$< 0,35$	
$Q_6/Q_c$	$\leq 0,4$	$\geq 0,4$	$\leq 0,6$	$> 0,6$
$A'$	$1,1 - 0,7Q_6/Q_c$	0,85	$1,0 - 0,6Q_6/Q_c$	0,6

Для тройников типа  $F_6 + F_n = F_c$  значение  $A' = 1,0$  и  $K_6'$  см. табл. 7-5.

7-5. Значения  $K_6'$

$\alpha^\circ$	15	30	45	60	90
$K_6'$	0,04	0,16	0,36	0,64	1,0

Прямой проход

Для тройников типа  $F_6 + F_n > F_c$ ,  $F_n = F_c$  (в пределах  $w_n/w_c \leq 1,0$ )

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = \tau_n (Q_6/Q_c)^2, \quad (7-4)$$

где  $\tau_n$  см. диаграмму 7-20.

Для тройников типа  $F_6 + F_n = F_c$   $\zeta_{c,n} = f(w_n/w_c)$  см. диаграмму 7-20.

17. Независимость коэффициента сопротивления приточных тройников нормальной формы от отношений площадей  $F_6/F_c$  и  $F_n/F_c$  позволяет при графическом выражении этих коэффициентов в функции  $w_6/w_c$  и соответственно  $w_n/w_c$  (а не  $Q_6/Q_c$  и  $Q_n/Q_c$ ) получить обобщенные кривые. Поэтому в седьмом разделе в отдельных случаях кривые сопротивления даются в виде  $\zeta_{c,6} = f(w_6/w_c)$  и соответственно  $\zeta_{c,n} = f(w_n/w_c)$ , хотя большинство кривых приведено в виде  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  и  $\zeta_{c,n} = f(Q_n/Q_c)$ .

18. Коэффициенты сопротивления стандартизованных тройников и тройников с узлами ответвления индустриальной конструкции могут быть вычислены при турбулентном течении по экстраполяционным формулам Л. С. Клячко и Л. Б. Успенской [7-21] (см. диаграммы 7-15—7-17, 7-25, 7-26).

19. Между коэффициентами сопротивления тройников, приведенными к средней скорости в сборном рукаве и к средней скорости в ответвлениях, существует простая связь\*1:

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2/2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left(\frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6}\right)^2}$$

и

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2/2} = \frac{\zeta_{c,n}}{\left(\frac{w_n}{w_c}\right)^2} = \frac{\zeta_{c,n}}{\left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2}$$

Общий коэффициент сопротивления тройника, приведенный к кинетической энергии в сборном рукаве [7-17 и 7-66],

$$\zeta_{общ} \equiv \frac{Q_6}{Q_c} \zeta_6 + \frac{Q_n}{Q_c} \zeta_n$$

20. Сопротивление тройников обычной формы может быть заметно снижено, если несколько скруглить место стыка бокового ответвления со сборным рукавом. При этом для вытяжных тройников следует скруглить угол поворота потока ( $r_1$  на рис. 7-5). Для приточных тройников скругление следует выполнять также и на разделяющей кромке ( $r_2$  на рис. 7-5); оно делает поток более устойчивым и уменьшает возможность его отрыва от этой кромки.

Практически скругление кромок сопряжения образующих бокового ответвления и основ-

\*1 Имеется в виду несжимаемая жидкость.

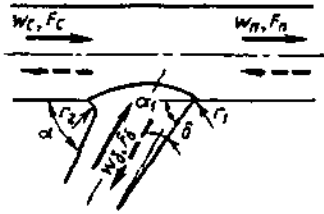


Рис. 7-5. Схема тройника улучшенной формы

ного трубопровода достаточно при  $r/D_c = 0,2 \div 0,3$  [7-14].

21. Предложенные выше формулы расчета коэффициентов сопротивления тройников и соответствующие им графические и табличные данные на диаграммах 7-2 относятся к тщательно изготовленным (точеным) тройникам. Производственные дефекты в тройниках, допущенные при их изготовлении [«проваль» бокового отклонения и «перекрытие» его сечения неправильным вырезом стенки в прямом участке (сборном рукаве, основном трубопроводе) для присоединения бокового ответвления], становятся источником резкого увеличения гидравлического сопротивления. Особенно значительно возрастание сопротивления боковых ответвлений, если диаметр выреза в основном трубопроводе для бокового ответвления меньше его диаметра.

22. Повышенное сопротивление получается также в тройниках, изготовленных из кровельной стали, отдельные детали которых соединены между собой с помощью лежачего фальца (см. диаграмму 7-22).

23. Эффективно снижает сопротивление как вытяжных, так и приточных тройников постепенное расширение (диффузор) бокового ответвления, которое заметно снижает потери как вследствие относительного уменьшения скорости потока в расширенном сечении, так и вследствие уменьшения истинного угла поворота потока при одном и том же номинальном угле разветвления тройника ( $\alpha_1 < \alpha$  на рис. 7-5). Сочетание скругления и среза кромки и расширения бокового ответвления еще больше снижает сопротивление тройника.

Наименьшее сопротивление имеют тройники с боковыми ответвлениями в виде плавных отводов (рис. 7-6), и там, где это практически возможно, следует применять тройники с малыми углами ответвления (до  $60^\circ$ ).

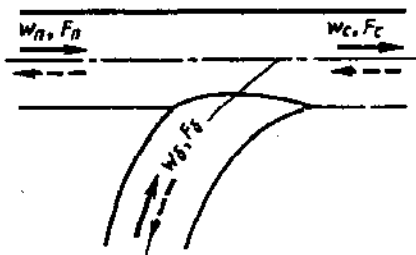


Рис. 7-6. Схема тройника с плавным отводом

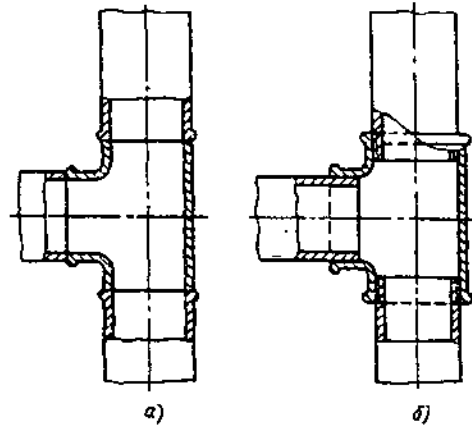


Рис. 7-7. Схема кольцевого выступа в стандартном тройнике:  
а — сварной тройник; б — соединение труб в тройнике на резьбе

24. В вытяжных тройниках при  $Q_b/Q_c \leq 0,8$  и соединении ответвлений на резьбе значения коэффициентов сопротивления получаются больше на 10—15%, чем при выполнении этого соединения сглаженным. При  $Q_b/Q_c > 0,8$  наблюдается обратное явление: коэффициент сопротивления обработанного тройника на 10—15% больше, чем при соединении ответвлений на резьбе [7-8, 7-9]. Это объясняется, вероятно, тем, что образование участка расширения сечения в области соединения ответвлений на резьбе (рис. 7-7) создает условие, подобное ступенчатому диффузору, при котором достигается уменьшение сопротивления по сравнению с диффузором с прямолинейными стенками (см. пятый раздел).

В приточных тройниках при соединении ответвлений на резьбе значения коэффициентов  $\zeta_{c,b}$  остаются практически такими же, как и для обработанных тройников. Значения  $\zeta_{c,n}$  получаются соответственно выше [7-8, 7-9].

25. Значения коэффициентов сопротивления тройников возрастают с увеличением приведенной скорости потока в сборном рукаве  $\lambda_c = w_c/a_{ср}$ . Зависимости  $\zeta_{c,b}$  и  $\zeta_{c,n}$  от  $\lambda_c$ , приведенные в работе [7-47] для некоторых тройников, даны на диаграмме 7-24.

26. При турбулентном течении ( $Re_c = w_c D_c / \nu \geq 4000$ ) коэффициенты сопротивления тройников мало зависят от числа Рейнольдса. Незначительное снижение  $\zeta_{c,b}$  с ростом  $Re_c$  наблюдается только в вытяжных тройниках [7-8, 7-9].

27. При переходе от турбулентного к ламинарному течению в пределах  $Re_c = 2 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^3$  происходит скачкообразное возрастание коэффициента  $\zeta_{c,b}$  как вытяжных, так и приточных тройников (рис. 7-8). То же самое происходит с коэффициентом  $\zeta_{c,n}$  приточного тройника. Для вытяжного тройника такой скачок коэффициента  $\zeta_{c,n}$  имеет место при  $\alpha > 60^\circ$  и  $F_b/F_c = 1$ ; при

$\alpha=45^\circ$  и  $F_6/F_c=1$  возрастания  $\zeta_{c,n}$  не происходит — он не зависит от  $Re_c$ . В случае  $\alpha=30^\circ$  и  $F_6/F_c=1,0$  наблюдается даже резкое уменьшение  $\zeta_{c,n}$  при переходе от турбулентного к ламинарному течению [7-8, 7-9].

28. При ламинарном течении значения коэффициентов сопротивления тройников существенно зависят от относительной длины прямого входного участка  $l_0/D_0$ , возрастая с увеличением этой длины в пределах стабилизации профиля скорости, как это имеет место и для отводов (см. шестой раздел) [7-8, 7-9].

29. Выражение для коэффициента сопротивления тройников при ламинарном течении имеет вид, предложенный В. П. Зубовым [7-8, 7-9]:

$$\zeta^n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2} = [(N-1)k_1 + 1]\zeta^r + \frac{A}{Re_c}, \quad (7-5)$$

где  $N = \frac{1}{F_c} \int \left(\frac{w}{w_c}\right)^3 dF$  — коэффициент кинетической энергии (Кориолиса) потока в сечении  $c-c$ ;  $k_1$  — поправочный коэффициент; индексы л и т обозначают соответственно ламинарное и турбулентное течение.

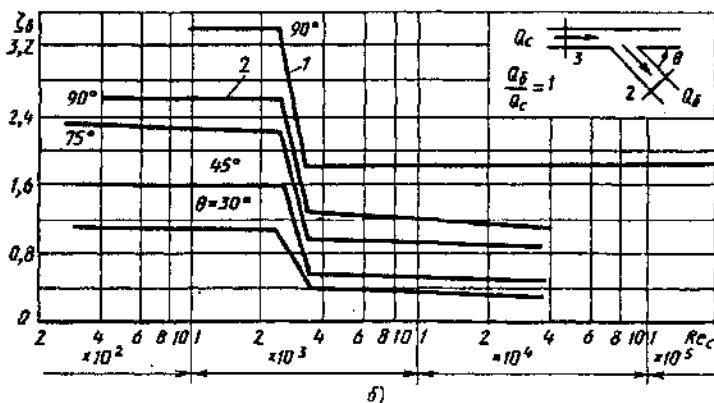
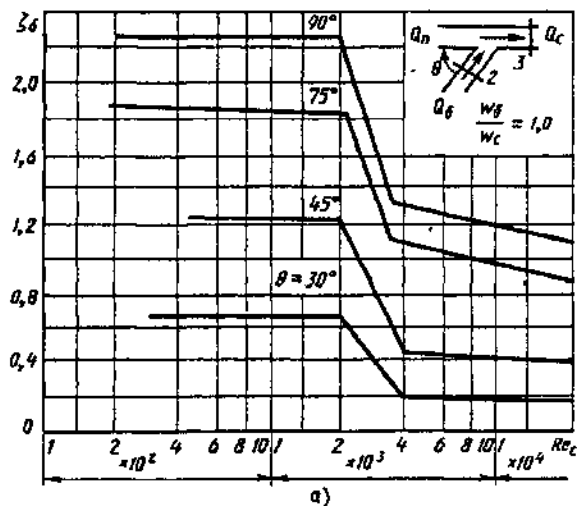


Рис. 7-8. Зависимость коэффициентов сопротивления  $\zeta_6$  тройников от числа  $Re$  [7-8]:

а — вытяжные тройники; б — приточные тройники

30. Для вытяжного тройника при ламинарном течении  $N=2$ , а для бокового ответвления  $k_1=1$ , так что согласно (7-5)

$$\zeta_{c,6}^n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2} = 2\zeta_{c,6}^r + \frac{A}{Re_c}, \quad (7-6)$$

где  $\zeta_{c,6}^r = \zeta_{c,6}$  см. (7-1);  $A$  — величина, зависящая от параметров  $\alpha$ ,  $Q_6/Q_c$  и  $F_6/F_c$ , но численное ее значение пока не установлено; ориентировочно  $A \approx 150$ .

Для прямого прохода согласно данным [7-8, 7-9]

$$\zeta_{c,n}^n = 2\zeta_{c,6}^r + a_0(1 - Q_6/Q_c)^2 - (1,6 - 0,3F_6/F_c) \left(\frac{F_c}{F_6} \cdot \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2,$$

где  $\zeta_{c,6}^r$  см. (7-6);  $a_0$  см. табл. 7-6.

7-6. Значения  $a_0$

$F_6/F_c$	$\leq 0,35$	$> 0,35$	
$Q_6/Q_c$	$0 - 1,0$	$\leq 0,2$	$> 0,2$
$a_0$	$1,8 - Q_6/Q_c$	$1,8 - 4Q_6/Q_c$	$1,2 - Q_6/Q_c$

31. Для приточного тройника при ламинарном течении ( $N=2$ ) коэффициент сопротивления бокового ответвления согласно (7-5)

$$\zeta_{c,6}^n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2} = (k_1 + 1)\zeta_{c,6}^r + \frac{A}{Re_c},$$

где  $\zeta_{c,6}^r = \zeta_{c,6}$  см. (7-3); ориентировочно  $A \approx 150$ ;  $k_1$  см. табл. 7-7 (при  $F_6/F_c=1$ )<sup>\*1</sup>.

Для прямого прохода тройника  $N=2$  и  $k_1=2$ , так что согласно (7-5)

$$\zeta_{c,n}^n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2} = 3\zeta_{c,n}^r + \frac{A}{Re_c},$$

где  $\zeta_{c,n}^r = \zeta_{c,n}$  см. (7-4); ориентировочно  $A \approx 33$ .

32. В равносторонних (симметричных) тройниках, которые применяются на практике в условиях противотока (слияния) (см. диаграмму 7-29), коэффициенты сопротивления обоих ответвлений практически совпадают.

33. При наличии перегородки в месте соединения двух боковых ответвлений симметричного тройника до слияния в сборном рукаве оба потока движутся независимо один от другого. После слияния в сборном рукаве происходит обычное турбулентное перемешивание потоков, движущихся с различными

\*1 При других значениях  $F_6/F_c$  коэффициент  $k_1$  пока неизвестен.

7-7. Значения  $k_1$

$Q_6/Q_c$	$\alpha^\circ$			
	30	45	60	90
При $F_6/F_c \leq 1$				
0	0,9	0,9	0,9	0,9
0,2	1,8	1,8	1,5	1,1
0,4	3,4	2,9	2,2	1,3
0,6	6,1	4,3	3,0	1,5
0,8	7,2	4,3	2,7	1,4
1,0	6,0	3,6	2,3	1,3
При $F_6/F_c \geq 1$				
До 0,4	0,9	0,9	0,9	0,9
Св. 0,4	0	0	0	0

скоростями. Потери в тройнике при этом складываются из потерь при смещении (удар) и потерь при повороте на  $90^\circ$ .

34. Для части потока, движущегося в одном из ответвлений с меньшей скоростью, коэффициент сопротивления может иметь отрицательное значение, как и в обычном вытяжном тройнике (вследствие приобретения дополнительной энергии от потока, движущегося с большими скоростями).

При отсутствии перегородки характер потока в симметричном тройнике менее четок. Перепад давлений до и после слияния потоков в основном отражает потери, общие для обоих ответвлений, величина которых положительна при любых отношениях скоростей (расходов) в ответвлении и сборном рукаве  $w_6/w_c$  ( $Q_6/Q_c$ ) и близка к потерям в колене с расширением.

35. Коэффициент сопротивления каждого ответвления симметричного тройника при слиянии можно вычислить по формуле С. Р. Левина [7-32]:

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left(\frac{F_c}{F_6}\right)^2 + 3 \left(\frac{F_c}{F_6}\right)^2 \left[ \left(\frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 - \frac{Q_6}{Q_c} \right].$$

36. Если симметричный тройник установлен на участке нагнетания (разделения), условия протекания потока в нем примерно такие же, как и при обычном повороте. Поэтому потери в этом тройнике можно определять приближенно по данным для колен с различными отношениями сторон  $b_1/b_0$ . Коэффициент сопротивления рассматриваемого тройника можно вычислить по формуле [7-32]

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = 1 + k_1 \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2,$$

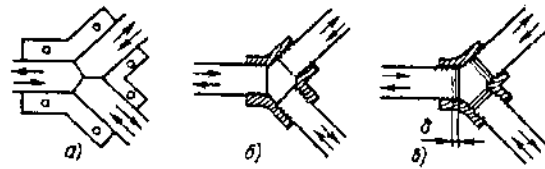


Рис. 7-9. Тройники симметричной формы типа  $F_6 = F_n = F_c$  [7-57]:

а — ответвления впритык; б — ответвления на резьбе при  $\delta = 0$ ; в — ответвления на резьбе при  $\delta/D_0 \approx 0,13$

где  $k_1 \approx 1,5$  — для стандартных тройников из ковкого чугуна на резьбе;  $k_1 \approx 0,3$  — для сварных тройников.

37. Симметричный тройник может быть выполнен с плавными отводами («ласточкин хвост»), и тогда сопротивление его может быть значительно снижено.

38. Коэффициент сопротивления вытяжных симметричных тройников при  $\alpha < 90^\circ$  и  $F_c = 2F_6$  можно найти по формуле [7-32]

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = 4 \frac{Q_6}{Q_c} (0,9 + \cos^2 \alpha) + \left(\frac{Q_6}{Q_c}\right)^4 \left[ 1 + \left(\frac{Q_c}{Q_6} - 1\right)^4 \right] (1 - \cos^2 \alpha) - 4 \left(\frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \cos^2 \alpha - 4 (0,2 + 0,5 \cos^2 \alpha).$$

39. Коэффициент сопротивления приточных симметричных тройников при  $\alpha < 90^\circ$  и  $F_c = 2F_6$  можно вычислить ориентировочно, так же как для бокового ответвления обычного тройника типа  $F_6 + F_n = F_c$  по диаграмме 7-19.

40. На диаграмме 7-31 приведены значения коэффициентов сопротивления симметричных тройников типа  $F_6 = F_n = F_c$  при  $\alpha = 45^\circ$ . Эти данные получены экспериментально [7-57] для тройников с ответвлениями, соединенными как впритык (рис. 7-9, а), так и не вплотную друг к другу, на резьбе (рис. 7-9, б и в). Последние испытаны в двух вариантах: при полном завинчивании ответвлений (рис. 7-9, б,  $\delta = 0$ ) и неполном завинчивании их (рис. 7-9, в,  $\delta/D_0 \approx 0,13$ ). Для случая соединения впритык в той же работе получены аппроксимационные формулы расчета коэффициентов (см. указанную диаграмму).

41. Характер потока в крестовинах в основном аналогичен потоку в тройниках.

Коэффициенты сопротивления крестовин с площадью  $F_n = F_c$  при слиянии потоков (см. диаграммы 7-33—7-37) можно определить приближенно [7-29, 7-30]:

при одном из боковых ответвлений (например, № 1)

$$\zeta_{1c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2 -$$

$$- 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{[Q_c/Q_{16} - (1 + Q_{26}/Q_{16})]^2}{4 - (1 + Q_{26}/Q_{16}) Q_{16}/Q_c} -$$

$$- 2 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2 \right] \cos \alpha;$$

при другом боковом ответвлении ( $\zeta_{2c.6}$ )  
индексы 1 и 2 меняются местами;  
при прямом проходе

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 -$$

$$- \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + \frac{Q_n}{Q_c}}{\left( 0,75 + 0,25 \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2} -$$

$$- 2 \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \cdot \frac{1 + \left( \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2}{\left( 1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2} \left( \frac{Q_c}{Q_n} - 1 \right)^2 \cos \alpha.$$

42. Для определения коэффициентов сопротивления вытяжных сварных крестовин цилиндрических трубопроводов для пара, воды и т. п. при  $\alpha = 90^\circ$  рекомендуются следующие формулы [7-29, 7-30]:

при одном из боковых ответвлений (на-  
пример, № 1)

$$\zeta_{1c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2/2} = 1,15 + \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2 -$$

$$- 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{[Q_c/Q_{16} - (1 + Q_{26}/Q_{16})]^2}{4 - (1 + Q_{26}/Q_{16}) Q_{16}/Q_c};$$

при прямом проходе

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 1,2 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 -$$

$$- \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + Q_n/Q_c}{\left( 0,75 + 0,25 Q_n/Q_c \right)^2}.$$

Для стандартных крестовин из ковкого чугуна при  $Q_n/Q_c > 0,7$  к значениям  $\zeta_{c.n}$  прибавляется величина

$$\Delta \zeta_{c.n} = 2,5 (Q_n/Q_c - 0,7).$$

43. Коэффициенты сопротивления крестовин при делении потока (приточные крестовины) определяются ориентировочно, как для приточных тройников, по диаграммам 7-18—7-20.

Для прямых приточных крестовин ( $\alpha = 90^\circ$ ), выполненных из кровельной стали (отдельные детали которых соединялись между собой с помощью лежачего фальца), значения коэффициентов сопротивления, полученные на основании экспериментов, проведенных М. Л. Сосиным и Л. И. Неймарк [7-40] при турбулентном течении, приведены на диаграмме 7-38.

44. При близком расположении одного бокового ответвления тройника от другого сказывается их взаимное влияние. Это относится особенно к вытяжным тройникам. Степень влияния первого тройника на второй зависит как от относительного расстояния между ними, так и от отношения расходов  $Q_6/Q_c$ .

45. Пока нет достаточных данных по определению поправок на взаимное влияние для всех типов тройников; для ориентировочного учета этого влияния в случае всасывания (вытяжки) можно воспользоваться результатами опытов Э. В. Бездеткиной [7-2].

Значения поправочных коэффициентов  $k_2$ , представляющих собой отношение коэффициента сопротивления  $\zeta_{62}$  второго бокового ответвления к коэффициенту сопротивления  $\zeta_{61}$  первого ответвления, приведены в табл. 7-8 для различных относительных расходов  $Q_6/Q_c$  и различных относительных расстояний  $l_1/D_c$  между соседними ответвлениями.

7-8. Значения  $k_2$

$l_1/D_c$	$Q_6/Q_c$			
	$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4
0—3	1,0	0,75	0,70	0,66
4	1,0	0,83	0,77	0,74
6	1,0	0,96	0,88	0,83
8	1,0	1,0	0,91	0,93
9	1,0	1,0	1,0	1,0

46. При малых относительных расходах ( $Q_6/Q_c \leq 0,1$ ) взаимное влияние тройников ничтожно мало ( $k_2 \approx 1,0$  см. табл. 7-8). Поэтому в случае большого числа боковых ответвлений, при котором отношения  $Q_6/Q_c$  для каждого отдельного ответвления малы, взаимным влиянием практически можно пренебречь и значения коэффициентов сопротивления каждого из них принимать, как для изолированного тройника.

Некоторые дополнительные данные по взаимному влиянию тройника см. двенадцатый раздел (подраздел «Взаимное влияние местных гидравлических сопротивлений»).

47. К участкам типа тройников относятся также раздающие и собирающие коллекторы (см. диаграммы 7-39—7-43). Основные требования, предъявляемые к таким коллекто-

рам.—это равномерная раздача и соответственно равномерный отсос потока через все их ответвления.

48. Степень равномерности раздачи (отсоса) потока (расхода) по боковым ответвлениям коллекторов зависит, как показывает теория [7-15—7-19], от основного определяющего критерия—«характеристики коллектора»  $A_{1,2}$ , являющейся функцией параметров

$$A_{1,2} = \varphi(\bar{f}, \mu \text{ или } \zeta_{\text{отв}}, \zeta_{\text{кол}}),$$

где индексы 1 и 2 относятся соответственно к раздающему и собирающему коллекторам;  $\bar{f} = \sum f_b / F_n \approx n_b f_b / F_n$ —относительная площадь сечений  $n_b$  боковых ответвлений;  $f_b$ —площадь входного сечения одного бокового ответвления, м<sup>2</sup>;  $F_n$ —площадь сечения коллектора (начальная для раздающего и конечная для собирающего), м<sup>2</sup>;

$\mu = \frac{1}{\sqrt{(f_b/f_a)^2 + \zeta_{\text{отв}}}}$ —коэффициент расхода через боковое ответвление;  $f_a$ —площадь выходного сечения конечного участка сети бокового ответвления, м<sup>2</sup>;  $\zeta_{\text{отв}} = \frac{\Delta p_{\text{отв}}}{\rho w_b^2/2}$ —коэффициент сопротивления всего ответвления, включающего сопротивление всех примыкающих к нему участков, аппаратов или других устройств; он приведен к скорости  $w_b$  в боковом ответвлении;

$$\zeta_{\text{отв}} = \zeta_b + \zeta_{\text{уч}} + \zeta_{\text{апп}},$$

где  $\zeta_b = \frac{\Delta p_b}{\rho w_b^2/2}$ —коэффициент сопротивления только бокового ответвления;  $\zeta_{\text{уч}} = \frac{\Delta p_{\text{уч}}}{\rho w_b^2/2}$ —коэффициент сопротивления всех участков бокового ответвления после разделения (до слияния), за исключением сопротивления аппарата (устройства);  $\zeta_{\text{апп}} = \frac{\Delta p_{\text{апп}}}{\rho w_b^2/2}$ —коэффициент сопротивления аппарата (устройства), установленного на боковом ответвлении;  $\zeta_{\text{кол}} = \frac{\Delta p_{\text{кол}}}{\rho w_n^2/2}$ —коэффициент сопротивления раздающей (собирающей) части коллектора, приведенный к средней скорости потока  $w_n$  в сечении  $F_n$  коллектора.

Для практических расчетов при отсутствии каких-либо дополнительных препятствий вдоль каналов принимается

$$\zeta_{\text{кол}} \approx 0,5 \lambda L / D_{г.н},$$

где  $L$ —общая длина коллектора, м;  $D_{г.н} = 4F_n / \Pi_n$ —гидравлический диаметр начального сечения раздающего канала, м.

49. При постоянном сечении коллектора и прочих равных условиях степень равномерной раздачи (отсоса) потока тем значительнее,

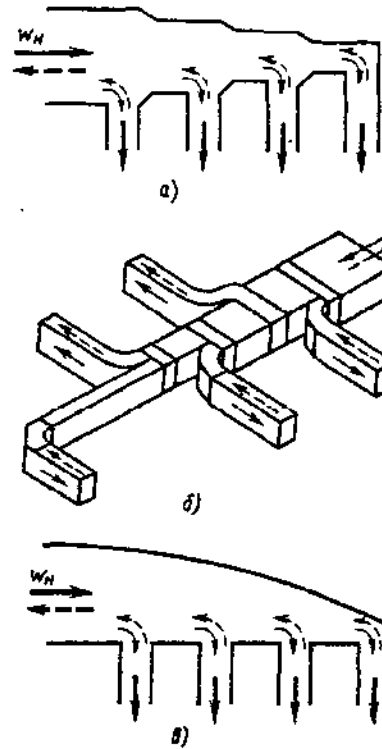


Рис. 7-10. Коллекторы переменного сечения: а—ступенчатое изменение сечения с резким ответвлением; б—ступенчатое изменение сечения с плавным ответвлением; в—с профилированной боковой стенкой

чем больше  $F_n$  (условием совершенно равномерной раздачи является  $\bar{f} \rightarrow 0$ ).

Для получения равномерного распределения расхода без увеличения площади поперечного сечения коллектора целесообразно выполнить его сужающимся в направлении потока (коллектор переменного сечения).

Последнее может быть осуществлено различным образом: линейным изменением сечения (см. штриховые линии на схемах диаграмм 7-40—7-43), ступенчатым изменением сечения (рис. 7-10, а и б), или путем соответствующего профилирования одной из боковых стенок (рис. 7-10, в).

Собирающий коллектор при  $A_2 > 0,3$  не следует выполнять переменного сечения, так как при этом не только не улучшается распределение потока по ответвлениям, но даже несколько ухудшается\*<sup>1</sup>.

\*<sup>1</sup> В случае запыленного потока для уменьшения оседания пыли при движении вдоль собирающего коллектора скорость потока должна быть не меньше определенного предела (10—15 м/с) на всем протяжении коллектора. При этом собирающий коллектор целесообразно выполнить переменного сечения, хотя это и влечет за собой некоторое ухудшение распределения потока по ответвлениям.

При  $A_2 < 0,3$  в целях снижения металлоемкости собирающий коллектор можно выполнять и переменного сечения, практически не ухудшая равномерность распределения потока по ответвлениям.

50. Общий коэффициент сопротивления изолированных (одиночных) коллекторов постоянного и переменного сечения с линейным изменением поперечного сечения канала вдоль потока определяется по интерполяционным формулам, полученным на основании опытных данных [7-50] и приведенным на диаграммах 7-40—7-41.

51. В большинстве случаев раздающие и собирающие коллекторы работают совместно (спаренные коллекторы). При этом поток в них может иметь или противоположное направление (П-образный коллектор, диаграмма 7-42), или одинаковое направление (Z-образный коллектор, диаграмма 7-43). При одинаковом сопротивлении обоих коллекторов (раздающего и собирающего) и  $\zeta_{\text{кол}} < 1$  П-образный коллектор обеспечивает более равномерное распределение потока, чем Z-образный. При  $\zeta_{\text{кол}} > 1$  результат получается противоположным.

52. В спаренном коллекторе Z-образной формы его раздающую часть целесообразно выполнять переменного сечения (сужение в направлении потока), собирающую часть при  $A_4 > 0,3^{*1}$  — постоянного сечения (см. п. 49). В П-образном коллекторе более равномерная раздача потока может быть получена в некоторых случаях при переменном сечении собирающего коллектора к его началу и при постоянном сечении раздающего коллектора.

53. Общий коэффициент сопротивления спаренных коллекторов П- и Z-образных форм с постоянным сечением обоих каналов или с переменным сечением раздающего канала и постоянным сечением собирающего

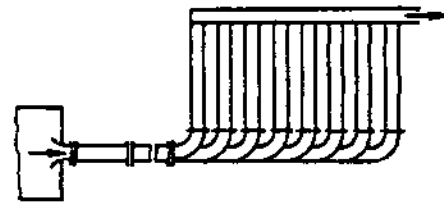


Рис. 7-11. Спаренный коллектор П-образной формы с плавными ответвлениями у раздающего коллектора

канала определяется по интерполяционным формулам [7-50], приведенным на диаграммах 7-42—7-43.

54. Для уменьшения сопротивления боковых ответвлений коллектора переходные участки к ним могут быть выполнены в соответствии со схемами диаграммы 7-39. Эти участки простой конструкции и имеют минимальные коэффициенты сопротивления. Их можно принять как стандартные.

Сопротивление боковых ответвлений коллектора резко снижается при плавном их отводе (см. рис. 7-10, б и 7-11).

55. Коэффициент сопротивления  $i$ -го ответвления  $\zeta_{i6} \equiv \frac{\Delta p_{i6}}{\rho w_{i6}^2 / 2}$  раздающего (при-

точного) короба с переходными участками по схеме диаграммы 7-39 зависит только от отношения скоростей  $w_{i6}/w_{(i-1)c}$ .

Этот коэффициент практически не зависит ни от числа  $Re$ , начиная по крайней мере со значения  $Re = 10^4$ , ни от отношения сторон поперечного сечения раздающего короба (в пределах  $h/b = 0,5 \div 1,0$ ), ни от отношения площадей  $F_6/F_c$ .

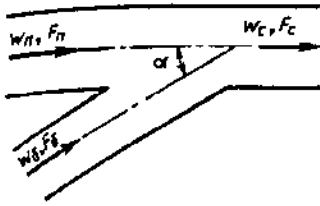
Коэффициент сопротивления ответвления, установленного сбоку раздающего короба, меньше коэффициента сопротивления ответвления, установленного сверху или снизу этого короба, так как во втором случае поток совершает два последовательных поворота на  $90^\circ$  в двух взаимно перпендикулярных направлениях (см. диаграмму 7-39).

\*1  $A_4$  — характеристика Z-образного коллектора.

## 7-2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Тройник (вытяжной) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$ ;  $\alpha = 30^\circ$   
[7-31, 7-43]

Диаграмма  
7-1



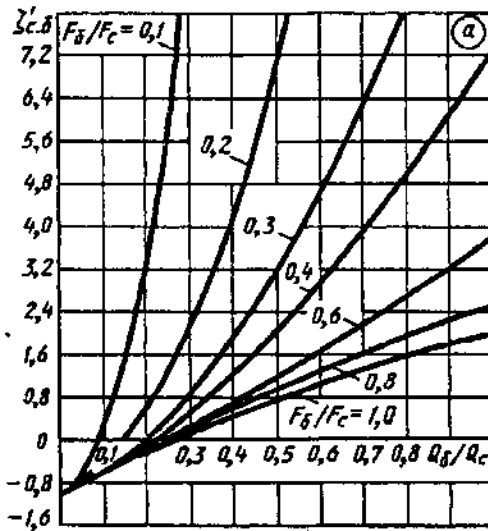
Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = A \left[ 1 + \left( \frac{Q_6 F_c}{Q_c F_6} \right)^2 - 2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,7 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \right] = A \zeta'_{c,6},$$

где  $\zeta'_{c,6}$  см. таблицу и кривые  $\zeta'_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  при различных  $F_6/F_c$  (график а);  $A = f(F_6/F_c, Q_6/Q_c)$  см. табл. 7-1 (с. 335);

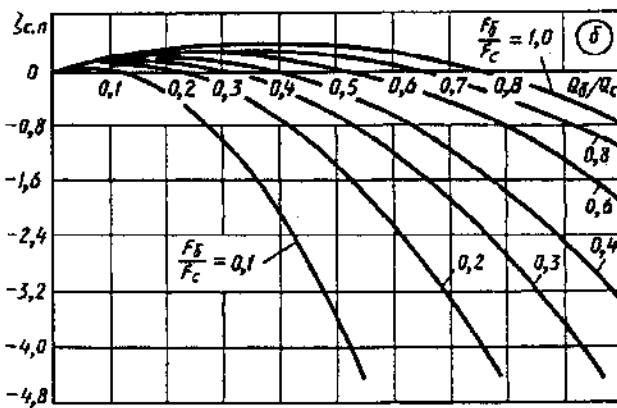
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \frac{F_c}{F_6} \right)}$$

Значения  $\zeta_{c,6}$



$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	0,21	-0,46	-0,57	-0,60	-0,62	-0,63	-0,63
0,2	3,02	0,37	-0,07	-0,20	-0,28	-0,30	-0,31
0,3	7,45	1,50	0,50	0,20	0,01	-0,04	-0,05
0,4	13,5	2,89	1,15	0,58	0,26	0,18	0,16
0,5	21,2	4,58	1,83	0,97	0,47	0,35	0,32
0,6	30,4	6,55	2,60	1,37	0,64	0,46	0,41
0,7	41,3	8,81	3,40	1,77	0,76	0,52	0,46
0,8	53,8	11,5	4,32	2,14	0,84	0,53	0,45
0,9	67,9	14,2	5,30	2,52	0,88	0,48	0,38
1,0	83,6	17,3	6,33	2,90	0,88	0,39	0,26

Значения  $\zeta'_{c,n}$



$\frac{Q_6}{Q_c}$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	+0,02	0,10	0,13	0,15	0,16	0,17	0,17
0,2	-0,34	+0,01	+0,13	0,19	0,24	0,27	0,29
0,3	-1,06	-0,27	-0,01	+0,12	0,22	0,30	0,35
0,4	-2,15	-0,75	-0,30	-0,06	0,17	0,29	0,36
0,5	-3,60	-1,43	-0,70	-0,35	0,00	0,21	0,32
0,6	-5,40	-2,29	-1,25	-0,73	-0,20	+0,06	0,21
0,7	-7,60	-3,35	-1,95	-1,20	-0,50	-0,15	+0,06
0,8	-10,2	-4,61	-2,74	-1,82	-0,90	-0,43	-0,15
0,9	-13,0	-6,06	-3,70	-2,55	-1,40	-0,77	-0,42
1,0	-16,4	-7,70	-4,80	-3,35	-1,90	-1,17	-0,75

Проход

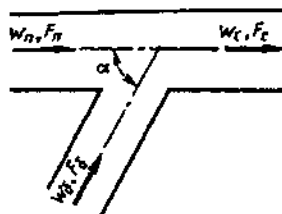
$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 - \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,74 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \quad \text{см.}$$

таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  при различных  $F_6/F_c$  (график б);

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{\left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2}$$

\*1 При прохождении потока в проходе мимо свободной поверхности в углублении бокового ответвления, образуемой при  $Q_6/Q_c = 0$ , всегда наблюдается некоторая потеря энергии. Поэтому в реальных условиях при  $Q_6/Q_c = 0$   $\zeta_{c,n}$  не равно нулю. В таблицах здесь и далее значение  $\zeta_{c,n} = 0$  получено только на основании расчета по приведенным формулам.





**Боковое ответвление**

$$\zeta_{c.б} \equiv \frac{\Delta p_б}{\rho w_c^2 / 2} = A \left[ 1 + \left( \frac{Q_б}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_б} \right)^2 - 2 \left( 1 - \frac{Q_б}{Q_c} \right) - 1,41 \frac{F_c}{F_б} \left( \frac{Q_б}{Q_c} \right)^2 \right] = A \zeta'_{c.б},$$

где  $\zeta'_{c.б}$  см. таблицу и кривые  $\zeta'_{c.б} = f\left(\frac{Q_б}{Q_c}\right)$  при различных  $F_б/F_c$  (график а);  
 $A = f(F_б/F_c, Q_б/Q_c)$  см. табл. 7-1 (с. 335);

$$\zeta_б \equiv \frac{\Delta p_б}{\rho w_б^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.б}}{\left( \frac{Q_б}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_б} \right)^2}$$

**Проход**

$$\zeta_{c.п} \equiv \frac{\Delta p_п}{\rho w_n^2 / 2} = 1 - \left( 1 - \frac{Q_б}{Q_c} \right)^2 - 1,41 \frac{F_c}{F_б} \left( \frac{Q_б}{Q_c} \right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.п} = f(Q_б/Q_c)$  при различных  $F_б/F_c$  (график б);

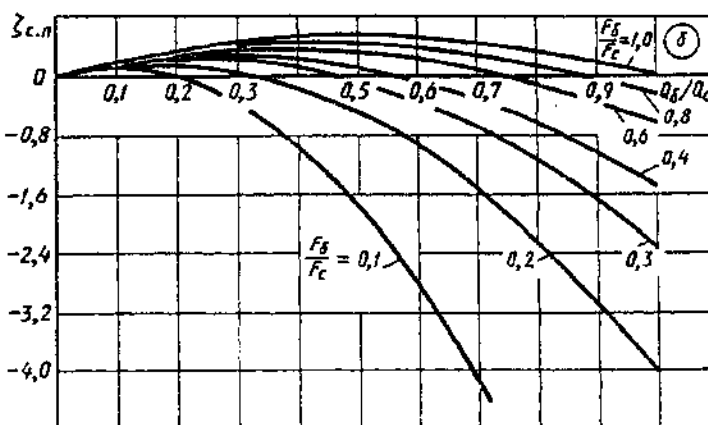
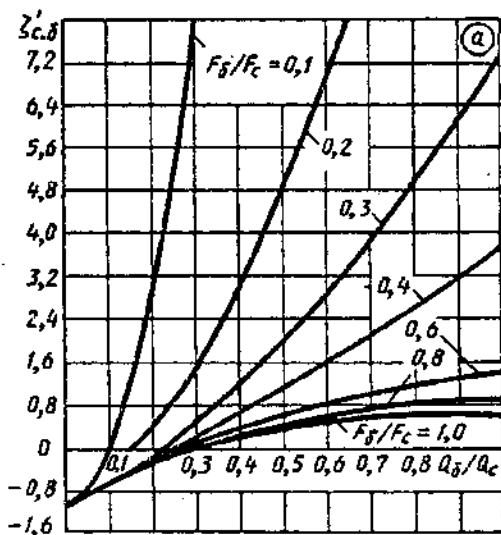
$$\zeta_п \equiv \frac{\Delta p_п}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.п}}{\left( 1 - \frac{Q_б}{Q_c} \right)^2}$$

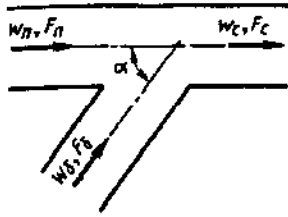
Значения  $\zeta'_{c.б}$

$Q_б/Q_c$	$F_б/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	0,24	-0,45	-0,56	-0,59	-0,61	-0,62	-0,62
0,2	3,15	0,54	-0,02	-0,17	-0,26	-0,28	-0,29
0,3	8,00	1,64	0,60	0,30	0,08	0	-0,03
0,4	14,0	3,15	1,30	0,72	0,35	0,25	0,21
0,5	21,9	5,00	2,10	1,18	0,60	0,45	0,40
0,6	31,6	6,90	2,97	1,65	0,85	0,60	0,53
0,7	42,9	9,20	3,90	2,15	1,02	0,70	0,60
0,8	55,9	12,4	4,90	2,66	1,20	0,79	0,66
0,9	70,6	15,4	6,20	3,20	1,30	0,80	0,64
1,0	86,9	18,9	7,40	3,71	1,42	0,80	0,59

Значения  $\zeta_{c.п}$

$Q_б/Q_c$	$F_б/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,05	0,12	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17
0,2	-0,20	0,17	0,22	0,27	0,27	0,29	0,31
0,3	-0,76	-0,13	0,08	0,20	0,28	0,32	0,40
0,4	-1,65	-0,50	-0,12	0,08	0,26	0,36	0,41
0,5	-2,77	-1,00	-0,49	-0,13	0,16	0,30	0,40
0,6	-4,30	-1,70	-0,87	-0,45	-0,04	0,20	0,33
0,7	-6,05	-2,60	-1,40	-0,85	-0,25	0,08	0,25
0,8	-8,10	-3,56	-2,10	-1,30	-0,55	-0,17	0,06
0,9	-10,00	-4,75	-2,80	-1,90	-0,88	-0,40	-0,18
1,0	-13,20	-6,10	-3,70	-2,55	-1,35	-0,77	-0,42





Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = A \left[ 1 + \left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2 - 2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \right] = A \zeta'_{c,6}$$

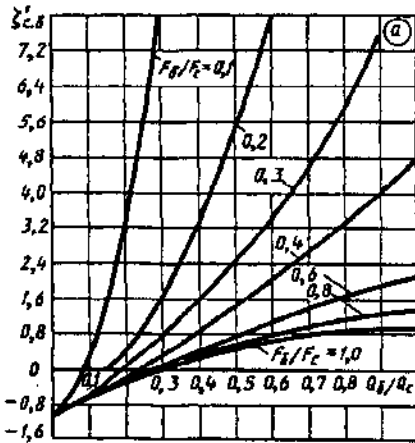
где  $A = f(F_6/F_c, Q_6/Q_c)$  см. табл. 7.1 (с. 335);  $\zeta'_{c,6}$  см. таблицу и кривые  $\zeta'_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  при различных  $F_6/F_c$  (график а);

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2}$$

Проезд

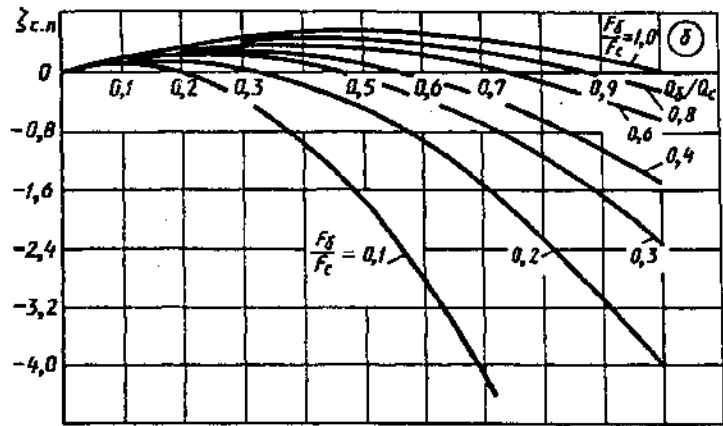
$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 - \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$  см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  при различных  $F_6/F_c$  (график б);

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{\left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2}$$



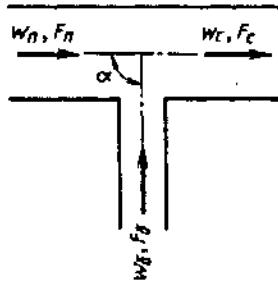
Значения  $\zeta'_{c,6}$

$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	0,26	-0,42	-0,54	-0,58	-0,61	-0,62	-0,62
0,2	3,35	0,55	0,03	-0,13	-0,23	-0,26	-0,26
0,3	8,20	1,85	0,75	0,40	0,10	0	-0,01
0,4	14,7	3,50	1,55	0,92	0,45	0,35	0,28
0,5	23,0	5,50	2,40	1,44	0,78	0,58	0,50
0,6	33,1	7,90	3,50	2,05	1,06	0,80	0,68
0,7	44,9	10,0	4,60	2,70	1,40	0,98	0,84
0,8	58,5	13,7	5,80	3,32	1,64	1,12	0,92
0,9	73,9	17,2	7,65	4,05	1,92	1,20	0,99
1,0	91,0	21,0	9,70	4,70	2,11	1,35	1,00



Значения  $\zeta_{c,n}$

$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,09	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
0,2	0	0,16	0,23	0,26	0,29	0,31	0,32
0,3	-0,40	0,06	0,22	0,30	0,32	0,41	0,42
0,4	-1,00	-0,16	0,11	0,24	0,37	0,44	0,48
0,5	-1,75	-0,50	-0,08	0,13	0,33	0,44	0,50
0,6	-2,80	-0,95	-0,35	-0,10	0,25	0,40	0,48
0,7	-4,00	-1,55	-0,70	-0,30	0,08	0,28	0,42
0,8	-5,44	-2,24	-1,17	-0,64	-0,11	0,16	0,32
0,9	-7,20	-3,08	-1,70	-1,02	-0,38	-0,08	0,18
1,0	-9,00	-4,00	-2,30	-1,50	-0,68	-0,28	0



Боковое ответвление

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = A \left[ 1 + \left( \frac{Q_6 F_c}{Q_c F_6} \right)^2 - 2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \right] = A \zeta'_{c.6}$$

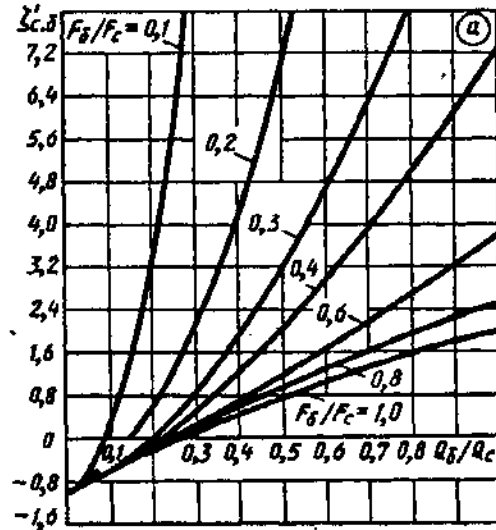
где  $\zeta_{c.6}$  см. таблицу и график а;  $A = f(F_6/F_c, Q_6/Q_c)$  см. табл. 7-1 (с. 335);

Проход

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} \approx 1,55 \frac{Q_6}{Q_c} - \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

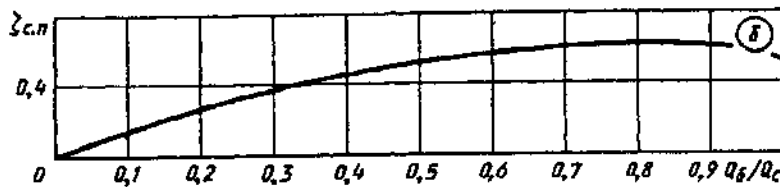
см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.n} = f(Q_6/Q_c)$ , верную практически для всех значений  $F_6/F_c$  (график б);

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c.n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

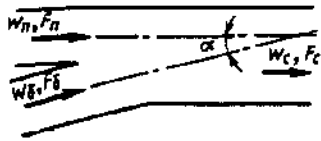


Значения  $\zeta_{c.6}$

$Q_6/Q_c$	$F_6/F_c$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
0,1	0,40	-0,37	-0,51	-0,54	-0,59	-0,60	-0,61
0,2	3,80	0,72	0,17	-0,03	-0,17	-0,22	-0,30
0,3	9,20	2,27	1,00	0,58	0,27	0,15	-0,11
0,4	16,3	4,30	2,06	1,30	0,75	0,55	0,44
0,5	25,5	6,75	3,23	2,05	1,20	0,89	0,77
0,6	36,7	9,70	4,70	2,98	1,68	1,25	1,04
0,7	42,9	13,0	6,30	3,90	2,20	1,60	1,30
0,8	64,9	16,9	7,92	4,92	2,70	1,92	1,56
0,9	82,0	21,2	9,70	6,10	3,20	2,25	1,80
1,0	101,0	26,0	11,90	7,25	3,80	2,57	2,00



$Q_6/Q_c$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{c.n}$	0	0,16	0,27	0,38	0,46	0,53	0,57	0,59	0,60	0,59	0,55



Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,94 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

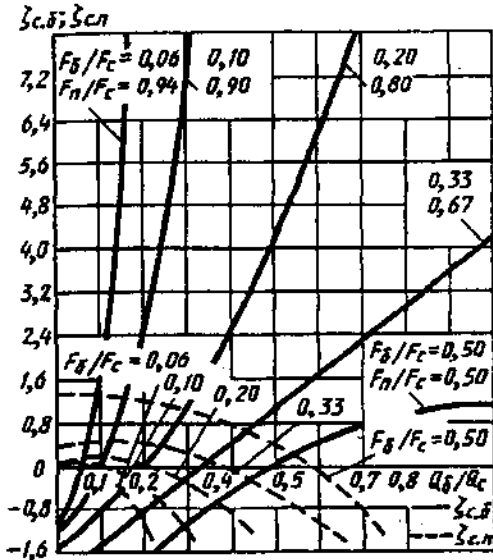
см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ :

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2}$$

Проход

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,94 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_n$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ :

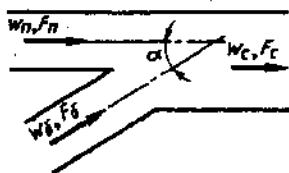


$F_6/F_c$	$K_n$
0—0,2	0
0,33	0,14
0,50	0,40

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{(1 - Q_6/Q_c)^2 (F_c/F_n)^2}$$

Значения  $\zeta_{c,n}$  (в числителе) и  $\zeta_{c,6}$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$Q_6/Q_c$											
	0	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
0,06	-1,12	-0,70	-0,20	1,84	9,92	23,0	41,0	64,3	—	—	—	—
	0	0,06	0,04	-0,13	-0,95	-2,50	-4,00	-7,50	—	—	—	—
0,10	-1,22	-1,00	-0,72	0,01	2,80	7,17	13,1	20,6	29,7	—	—	—
	0,01	0,10	0,12	0,02	-0,36	-1,20	-2,50	-4,10	-6,12	—	—	—
0,20	-1,50	-1,40	-1,22	-0,84	0,02	1,20	2,55	4,20	6,12	8,20	10,7	—
	0,06	0,15	0,20	0,22	0,05	-0,28	-0,89	-1,66	-2,63	-3,84	-5,22	—
0,33	-2,00	-1,80	-1,71	-1,40	-0,67	-0,16	0,42	1,05	1,67	2,30	2,95	4,20
	0,40	0,42	0,45	0,47	0,42	0,24	-0,08	-0,52	-1,25	-1,80	-2,60	-4,66
0,50	-3,00	-2,80	-2,60	-2,24	-1,56	-1,00	-0,40	0,02	0,40	0,66	0,93	1,14
	1,40	1,40	1,39	1,37	1,24	1,01	0,78	-0,43	-0,10	-0,82	-1,08	-2,46

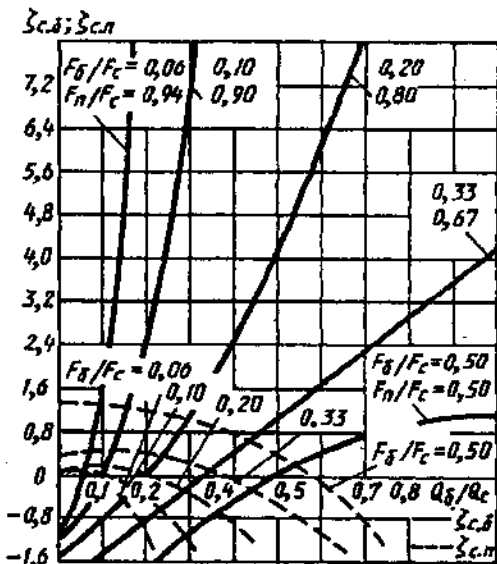


Боковое ответвление

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,74 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.6} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2}$$



Проход

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,74 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_n$$

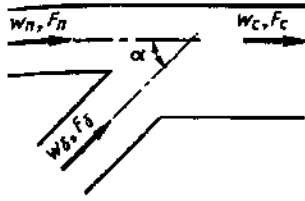
см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.n} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

$F_6/F_c$	$K_n$
0—0,2	0
0,33	0,17
0,50	0,40

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.n}}{(1 - Q_6/Q_c)^2 (F_c/F_n)^2}$$

Значения  $\zeta_{c.6}$  (в числителе) и  $\zeta_{c.n}$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$Q_6/Q_c$											
	0	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
0,06	-1,13	-0,70	-0,30	1,82	10,1	23,3	41,5	65,2	—	—	—	—
	0	0,06	0,04	-0,10	-0,81	-2,10	-4,07	-6,60	—	—	—	—
0,10	-1,22	-1,00	-0,76	0,02	2,88	7,34	13,4	21,1	29,4	—	—	—
	0,01	0,10	0,08	0,04	-0,33	-1,05	-2,14	-3,60	-5,40	—	—	—
0,20	-1,50	-1,35	-1,22	-0,84	0,05	1,40	2,70	4,46	6,48	8,70	11,4	17,3
	0,06	0,10	0,13	0,16	0,06	-0,24	-0,73	-1,40	-2,30	-3,34	-3,59	-8,64
0,33	-2,00	-1,80	-1,70	-1,40	-0,72	-0,12	0,52	1,20	1,89	2,56	3,30	4,80
	0,42	0,45	0,48	0,51	0,52	0,32	0,07	-0,32	-0,82	-1,47	-2,19	-4,00
0,50	-3,00	-2,80	-2,60	-2,24	-1,44	-0,91	-0,36	0,14	0,56	0,84	1,18	1,53
	1,40	1,40	1,40	1,36	1,26	1,09	0,86	0,53	0,15	-0,52	-0,82	-2,07



Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,41 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

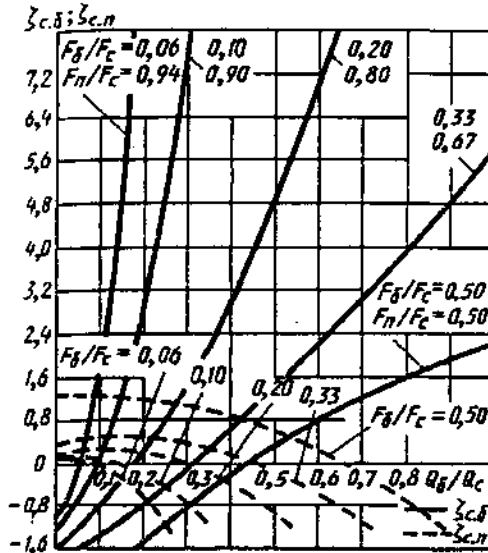
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2}$$

Проход

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 1,41 \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_n$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

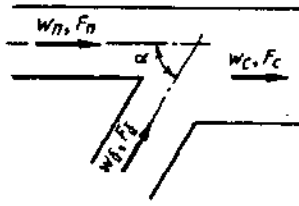
$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c,n} / \left[ \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \right]$$



$F_6/F_c$	$K_n$
0,10	0,05
0,20	0,14
0,33	0,14
0,50	0,30

Значения  $\zeta_{c,6}$  (в числителе) и  $\zeta_{c,n}$  (в знаменателе)

$\frac{F_6}{F_c}$	$Q_6/Q_c$											
	0	0,03	0,05	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
0,06	$\frac{-1,12}{0,00}$	$\frac{-0,70}{0,05}$	$\frac{-0,20}{0,05}$	$\frac{1,82}{-0,05}$	$\frac{10,3}{-0,59}$	$\frac{23,8}{-1,65}$	$\frac{42,4}{-3,21}$	$\frac{64,3}{-5,13}$	—	—	—	—
0,10	$\frac{-1,22}{0,06}$	$\frac{-1,00}{0,10}$	$\frac{-0,78}{0,12}$	$\frac{0,06}{0,11}$	$\frac{3,00}{-0,15}$	$\frac{7,64}{-0,71}$	$\frac{13,9}{-1,55}$	$\frac{22,0}{-2,71}$	$\frac{31,9}{-3,73}$	—	—	—
0,20	$\frac{-1,50}{0,20}$	$\frac{-1,40}{0,25}$	$\frac{-1,25}{0,30}$	$\frac{-0,85}{0,30}$	$\frac{0,12}{-0,26}$	$\frac{1,42}{0,04}$	$\frac{3,00}{-0,33}$	$\frac{4,86}{-0,86}$	$\frac{7,05}{-1,52}$	$\frac{9,50}{-2,40}$	$\frac{12,4}{-3,42}$	—
0,33	$\frac{-2,00}{0,37}$	$\frac{-1,82}{0,42}$	$\frac{-1,69}{0,45}$	$\frac{-1,38}{0,48}$	$\frac{-0,66}{0,50}$	$\frac{-0,10}{0,40}$	$\frac{0,70}{0,20}$	$\frac{1,48}{-0,12}$	$\frac{2,24}{-0,50}$	$\frac{3,10}{-1,01}$	$\frac{3,95}{-1,60}$	$\frac{5,76}{-3,10}$
0,50	$\frac{-3,00}{1,30}$	$\frac{-2,80}{1,30}$	$\frac{-2,60}{1,30}$	$\frac{-2,24}{1,27}$	$\frac{-1,50}{1,20}$	$\frac{-0,85}{1,10}$	$\frac{-0,24}{0,90}$	$\frac{0,30}{0,61}$	$\frac{0,79}{0,22}$	$\frac{1,26}{-0,20}$	$\frac{1,60}{-0,68}$	$\frac{2,18}{-1,52}$



Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_6$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

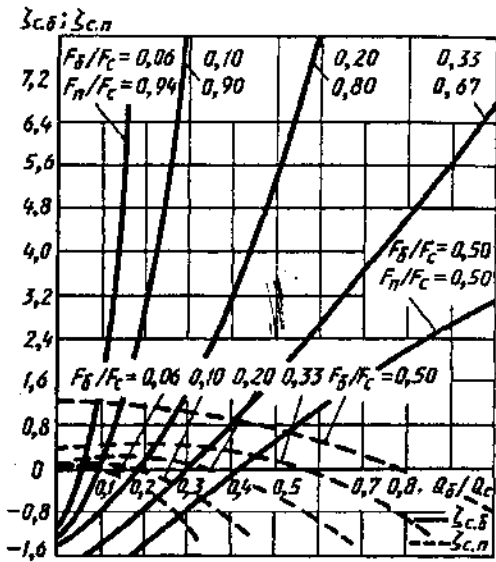
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c,6} \left( \frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6} \right)^2$$

Проход

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = 1 + \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 - \frac{F_c}{F_6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_n$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ ;

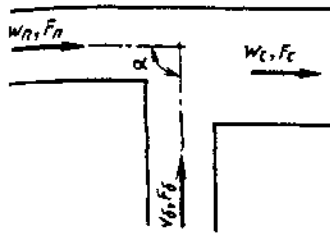
$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c,n} / \left[ \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \right]$$



$F_6/F_c$	$K_6$	$K_n$
0—0,2	0	0
0,33	0	0,10
0,50	0,10	0,25

Значения  $\zeta_{c,6}$  (в числителе) и  $\zeta_{c,n}$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$Q_6/Q_c$											
	0	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
0,06	-1,12	-0,72	-0,20	2,00	10,6	24,5	43,5	68,0	—	—	—	—
	0,00	0,05	0,05	-0,03	-0,32	-1,10	-2,03	-3,42	—	—	—	—
0,10	-1,22	-1,00	-0,68	0,10	3,18	8,01	14,6	23,0	33,1	—	—	—
	0,01	0,06	0,09	0,10	-0,03	-0,38	-0,96	-1,75	-2,75	—	—	—
0,20	-1,50	-1,25	-1,19	-0,83	0,20	1,52	3,30	5,40	7,80	10,5	13,7	—
	0,06	0,10	0,14	0,19	0,20	0,09	-0,14	-0,50	-0,95	-1,50	-2,20	—
0,33	-2,00	-1,81	-1,69	-1,37	-0,67	0,09	0,91	1,80	2,73	3,70	4,70	6,60
	0,33	0,39	0,41	0,45	0,49	0,45	0,34	0,16	-0,10	-0,47	-0,85	-1,90
0,50	-3,00	-2,80	-2,60	-2,13	-1,38	-0,68	-0,02	0,60	1,18	1,72	2,22	3,10
	1,25	1,25	1,25	1,23	1,17	1,07	0,90	0,75	0,48	0,22	-0,05	-0,78



Боковое ответвление

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2 - 2 \frac{F_c}{F_n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + K_6$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.6} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ :

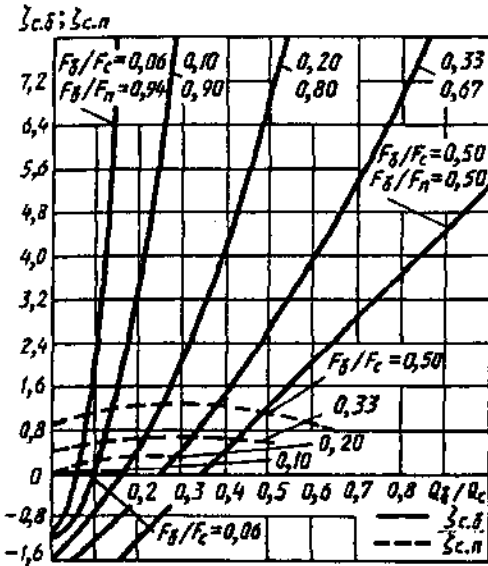
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.6}}{\left( \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6} \right)^2}$$

Проход

$$\zeta_{c.n} = \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2}$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.n} = f(Q_6/Q_c)$  для различных  $F_6/F_c$ :

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c.n} / \left[ \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2 \right]$$

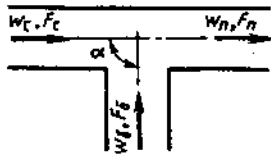


$F_6/F_c$	$K_6$
0,06	0
0,10	0
0,20	0,10
0,33	0,20
0,50	0,25

Значения  $\zeta_{c.6}$  (в числителе) и  $\zeta_{c.n}$  (в знаменателе)

$\frac{F_6}{F_c}$	$Q_6/Q_c$											
	0	0,03	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
0,06	$\frac{-1,12}{0,02}$	$\frac{-0,75}{0,05}$	$\frac{-0,20}{0,08}$	$\frac{2,06}{0,08}$	$\frac{11,2}{-}$	$\frac{25,0}{-}$	$\frac{46,2}{-}$	$\frac{72,5}{-}$	-	-	-	-
0,10	$\frac{-1,22}{0,04}$	$\frac{-1,00}{0,08}$	$\frac{-0,75}{0,10}$	$\frac{0,20}{0,20}$	$\frac{3,58}{-}$	$\frac{8,91}{-}$	$\frac{16,2}{-}$	$\frac{25,5}{-}$	$\frac{36,7}{-}$	-	-	-
0,20	$\frac{-1,40}{0,08}$	$\frac{-1,25}{0,12}$	$\frac{-1,10}{0,18}$	$\frac{-0,68}{0,25}$	$\frac{0,50}{0,34}$	$\frac{2,13}{0,32}$	$\frac{4,20}{-}$	$\frac{6,70}{-}$	$\frac{9,70}{-}$	$\frac{13,1}{-}$	$\frac{17,0}{-}$	-
0,33	$\frac{-1,80}{0,45}$	$\frac{-1,78}{0,50}$	$\frac{-1,50}{0,52}$	$\frac{-1,20}{0,59}$	$\frac{-0,45}{0,66}$	$\frac{0,56}{0,64}$	$\frac{1,59}{0,62}$	$\frac{2,70}{0,58}$	$\frac{4,05}{-}$	$\frac{5,42}{-}$	$\frac{6,93}{-}$	$\frac{10,4}{-}$
0,50	$\frac{-2,75}{1,00}$	$\frac{-2,55}{1,04}$	$\frac{-2,35}{1,06}$	$\frac{-1,96}{1,16}$	$\frac{-1,15}{1,25}$	$\frac{-0,35}{1,28}$	$\frac{0,42}{1,22}$	$\frac{1,25}{1,10}$	$\frac{2,05}{0,88}$	$\frac{2,80}{0,70}$	$\frac{3,65}{-}$	$\frac{5,25}{-}$





Боковое ответвление

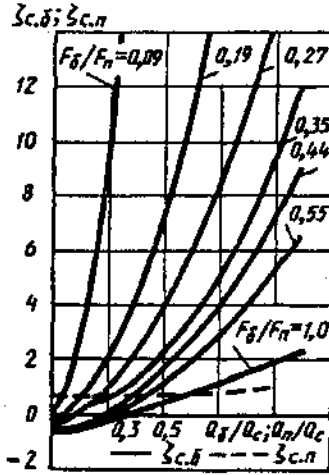
$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.6} = f(Q_6 / Q_c)$  при различных  $F_6 / F_c$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c.6} \left/ \left( \frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6} \right)^2 \right.$$

Проход

$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2}$  см. таблицу и кривую  $\zeta_{c.n} = f(Q_n / Q_c)$ ;

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c.n} \left/ \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \right.$$

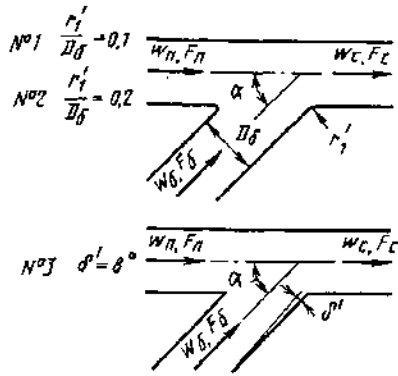


Значения  $\zeta_{c.6}$

$F_6 / F_c$	$Q_6 / Q_c$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	-0,50	2,97	9,90	19,7	32,4	48,8	66,5	86,9	110	136
0,19	-0,53	0,53	2,14	4,23	7,30	11,4	15,6	20,3	25,8	31,8
0,27	-0,69	0	1,11	2,18	3,76	5,90	8,38	11,3	14,6	18,4
0,35	-0,65	-0,09	0,59	1,31	2,24	3,52	5,20	7,28	9,23	12,2
0,44	-0,80	-0,27	0,26	0,84	1,59	2,66	4,00	5,73	7,40	9,12
0,55	-0,88	-0,48	0	0,53	1,15	1,89	2,92	4,00	5,36	6,60
1,0	-0,65	-0,40	-0,24	0,10	0,50	0,83	1,13	1,47	1,86	2,30

Значения  $\zeta_{c.n}$

При всех $F_6 / F_c$	0,70	0,64	0,60	0,65	0,75	0,85	0,92	0,96	0,99	1,00
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



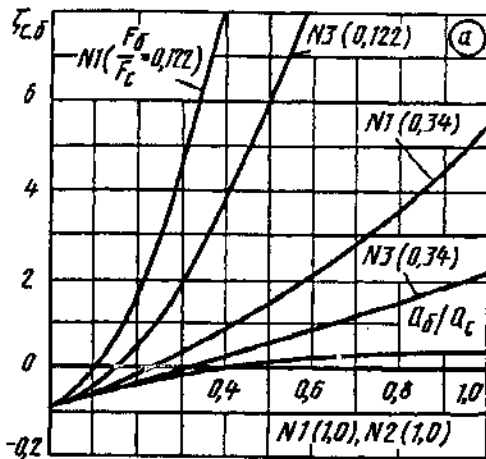
Боковое ответвление

$\zeta_{с.б} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_с^2 / 2}$  — см. таблицу и кривые  $\zeta_{с.б} = f(Q_6/Q_c)$   
 графика а для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{с.б}}{(Q_6/Q_c F_c/F_6)^2}$$

Значения  $\zeta_{с.б}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1'/D_6=0,1$ )		№ 2 ( $r_1'/D_6=0,2$ )		№ 3 ( $\delta'=8^\circ$ )	
	$F_6/F_c$					
	0,122	0,34	1,0	1,0	0,122	0,34
0,1	0,00	-0,47	-0,62	-0,62	-0,04	-0,58
0,3	4,30	+0,30	-0,17	-0,17	+1,80	0,000
0,6	19,5	2,10	+0,22	+0,22	0,50	0,90
1,0	53,7	5,40	0,30	0,38	22,5	2,10



Проход

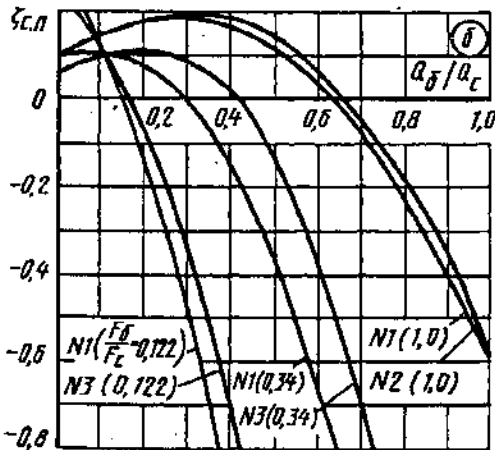
$\zeta_{с.п} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_с^2 / 2}$  — см. таблицу и кривые  
 $\zeta_{с.п} = f(Q_6/Q_c)$

графика б для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{с.п}}{(1 - Q_6/Q_c)^2}$$

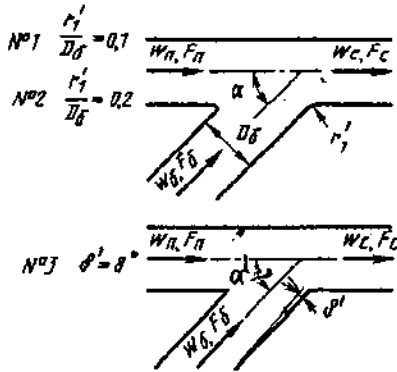
Значения  $\zeta_{с.п}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1'/D_6=0,1$ )		№ 2 ( $r_1'/D_6=0,2$ )		№ 3 ( $\delta'=8^\circ$ )	
	$F_6/F_c$					
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34
0,1	+0,10	0,10	0,14	0,14	0,10	0,10
0,3	-0,50	0,00	0,19	0,18	0,36	0,09
0,6	-3,20	-0,66	+0,06	0,08	2,20	0,40
1,0	-9,70	-2,90	-0,58	-0,61	-7,10	-1,95



Тройник (вытяжной) улучшенной формы типа  
 $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$ ;  $\alpha = 60^\circ$  [7-60]

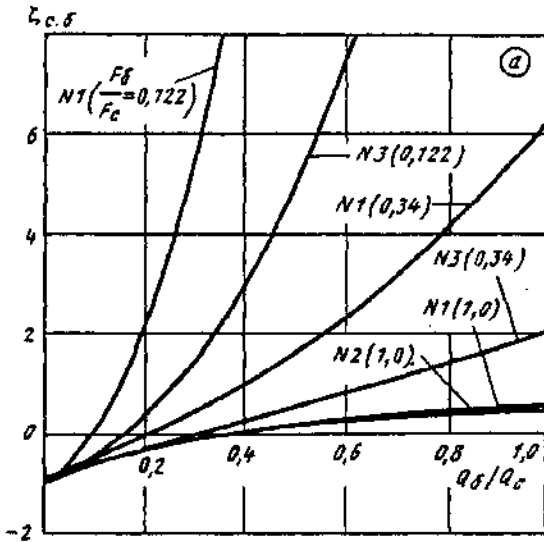
Диаграмма  
 7-12



Боковое ответвление

$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c)$   
 графика а для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{(Q_6/Q_c \cdot F_6/F_c)^2}$$



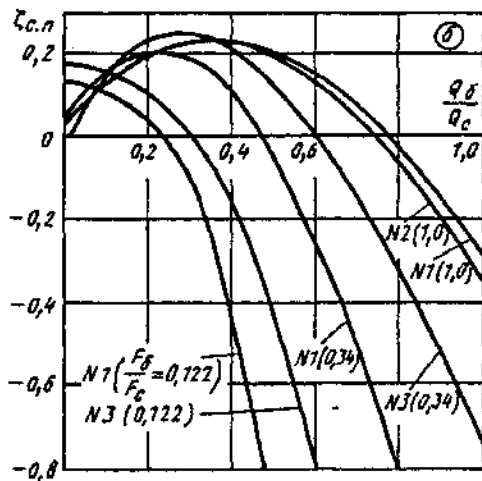
Значения  $\zeta_{c,6}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1/D_6=0,1$ )    № 2 ( $r_1/D_6=0,2$ )    № 3 ( $\delta'=8^\circ$ )					
	$F_6/F_c$					
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34
0,1	0,0	-0,43	-0,60	-0,60	-0,50	-0,56
0,3	5,5	+0,42	-0,14	-0,16	+1,40	0,00
0,6	21,9	2,30	+0,30	+0,26	7,50	0,87
1,0	60,0	6,18	0,53	0,50	21,1	2,00

Прямой проход

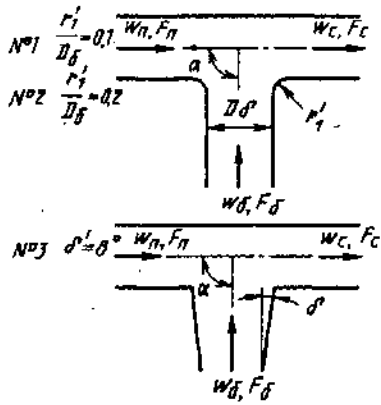
$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицу и кривые  
 $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$  графика б для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{(1 - Q_6/Q_c)^2}$$



Значения  $\zeta_{c,n}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1/D_6=0,1$ )    № 2 ( $r_1/D_6=0,2$ )    № 3 ( $\delta'=8^\circ$ )					
	$F_6/F_c$					
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34
0,1	+0,10	0,15	0,13	0,13	0,15	0,15
0,3	-0,10	+0,19	0,23	0,23	0,00	0,25
0,6	-1,45	-0,26	+0,14	+0,13	-0,78	0,00
1,0	-6,14	-1,65	-0,30	-0,35	-3,10	-0,75

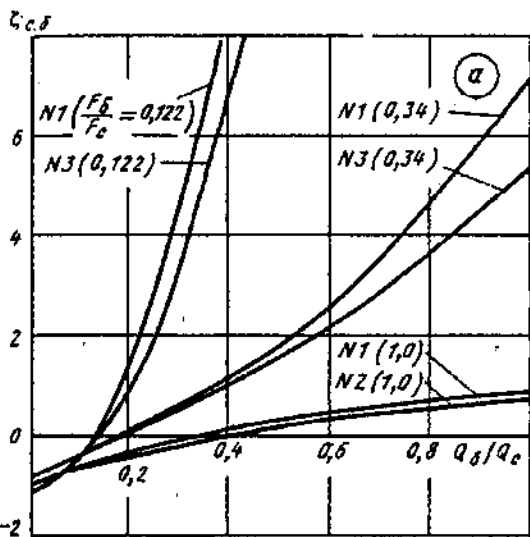


Боковое ответвление

$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2}$  — см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.6} = f(Q_6/Q_c)$

графика а для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.6}}{(Q_6/Q_c \cdot F_c/F_6)^2}$$



Значения  $\zeta_{c.6}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1/D_6=0.1$ )					
	№ 2 ( $r_1/D_6=0.2$ )		№ 3 ( $\delta'=8^\circ$ )			
	$F_6/F_c$					
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34
0,1	-0,50	-0,36	-0,60	-0,64	-0,50	-0,43
0,3	+4,60	+0,54	-0,10	-0,15	+3,24	+0,49
0,6	23,6	2,62	+0,43	+0,31	19,2	2,20
1,0	—	7,11	0,87	0,71	62,0	5,38

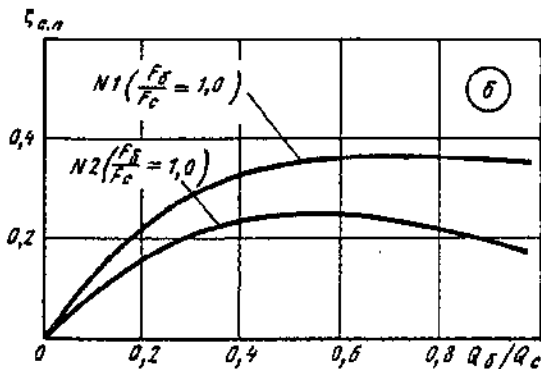
Проход

$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2}$  — см. таблицу и кривые

$\zeta_{c.6} = f(Q_6/Q_c)$

графика б для различных  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c.n} / (1 - Q_6/Q_c)^2$$

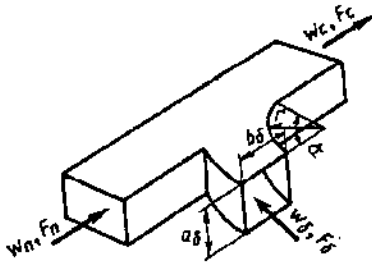


Значения  $\zeta_{c.n}$

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_1/D_6=0.1$ )		№ 2 ( $r_1/D_6=0.2$ )	
	$F_6/F_c$			
	1,0		1,0	
0,1	0,12	0,08		
0,3	0,29	0,21		
0,6	0,36	0,25		
1,0	0,35	0,17		

Тройник (вытяжной, плавный  $r/b_5=1,0$ ) типа  $F_6 + F_n \geq F_c$  прямоугольного сечения;  $\alpha=90^\circ$  [7-44, 7-49]

Диаграмма 7-14



Боковое ответвление

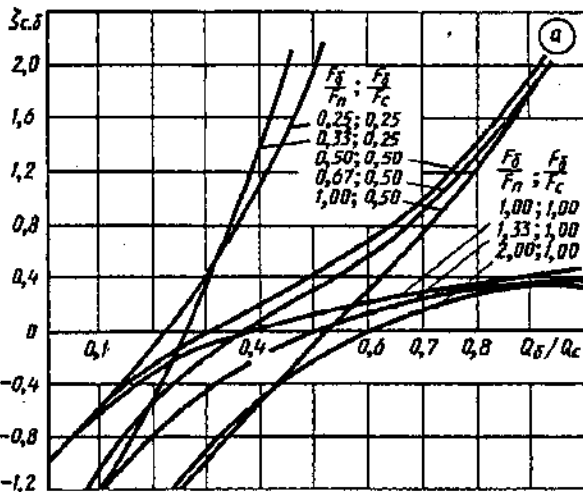
$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = a_0 \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + b_1 \frac{Q_6}{Q_c} + c_1 \quad \text{см. таблицу и график а;}$$

$a_0, b_1$  и  $c_1$  см. таблицу;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c.6} / \left( \frac{Q_6 F_c}{Q_c F_6} \right)^2$$

Значения  $\zeta_{c.6}$

$\frac{F_6}{F_n} \left( \frac{F_6}{F_c} \right)$	$Q_6/Q_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,25 (0,25)	-0,50	0	0,50	1,20	2,20	3,70	5,80	8,40	11,40
0,33 (0,25)	-1,20	-0,40	0,40	1,60	3,00	4,80	6,80	8,90	11,00
0,50 (0,50)	-0,50	-0,20	0	0,25	0,45	0,70	1,00	1,50	2,00
0,67 (0,50)	-1,00	-0,60	-0,20	0,10	0,30	0,60	1,00	1,45	2,00
1,00 (0,50)	-2,15	-1,45	-0,95	-0,50	0	0,40	0,80	1,30	1,90
1,00 (1,00)	-0,60	-0,30	-0,10	-0,04	0,13	0,21	0,29	0,36	0,42
1,33 (1,00)	-1,20	-0,80	-0,40	-0,20	0	0,16	0,24	0,32	0,38
2,00 (1,00)	-2,10	-1,40	-0,90	-0,50	-0,20	0	0,20	0,25	0,30



Прямой проход

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = a_2 \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 + b_2 \frac{Q_6}{Q_c} + c_2 \quad \text{см. таблицу и график б;}$$

$a_2, b_2$  и  $c_2$  см. таблицу;

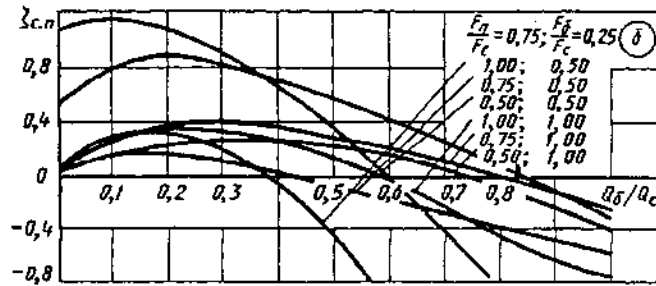
$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.n}}{\left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2 \left( \frac{F_c}{F_n} \right)^2}$$

Значения  $\zeta_{c.n}$

$\frac{F_n}{F_c} \left( \frac{F_6}{F_c} \right)$	$Q_6/Q_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,75 (0,25)	0,30	0,30	0,20	-0,10	-0,45	-0,92	-1,45	-2,00	-2,60
1,00 (0,50)	0,17	0,16	0,10	0	-0,08	-0,18	-0,27	-0,37	-0,46
0,75 (0,50)	0,27	0,35	0,32	0,25	0,12	-0,03	-0,23	-0,42	-0,58
0,50 (0,50)	1,15	1,10	0,90	0,65	0,35	0	-0,40	-0,80	-1,30
1,00 (1,00)	0,18	0,24	0,27	0,26	0,23	0,18	0,10	0	-0,12
0,75 (1,00)	0,75	0,36	0,38	0,35	0,27	0,18	0,05	-0,08	-0,22
0,50 (1,00)	0,80	0,87	0,80	0,68	0,55	0,40	0,25	0,08	-0,10

Тройник (вытяжной, плавный  $r/b_6=1,0$ ) типа  $F_6 + F_n \geq F_c$  прямоугольного сечения;  $\alpha = 90^\circ$  [7-44, 7-49]

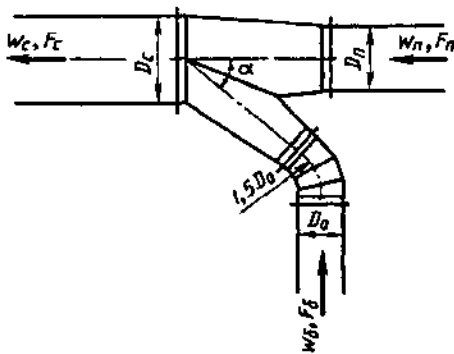
Диаграмма 7-14



$F_6/F_n$	$F_n/F_c$	$F_6/F_c$	$a_0$	$b_1$	$c_1$	$a_2$	$b_2$	$c_2$
0,25	1,00	0,25	19,82	-5,27	-0,03	-4,38	0,65	0,32
0,33	0,75	0,25	11,43	3,97	-1,76	-0,45	-0,39	0,22
0,50	1,00	0,50	1,96	1,04	-0,58	-1,70	0,57	0,25
0,67	0,75	0,50	1,96	1,64	-1,05	-2,68	0,42	1,23
1,00	0,50	0,50	-0,63	5,55	-2,65	-1,27	0,88	0,11
1,00	1,00	1,00	-1,55	2,88	-0,90	0,16	-1,30	0,84
1,33	0,75	1,00	-2,64	4,54	-1,60	-2,68	-0,42	1,23
2,00	0,50	1,00	-4,46	-7,41	-2,77			

Тройник стандартизированной конструкции (вытяжной);  $\alpha = 30^\circ$  [7-21]

Диаграмма 7-15



Боковое ответвление при  $\bar{f}_n = \frac{F_n}{F_c} \geq 0,5$ :

$$\zeta_{c,6} = \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = x_6 - 0,1 / x_6 - 0,3 + \beta_6, \text{ где}$$

$$x_6 = c_6 \cdot \bar{f}_n \cdot (4\bar{f}_6 + 0,024 / \bar{f}_6)^\sigma;$$

$$\gamma = \frac{0,2 - c_6}{c_6^{1,2} + 0,5}; \quad \sigma = \frac{\bar{f}_6 - c_6 + 0,3}{c_6^{0,8} + 2,2\bar{f}_6};$$

$$c_6 = \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 \bar{f}_n = \left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2 \frac{F_n}{F_c}; \quad \bar{f}_6 = \frac{F_6}{F_c};$$

$$\beta_6 = \left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2 [0,95 \exp(-15(\bar{f}_6 - 0,38)^2) - 0,5]$$

Проход при  $c_n \bar{f}_n = \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 \frac{\bar{f}_6}{\bar{f}_n} \leq 0,5$ :

$$\zeta_{c,n} = \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{0,4 - 0,13 x_n^{-0,5}}{\bar{f}_n} - \beta_n; \quad \tau = \frac{x_n - 0,02}{x_n^3 + 0,11}; \quad x_n = c_n \cdot \bar{f}_n \cdot (2\bar{f}_6)^\psi; \quad \psi = \frac{0,12 - c_n \bar{f}_n}{0,02 + c_n \bar{f}_n}; \quad \beta_n = \frac{1 - \bar{f}_n}{1 + 10\bar{f}_n^5};$$

$$\zeta_6 = \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{\left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2}; \quad \zeta_n = \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{\left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2}$$

Тройник стандартизированной конструкции (вытяжной);  $\alpha = 30^\circ$  [7-21]

Диаграмма 7-15

Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

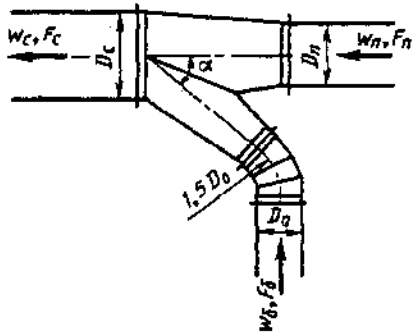
$F_6/F_c$	$\bar{f}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{f}_n = 0,8$					
	$Q_6/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,80	$\frac{-0,21}{0,33}$	$\frac{-1,02}{0,35}$	$\frac{-3,65}{0,32}$	—	—	—	$\frac{-0,05}{0,10}$	$\frac{-0,45}{0,27}$	$\frac{-1,49}{0,33}$	$\frac{-4,76}{0,32}$	—	—
0,63	$\frac{0,32}{0,26}$	$\frac{-0,04}{0,31}$	$\frac{-1,29}{0,30}$	$\frac{-7,40}{0,28}$	—	—	$\frac{0,38}{-0,03}$	$\frac{0,21}{0,21}$	$\frac{-0,27}{0,30}$	$\frac{-1,83}{0,31}$	$\frac{-9,46}{0,28}$	—
0,50	$\frac{0,79}{0,13}$	$\frac{0,63}{0,26}$	$\frac{0,02}{0,28}$	$\frac{-2,97}{0,27}$	—	—	$\frac{0,80}{-0,24}$	$\frac{0,74}{0,12}$	$\frac{0,51}{0,25}$	$\frac{-0,25}{0,28}$	$\frac{-3,94}{0,27}$	—
0,40	$\frac{1,03}{-0,08}$	$\frac{0,95}{0,17}$	$\frac{0,65}{0,24}$	$\frac{-0,88}{0,25}$	$\frac{-21,44}{0,23}$	—	$\frac{1,02}{-0,55}$	$\frac{0,99}{-0,01}$	$\frac{0,89}{0,18}$	$\frac{0,50}{0,24}$	$\frac{-1,37}{0,25}$	—
0,32	$\frac{1,07}{-0,47}$	$\frac{1,04}{0,04}$	$\frac{0,87}{0,18}$	$\frac{0,08}{0,21}$	$\frac{-10,19}{0,21}$	—	$\frac{1,05}{-1,02}$	$\frac{1,04}{-0,20}$	$\frac{0,98}{0,08}$	$\frac{0,78}{0,19}$	$\frac{-0,19}{0,22}$	$\frac{-13,05}{0,22}$
0,25	$\frac{1,07}{-1,05}$	$\frac{1,04}{-0,21}$	$\frac{0,94}{0,06}$	$\frac{0,52}{0,15}$	$\frac{-4,32}{0,18}$	—	—	$\frac{1,01}{-0,51}$	$\frac{0,98}{-0,07}$	$\frac{0,85}{0,10}$	$\frac{0,35}{0,17}$	$\frac{-5,58}{0,19}$
0,20	—	$\frac{1,09}{-0,60}$	$\frac{0,99}{-0,11}$	$\frac{0,71}{0,07}$	$\frac{-1,75}{0,14}$	—	—	—	$\frac{1,00}{-0,26}$	$\frac{0,90}{-0,01}$	$\frac{0,58}{0,10}$	$\frac{-2,42}{0,19}$
0,16	—	—	$\frac{1,12}{-0,39}$	$\frac{0,88}{-0,06}$	$\frac{-0,51}{0,06}$	$\frac{-14,68}{0,09}$	—	—	$\frac{1,11}{-0,55}$	$\frac{1,00}{-0,15}$	$\frac{0,75}{0,01}$	$\frac{-0,86}{0,09}$
0,125	—	—	$\frac{1,38}{-0,95}$	$\frac{1,12}{-0,32}$	$\frac{0,25}{-0,07}$	$\frac{-5,92}{0}$	—	—	—	$\frac{1,21}{-0,39}$	$\frac{0,97}{-0,12}$	$\frac{0,01}{0,01}$
0,10	—	—	—	$\frac{1,35}{-0,75}$	$\frac{0,66}{-0,28}$	$\frac{-2,33}{-0,15}$	—	—	—	—	—	—

Тройник стандартизированной конструкции (вытяжной);  $\alpha = 30^\circ$  [7-21]

Диаграмма 7-15

$F_0/F_c$	$J_n = 0,63$					$J_n = 0,5$				
	$Q_0/Q_c$									
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4	
0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,63	$\frac{0,38}{-0,86}$	$\frac{0,28}{-0,14}$	$\frac{0,04}{0,16}$	$\frac{-0,58}{0,30}$	$\frac{-2,53}{0,30}$	—	—	—	—	
0,50	$\frac{0,79}{-1,21}$	$\frac{0,76}{-0,28}$	$\frac{0,65}{0,08}$	$\frac{0,35}{0,25}$	$\frac{-0,61}{0,29}$	$\frac{0,74}{-1,20}$	$\frac{0,68}{-0,32}$	$\frac{0,53}{0,12}$	$\frac{0,15}{0,31}$	
0,40	—	$\frac{0,98}{-0,47}$	$\frac{0,94}{-0,04}$	$\frac{0,79}{0,18}$	$\frac{0,29}{0,26}$	$\frac{0,96}{-1,48}$	$\frac{0,94}{-1,47}$	$\frac{0,86}{0}$	$\frac{0,66}{0,26}$	
0,32	—	$\frac{1,01}{-0,71}$	$\frac{0,99}{-0,17}$	$\frac{0,91}{0,09}$	$\frac{0,64}{0,21}$	—	—	—	—	
0,25	—	—	$\frac{0,95}{-0,35}$	$\frac{0,90}{-0,04}$	$\frac{0,75}{0,12}$	—	—	—	—	
0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	





Боковое ответвление при  $\bar{J}_n = \frac{F_n}{F_c} \geq 0,5$

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = x_6 - 0,1 / x_6 - 0,3,$$

где  $x_6$  см. диаграмму 7-15.

Проход при  $c_n \bar{J}_n = \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 \bar{J}_n \leq 0,5$

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = \frac{0,4 - 0,13 x_n^{-0,5}}{\bar{J}_n^2};$$

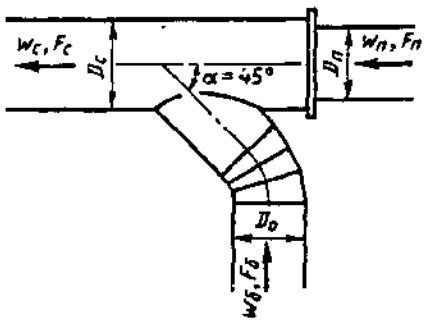
$x_n$  и  $\tau$  см. диаграмму 7-15;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.6}}{\left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2}; \quad \zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.n}}{\left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2}$$

Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$\bar{J}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{J}_n = 0,8$					
	$Q_6/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,8	$\frac{0,23}{0,33}$	$\frac{-0,58}{0,35}$	$\frac{-3,21}{0,32}$	—	—	—	$\frac{0,39}{0,29}$	$\frac{-0,01}{0,39}$	$\frac{-1,05}{0,41}$	$\frac{-4,32}{0,38}$	—	—
0,63	$\frac{0,45}{0,26}$	$\frac{0,09}{0,31}$	$\frac{-1,16}{0,30}$	$\frac{-7,27}{0,28}$	—	—	$\frac{0,51}{0,16}$	$\frac{0,34}{0,33}$	$\frac{-0,14}{0,38}$	$\frac{-1,70}{0,37}$	$\frac{-9,33}{0,33}$	—
0,50	$\frac{0,53}{0,13}$	$\frac{0,37}{0,26}$	$\frac{-0,24}{0,28}$	$\frac{-3,23}{0,27}$	—	—	$\frac{0,54}{-0,05}$	$\frac{0,48}{0,24}$	$\frac{0,25}{0,33}$	$\frac{-0,51}{0,34}$	$\frac{-4,20}{0,32}$	—
0,40	$\frac{0,59}{-0,08}$	$\frac{0,51}{0,17}$	$\frac{0,21}{0,24}$	$\frac{-1,32}{0,25}$	$\frac{-21,88}{0,23}$	—	$\frac{0,58}{-0,36}$	$\frac{0,55}{0,11}$	$\frac{0,45}{0,26}$	$\frac{0,06}{0,30}$	$\frac{-1,81}{0,30}$	—
0,32	$\frac{0,67}{-0,41}$	$\frac{0,64}{0,04}$	$\frac{0,47}{0,18}$	$\frac{-0,32}{0,21}$	$\frac{-10,59}{0,21}$	—	$\frac{0,65}{-0,83}$	$\frac{0,64}{-0,08}$	$\frac{0,58}{0,16}$	$\frac{0,38}{0,25}$	$\frac{-0,59}{0,27}$	$\frac{-13,45}{0,26}$
0,25	$\frac{0,83}{-1,05}$	$\frac{0,80}{-0,21}$	$\frac{0,70}{0,06}$	$\frac{0,28}{0,15}$	$\frac{-4,56}{0,18}$	—	—	$\frac{0,77}{-0,39}$	$\frac{0,74}{0,01}$	$\frac{0,61}{0,16}$	$\frac{0,11}{0,22}$	$\frac{-5,82}{0,23}$
0,20	—	$\frac{1,01}{-0,60}$	$\frac{0,91}{-0,11}$	$\frac{0,63}{0,08}$	$\frac{-1,87}{0,14}$	—	—	—	$\frac{0,92}{-0,18}$	$\frac{0,82}{0,05}$	$\frac{0,50}{0,15}$	$\frac{-2,50}{0,19}$
0,16	—	—	$\frac{1,17}{-0,39}$	$\frac{0,93}{-0,06}$	$\frac{-0,46}{0,06}$	$\frac{-14,63}{0,09}$	—	—	$\frac{1,16}{-0,47}$	$\frac{1,05}{-0,09}$	$\frac{0,80}{0,06}$	$\frac{-0,81}{0,13}$

Тройник стандартизованной конструкции (вытяжной); $\alpha = 45^\circ$ [7-21]										Диаграмма 7-16		
$F_0/F_c$	$\bar{f}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{f}_n = 0,8$					
	$Q_0/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,10	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,125	-	-	$\frac{1,52}{-0,95}$	$\frac{1,26}{-0,32}$	$\frac{0,39}{-0,07}$	$\frac{-5,78}{0,00}$	-	-	-	$\frac{1,35}{-0,33}$	$\frac{1,11}{-0,07}$	$\frac{0,15}{0,05}$
0,10	-	-	-	$\frac{1,56}{-0,75}$	$\frac{0,87}{-0,28}$	$\frac{-2,12}{-0,15}$	-	-	-	-	-	-
$F_0/F_c$	$\bar{f}_n = 0,63$					$\bar{f}_n = 0,5$						
	$Q_0/Q_c$											
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4			
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
0,63	$\frac{0,51}{-0,12}$	$\frac{0,41}{0,28}$	$\frac{0,17}{0,43}$	$\frac{-0,45}{0,48}$	$\frac{-2,40}{0,44}$	-	-	-	-			
0,50	$\frac{0,53}{-0,47}$	$\frac{0,50}{0,14}$	$\frac{0,39}{0,35}$	$\frac{0,09}{0,43}$	$\frac{-0,87}{0,43}$	$\frac{0,48}{-0,14}$	$\frac{0,42}{0,27}$	$\frac{0,27}{0,50}$	$\frac{-0,11}{0,57}$			
0,40	-	$\frac{0,54}{-0,05}$	$\frac{0,50}{0,23}$	$\frac{0,35}{0,36}$	$\frac{-0,15}{0,40}$	$\frac{0,52}{-0,42}$	$\frac{0,50}{0,12}$	$\frac{0,42}{0,38}$	$\frac{0,22}{0,52}$			
0,32	-	$\frac{0,61}{-0,29}$	$\frac{0,59}{0,10}$	$\frac{0,51}{0,27}$	$\frac{0,24}{0,35}$	-	-	-	-			
0,25	-	-	$\frac{0,71}{-0,08}$	$\frac{0,66}{0,14}$	$\frac{0,51}{0,26}$	-	-	-	-			
0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
0,125	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-			



Боковое ответвление при  $\bar{f}_n = \frac{F_n}{F_c} \geq 0,5$

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = x_6 - 0,1 / x_6 - 0,1,$$

где  $x_6 = c_6 \cdot \bar{f}_n \cdot (5\bar{f}_6)^\sigma$ ;  $\gamma = \frac{0,8 - c_6}{0,86c_6 + 0,2}$ ;  $\sigma = \frac{0,8 - c_6}{c_6^{1,5} + 0,6}$ ;

$$c_6 = \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 \bar{f}_n = \left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2 \frac{F_n}{F_c}; \quad \bar{f}_6 = \frac{F_6}{F_c}$$

Проход при  $c_n \bar{f}_n = \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 \frac{\bar{f}_6}{\bar{f}_n} \leq 0,5$   $\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = \frac{0,4 - 0,13x_n^{-0,5}}{\bar{f}_n}$ ;  $\tau = \frac{x_n - 0,02}{x_n^3 + 0,11}$ ;  $x_n = c_n \bar{f}_n (2\bar{f}_6)^\tau$ ;

$$\psi = \frac{0,12 - c_n \bar{f}_n}{0,02 + c_n \bar{f}_n}; \quad \zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c,6} / \left(\frac{Q_6 F_c}{Q_c F_6}\right)^2; \quad \zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c,n} / \left[\left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2\right]$$

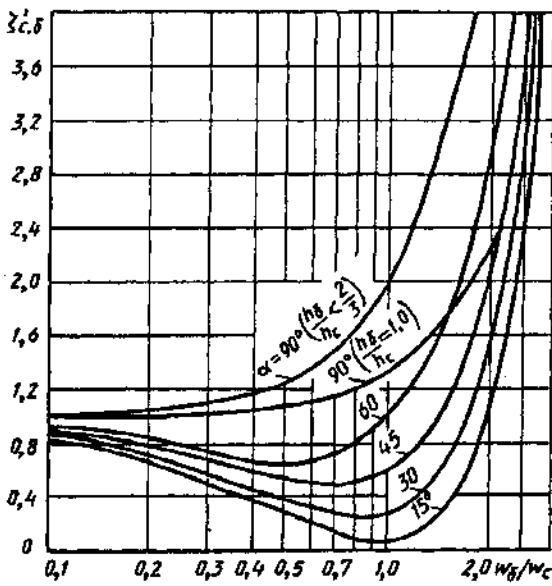
Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$\bar{f}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{f}_n = 0,8$					
	$Q_6/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,8	$\frac{1,17}{0,33}$	$\frac{1,45}{0,35}$	$\frac{1,16}{0,32}$	—	—	—	$\frac{0,66}{0,29}$	$\frac{0,61}{0,39}$	$\frac{0,19}{0,41}$	$\frac{-1,86}{0,38}$	—	—
0,63	$\frac{0,79}{0,26}$	$\frac{0,98}{0,31}$	$\frac{0,85}{0,31}$	$\frac{-1,47}{0,28}$	—	—	$\frac{0,58}{0,16}$	$\frac{0,55}{0,33}$	$\frac{0,37}{0,38}$	$\frac{-1,61}{0,37}$	$\frac{-7,00}{0,33}$	—
0,50	$\frac{0,70}{0,13}$	$\frac{0,74}{0,26}$	$\frac{0,69}{0,28}$	$\frac{-0,52}{0,27}$	—	—	$\frac{0,61}{-0,05}$	$\frac{0,58}{0,24}$	$\frac{0,47}{0,33}$	$\frac{-0,01}{0,34}$	$\frac{-3,26}{0,32}$	—
0,40	$\frac{0,75}{-0,08}$	$\frac{0,73}{0,17}$	$\frac{0,67}{0,24}$	$\frac{-0,01}{0,25}$	$\frac{-13,64}{0,23}$	—	$\frac{0,70}{-0,36}$	$\frac{0,65}{0,11}$	$\frac{0,58}{0,26}$	$\frac{0,31}{0,30}$	$\frac{-1,37}{0,30}$	—
0,32	$\frac{0,84}{-0,41}$	$\frac{0,81}{0,04}$	$\frac{0,74}{0,18}$	$\frac{0,32}{0,21}$	$\frac{-7,26}{0,21}$	—	$\frac{0,81}{-0,83}$	$\frac{0,77}{-0,08}$	$\frac{0,70}{0,16}$	$\frac{0,52}{0,25}$	$\frac{0,36}{0,27}$	$\frac{-17,56}{0,26}$
0,25	$\frac{0,95}{-1,05}$	$\frac{0,93}{-0,21}$	$\frac{0,87}{0,06}$	$\frac{0,61}{0,15}$	$\frac{-3,34}{0,18}$	—	—	$\frac{0,91}{-0,39}$	$\frac{0,85}{0,01}$	$\frac{0,72}{0,16}$	$\frac{0,24}{0,22}$	$\frac{-7,70}{0,23}$
0,20	—	$\frac{1,04}{-0,60}$	$\frac{1,00}{-0,11}$	$\frac{0,83}{0,07}$	$\frac{-1,37}{0,14}$	—	—	—	$\frac{1,00}{-0,18}$	$\frac{0,90}{0,05}$	$\frac{0,58}{0,15}$	$\frac{-3,28}{0,19}$
0,16	—	—	$\frac{1,13}{-0,39}$	$\frac{1,03}{-0,08}$	$\frac{-0,23}{0,06}$	$\frac{-16,86}{0,09}$	—	—	$\frac{1,12}{-0,47}$	$\frac{1,07}{-0,09}$	$\frac{0,84}{0,06}$	$\frac{-1,10}{0,13}$
0,125	—	—	$\frac{1,23}{-0,95}$	$\frac{1,23}{-0,32}$	$\frac{0,49}{-0,07}$	$\frac{-7,42}{0}$	—	—	—	$\frac{1,22}{-0,33}$	$\frac{1,11}{-0,07}$	$\frac{0,03}{0,05}$
0,10	—	—	—	$\frac{1,36}{-0,75}$	$\frac{0,83}{-0,28}$	$\frac{-3,00}{-0,15}$	—	—	—	—	—	—

Тройник индустриальной конструкции (вытяжной); $\alpha \leq 45^\circ$ [7-21]						Диаграмма 7-17				
$F_6/F_c$	$\bar{f}_n=0,63$					$\bar{f}_n=0,5$				
	$Q_6/Q_c$									
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,8	0,5	0,4	
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,63	$\frac{0,45}{-0,12}$	$\frac{0,38}{0,28}$	$\frac{0,19}{0,43}$	$\frac{-0,40}{0,48}$	$\frac{-2,80}{0,44}$	—	—	—	—	
0,50	$\frac{0,54}{-0,47}$	$\frac{0,45}{0,14}$	$\frac{0,38}{0,35}$	$\frac{0,09}{0,43}$	$\frac{-1,02}{0,43}$	$\frac{0,42}{-0,14}$	$\frac{0,32}{0,27}$	$\frac{0,13}{0,50}$	$\frac{-0,39}{0,57}$	
0,40	—	$\frac{0,60}{-0,05}$	$\frac{0,52}{0,23}$	$\frac{0,35}{0,36}$	$\frac{-0,19}{0,40}$	$\frac{0,55}{-0,42}$	$\frac{0,47}{0,12}$	$\frac{0,35}{0,38}$	$\frac{0,08}{0,52}$	
0,32	—	$\frac{0,74}{-0,29}$	$\frac{0,66}{0,10}$	$\frac{0,53}{0,27}$	$\frac{0,21}{0,35}$	—	—	—	—	
0,25	—	—	$\frac{0,84}{-0,08}$	$\frac{0,73}{0,14}$	$\frac{0,52}{0,26}$	—	—	—	—	
0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$ ;  
 $\alpha = 0 \div 90^\circ$   
 Боковое ответвление [7-28]

Диаграмма  
7-18



1.  $0 < \alpha < 60^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$  при  $h_6/h_c \leq 2/3$ ;

$h_6$  — высота сечения бокового ответвления;  $h_c$  — высота сечения сборного рукава.

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = A' \left[ 1 + \left( \frac{w_6}{w_c} \right)^2 - 2 \frac{w_6}{w_c} \cos \alpha \right] = A' \zeta'_{c,6},$$

где  $A'$  см. п. 15 параграфа 7-1; при  $\alpha = 90^\circ$  принять  $A' = 1,0$ .

2.  $\alpha = 90^\circ$  и  $h_6/h_c = 1,0$  (до  $w_6/w_c \approx 2,0$ ):

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = \zeta'_{c,6} \left[ 1 + 0,3 \left( \frac{w_6}{w_c} \right)^2 \right],$$

где  $\zeta'_{c,6}$  см. таблицу и кривые  $\zeta'_{c,6} = f(w_6/w_c)$  при различных  $\alpha$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c,6} / \left( \frac{w_6}{w_c} \right)^2;$$

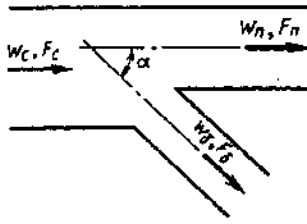
$$\frac{w_6}{w_c} = \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6}$$

Значения  $\zeta'_{c,6}$

$\frac{w_6}{w_c}$	$\alpha^\circ$				$\alpha' = 90^\circ$	
	15	30	45	60	$h_6/h_c \leq 2/3$	$h_6/h_c = 1,0$
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	0,82	0,84	0,87	0,91	1,01	1,0
0,2	0,65	0,70	0,75	0,84	1,04	1,01
0,4	0,38	0,46	0,60	0,76	1,16	1,05
0,6	0,20	0,31	0,50	0,65	1,35	1,11
0,8	0,09	0,25	0,51	0,80	1,64	1,19
1,0	0,07	0,27	0,58	1,00	2,00	1,30
1,2	0,12	0,36	0,74	1,23	2,44	1,43
1,4	0,24	0,70	0,98	1,54	2,96	1,59
1,6	0,46	0,80	1,30	1,98	3,54	1,77
2,0	1,10	1,52	2,16	3,00	4,60	2,20
2,6	2,75	3,23	4,10	5,15	7,76	—
3,0	7,20	7,40	7,80	8,10	9,00	—
4,0	14,1	14,2	14,8	15,0	16,0	—
5,0	23,2	23,5	23,8	24,0	25,0	—
6,0	34,2	34,5	35,0	35,0	36,0	—
8,0	62,0	62,7	63,0	63,0	64,0	—
10	98,0	98,3	98,6	99,0	100	—

Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n = F_c$ ;  $\alpha = 0 - 90^\circ$ .  
Боковое ответвление [7-28]

Диаграмма  
7-19



$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 - 2 \frac{w_6}{w_c} \cos \alpha - K'_6 \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2$$

$\alpha^\circ$	15	30	45	60	90
$K'_6$	0,04	0,16	0,36	0,64	1,00

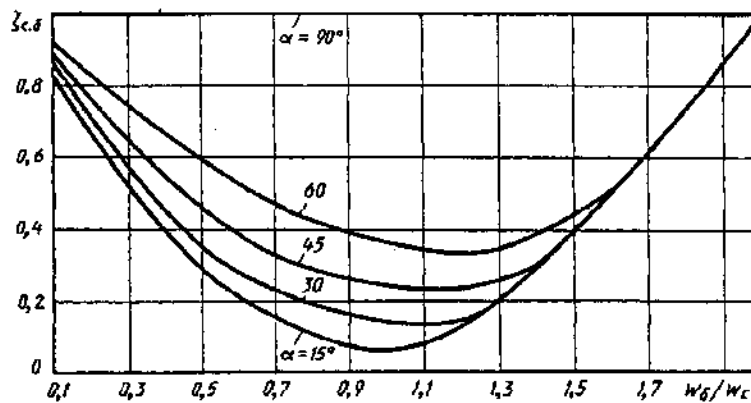
$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,6}}{(w_6/w_c)^2};$$

$$\frac{w_6}{w_c} = \frac{Q_6}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_6}$$

$\zeta_{c,6} \equiv f(w_6/w_c)$  при различных  $\alpha$  см. также таблицу и график

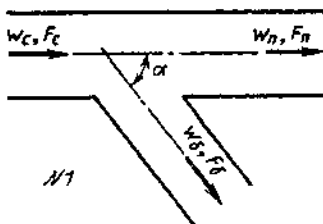
Значения  $\zeta_{c,6}$

$\alpha^\circ$	$w_6/w_c$												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
15	0,81	0,65	0,51	0,38	0,28	0,20	0,11	0,06	0,14	0,30	0,51	0,76	1,00
30	0,84	0,69	0,56	0,44	0,34	0,26	0,19	0,15	0,15	0,30	0,51	0,76	1,00
45	0,87	0,74	0,63	0,54	0,45	0,38	0,29	0,24	0,23	0,30	0,51	0,76	1,00
60	0,90	0,82	0,79	0,66	0,59	0,53	0,43	0,36	0,33	0,39	0,51	0,76	1,00
90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$  (№ 1) и  $F_6 + F_n = F_c$  (№ 2).  
 $\alpha = 0 - 90^\circ$ . Проход [7-8, 7-28]

Диаграмма  
7-20



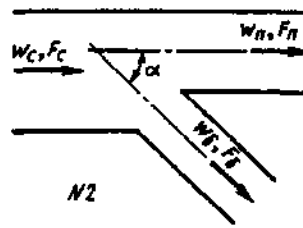
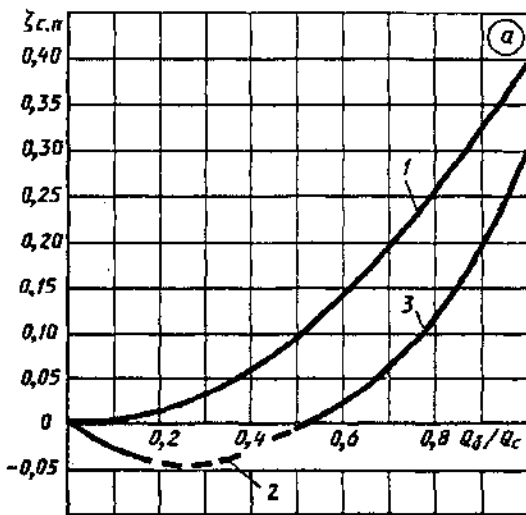
№ 1.  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$

$$\zeta_{c,n} = \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2} = \tau_n (Q_6 / Q_c)^2,$$

где  $\tau_n$  см. таблицу;  $\zeta_{c,n}$  см. также табл. 1 и график а

Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$  (№ 1) и  $F_6 + F_n = F_c$  (№ 2).  
 $\alpha = 0 - 90^\circ$ . Проход [7-8, 7-28]

Диаграмма  
7-20



№ 2.  $F_6 + F_n = F_c \geq 1,0$

$\zeta_{c,n} = \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицу и график б;

$$\zeta_n = \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c,n}}{(w_n/w_c)^2};$$

$$\frac{w_n}{w_c} = \frac{Q_n \cdot F_c}{Q_c \cdot F_n}$$

$F_6/F_c$	$\leq 0,4$	$> 0,4$	
$Q_6/Q_c$	$0 \div 1,0$	$\leq 0,5$	$> 0,5$
$\tau_n$	0,4	$2(2Q_6/Q_c - 1)$	$0,3(2Q_6/Q_c - 1)$

1. Значения  $\zeta_{c,n}$

$Q_6/Q_c$										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

1.  $F_6/F_c \leq 0,4$ ;  $Q_6/Q_c = 0 \div 1,0$

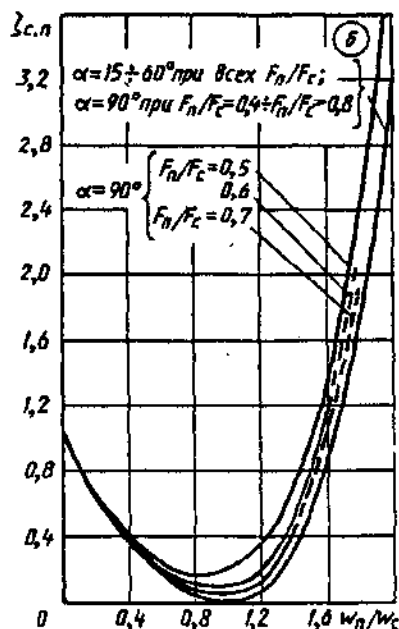
0	0,004	0,016	0,036	0,064	0,100	0,144	0,196	0,256	0,324	0,40
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

2.  $F_6/F_c > 0,4$ ;  $Q_6/Q_c \leq 0,5$

0	-0,016	-0,048	-0,072	-0,064	0	—	—	—	—	—
---	--------	--------	--------	--------	---	---	---	---	---	---

3.  $F_6/F_c > 0,4$ ;  $Q_6/Q_c > 0,5$

—	—	—	—	—	0	0,021	0,059	0,115	0,194	0,30
---	---	---	---	---	---	-------	-------	-------	-------	------

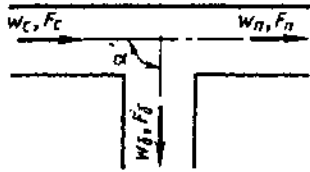


2. Значения  $\zeta_{c,n}$

$\frac{w_n}{w_c}$	$\alpha$					
	$15-60^\circ$		$90^\circ$			
	$F_n/F_c$					
	0—1,0	0—0,4	0,5	0,6	0,7	$\geq 0,8$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
0,2	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
0,3	0,50	0,50	0,52	0,52	0,50	0,50
0,4	0,36	0,36	0,40	0,38	0,37	0,36
0,5	0,25	0,25	0,30	0,28	0,27	0,25
0,6	0,16	0,16	0,23	0,20	0,18	0,16
0,8	0,04	0,04	0,17	0,10	0,07	0,04
1,0	0,00	0,00	0,20	0,10	0,05	0,00
1,2	0,07	0,07	0,36	0,21	0,14	0,07
1,4	0,39	0,39	0,79	0,59	0,39	—
1,6	0,90	0,90	1,40	1,16	—	—
1,8	1,78	1,78	2,44	—	—	—
2,0	3,20	3,20	4,00	—	—	—

Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_c > F_n$ ;  $F_n = F_c$   
из ковкого чугуна на резьбе;  $\alpha = 90^\circ$  [7-13]

Диаграмма  
7-21

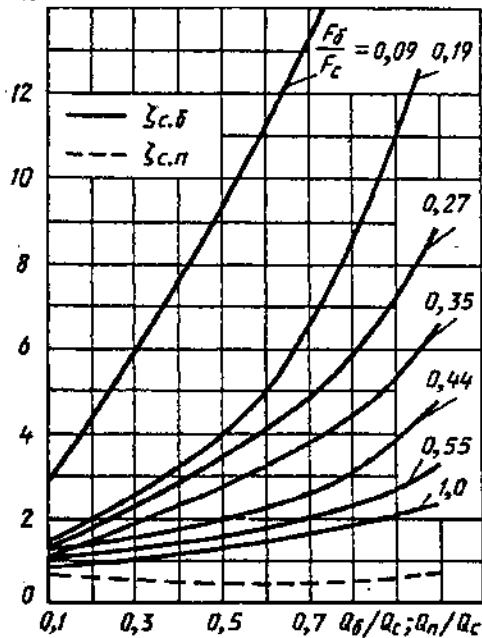


Боковое ответвление

$\zeta_{c.б} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.б} = f(Q_6/Q_c)$  при различных  $F_6/F_n$ ;

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c.б} \left( \frac{Q_6 F_c}{Q_c F_6} \right)^2$$

$\zeta_{c.б}; \zeta_{c.п}$



Прход

$\zeta_{c.п} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2}$  см. таблицу и кривую  $\zeta_{c.п} = f\left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)$  при всех  $F_6/F_c$ ;

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c.п} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

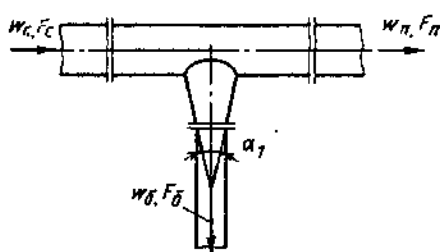
Значения  $\zeta_{c.б}$  и  $\zeta_{c.п}$

$F_6/F_c$	$Q_6/Q_c$ для $\zeta_{c.б}$ ; $Q_n/Q_c$ для $\zeta_{c.п}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Значения $\zeta_{c.б}$										
0,09	2,80	4,50	6,00	7,88	9,40	11,1	13,0	15,8	20,0	24,7
0,19	1,41	2,00	2,50	3,20	3,97	4,95	6,50	8,45	10,8	13,3
0,27	1,37	1,81	2,30	2,83	3,40	4,07	4,80	6,00	7,18	8,90
0,35	1,10	1,54	1,90	2,35	2,73	3,22	3,80	4,32	5,28	6,53
0,44	1,22	1,45	1,67	1,89	2,11	2,38	2,58	3,04	3,84	4,75
0,55	1,09	1,20	1,40	1,59	1,65	1,77	1,94	2,20	2,68	3,30
1,00	0,90	1,00	1,13	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,06	2,30
Значения $\zeta_{c.п}$										
При всех $F_6/F_c$	0,70	0,64	0,60	0,57	0,55	0,51	0,49	0,55	0,62	0,70



Гройник (приточный);  $\alpha = 90^\circ$ ; ответвления конические ( $\alpha_1 = \text{var}$ );  
 $Re = \frac{w_c D_c}{\nu} > 10^4$ ; материал — кровельная сталь (грубое исполнение) [7-35]

Диаграмма  
7-22

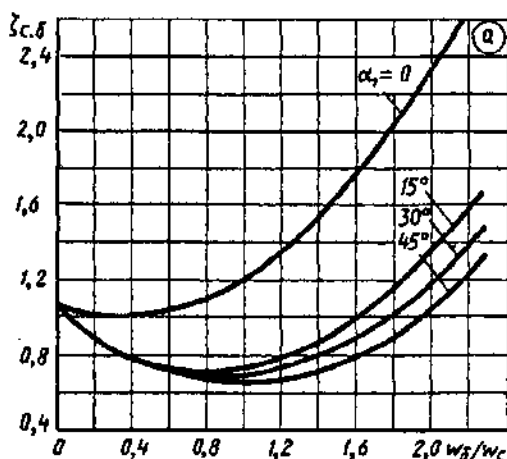


Боковое ответвление  $F_б/F_c = 0,67$ ;

$$\zeta_{c,б} \equiv \frac{\Delta p_б}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. таблицу и график а}$$

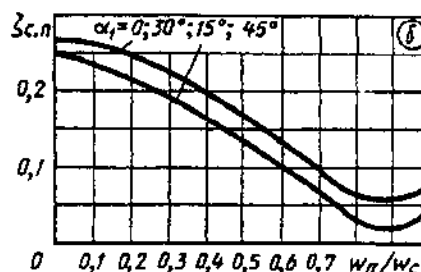
Значения  $\zeta_{c,б}$  (график а)

$\alpha_1^\circ$	$w_б/w_c$									
	0	0,2	0,4	0,6	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
0	1,08	1,01	1,0	1,02	1,22	1,57	1,8	2,05	2,45	2,8
15	1,05	0,90	0,77	0,70	0,75	0,90	1,0	1,2	1,4	1,6
30	1,05	0,90	0,77	0,70	0,70	0,80	0,90	1,02	1,20	1,4
45	1,05	0,90	0,77	0,70	0,68	0,70	0,80	0,90	1,05	1,25



Проход  $F_n/F_c = 1,0$ ;  $F_б/F_c = 0,67$ ;

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. таблицу и график б}$$

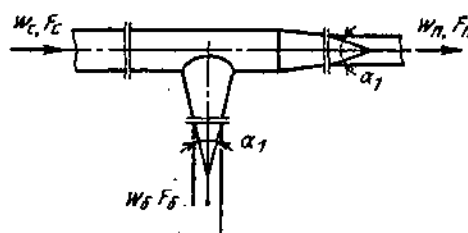
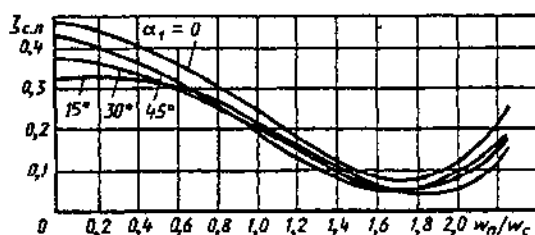


Значения  $\zeta_{c,n}$  (график б)

$\alpha_1^\circ$	$w_n/w_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,30	0,272	0,263	0,250	0,225	0,200	0,163	0,125	0,100	0,063	0,050	0,082
15,45	0,243	0,236	0,215	0,185	0,160	0,135	0,100	0,060	0,032	0,065	0,050

Проход  $F_n/F_c = 0,67$ ;  $F_б/F_c = 0,67$

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. таблицу и график в}$$

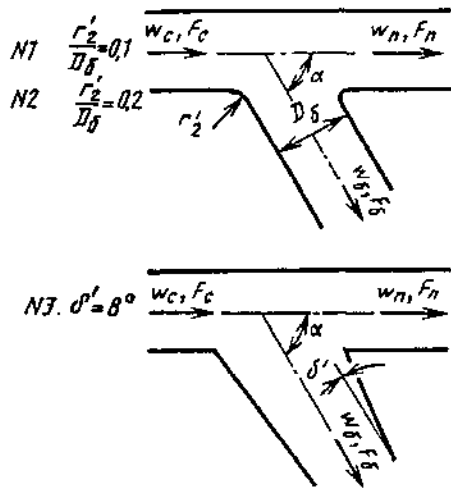


Тройник (приточный); $\alpha = 90^\circ$ ; ответвления конические ( $\alpha_1 = \text{var}$ ); $Re = \frac{w_c D_c}{\nu} > 10^4$ ; материал — кровельная сталь (грубое исполнение) [7-35]	Диаграмма 7-22
--	-------------------

Значения  $\zeta_{c.n}$  (график в)

$\alpha_1$	$w_n/w_c$											
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
0	0,467	0,445	0,400	0,361	0,310	0,275	0,175	0,125	0,080	0,075	0,125	0,212
15	0,325	0,325	0,325	0,300	0,260	0,220	0,167	0,09	0,067	0,050	0,050	0,125
30	0,375	0,367	0,333	0,300	0,250	0,200	0,150	0,10	0,067	0,06	0,075	0,150
45	0,425	0,400	0,355	0,325	0,250	0,190	0,133	0,10	0,05	0,006	0,075	0,15

Тройник (приточный) типа $F_b + F_n > F_c$ ; $F_n = F_c$ улучшенной формы [7-60, 7-66, 7-78, 7-14]	Диаграмма 7-23
---	-------------------

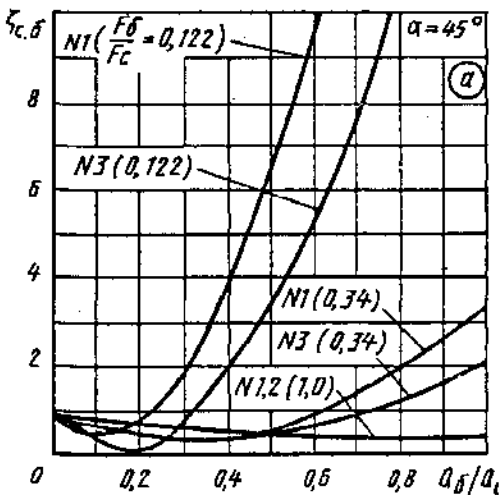


Боковое ответвление

$$\zeta_{c.б} \equiv \frac{\Delta p_б}{\rho w_б^2 / 2} \text{ см. таблицы и кривые}$$

$$\zeta_{c.б} = f(Q_б / Q_c) \text{ графиков а, б, в;}$$

$$\zeta_б \equiv \frac{\Delta p_б}{\rho w_б^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.б}}{(Q_б / Q_c \cdot F_c / F_б)^2}$$

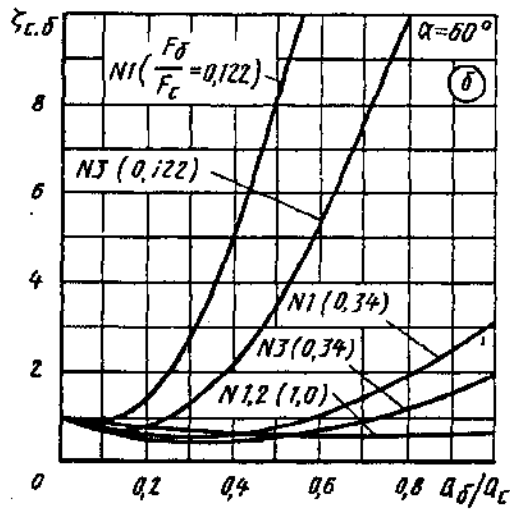


Значения  $\zeta_{c.б}$  ( $\alpha = 45^\circ$ )

$Q_б / Q_c$	$F_б / F_c$					
	№ 1 ( $r_2 / D_б = 0,1$ )		№ 2 ( $r_2 / D_б = 0,2$ )		№ 3 ( $\delta' = 8^\circ$ )	
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34
0,1	0,4	0,62	0,77	0,77	0,4	0,62
0,3	1,9	0,35	0,56	0,56	0,9	0,35
0,6	9,6	0,90	0,32	0,32	5,4	0,60
1,0	30,6	3,35	0,32	0,32	17,4	2,00

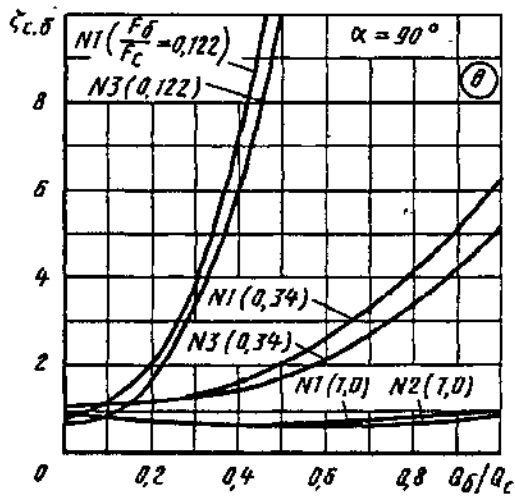
Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$   
улучшенной формы [7-60, 7-66, 7-78, 7-14]

Диаграмма  
7-23



Значения  $\zeta_{c,6}$  ( $\alpha=60^\circ$ )

$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_2/D_6=0,1$ )						№ 2 ( $r_2/D_6=0,2$ )	№ 3 ( $\delta'=8^\circ$ )		
							$F_6/F_c$			
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34				
0,1	0,9	0,77	0,84	0,84	0,7	0,67				
0,3	2,7	0,60	0,67	0,67	1,3	0,44				
0,6	12,0	1,10	0,53	0,53	5,4	0,68				
1,0	36,7	3,16	0,62	0,62	16,6	1,85				



Значения  $\zeta_{c,6}$  ( $\alpha=90^\circ$ )

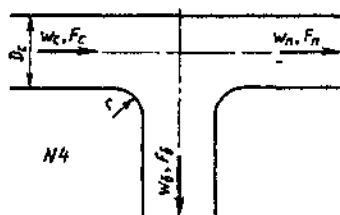
$Q_6/Q_c$	№ 1 ( $r_2/D_6=0,1$ )						№ 2 ( $r_2/D_6=0,2$ )	№ 3 ( $\delta'=8^\circ$ )		
							$F_6/F_c$			
	0,12	0,34	1,0	1,0	0,12	0,34				
0,1	1,2	1,15	0,85	0,85	0,9	1,10				
0,3	4,0	1,42	0,77	0,74	3,4	1,30				
0,6	17,8	2,65	0,78	0,69	17,3	2,17				
1,0	—	6,30	1,00	0,91	—	5,20				

Проход

$$\zeta_{c,а} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. диаграмму 7-20}$$

Боковое ответвление

при  $\alpha=90^\circ$  и  $F_6/F_c=1,0$



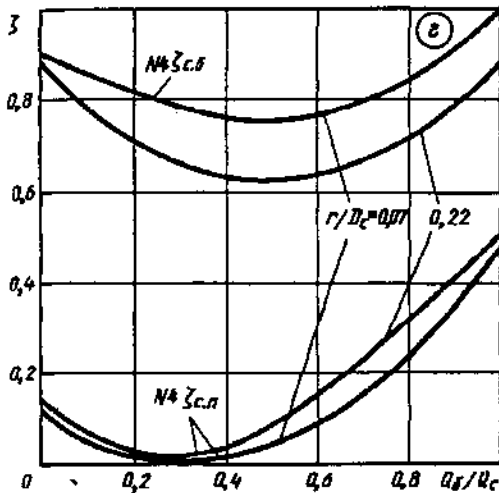
$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицы и кривые  $\zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c, r/D_c)$   
графика z

Тройник (приточный) типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_n = F_c$   
улучшенной формы [7-60, 7-66, 7-78, 7-14]

Диаграмма  
7-23

Значения  $\zeta_{c, \delta}$  (№ 4)

$r/D_c$	$Q_6/Q_c = W_6/w_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,07	0,89	0,84	0,81	0,78	0,76	0,75	0,76	0,79	0,84	0,91	1,0
0,22	0,88	0,78	0,71	0,66	0,64	0,63	0,63	0,65	0,71	0,78	0,87



Проход при  $\alpha = 90^\circ$  и  $F_6/F_c = 1,0$

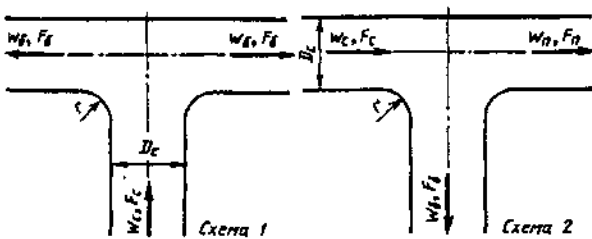
$\zeta_{c, n} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицы и кривые  $\zeta_{c, \delta} = f(Q_6/Q_c, r/D)$  графика z

Значения  $\zeta_{c, n}$  (№ 4)

$r/D_c$	$Q_6/Q_c = w_6/w_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,07	0,13	0,07	0,03	0	0,01	0,04	0,08	0,16	0,24	0,34	0,45
0,22	0,10	0,06	0,02	0	0,03	0,09	0,15	0,23	0,30	0,40	0,50

Тройники при больших скоростях;  $\alpha = 90^\circ$ ,  
улучшенной формы;  $Re > 2 \cdot 10^5$  [7-47]

Диаграмма  
7-24

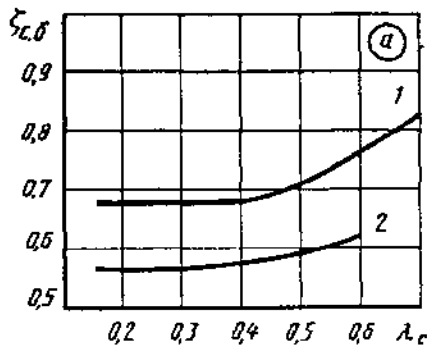


Боковое ответвление

$\zeta_{c, \delta} = \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицы и кривые графиков а, б и в

а. Симметричный тройник типа  $F_6 = F_c$ ;  
 $r/D_c = 0,5$  (схема 1, график а)

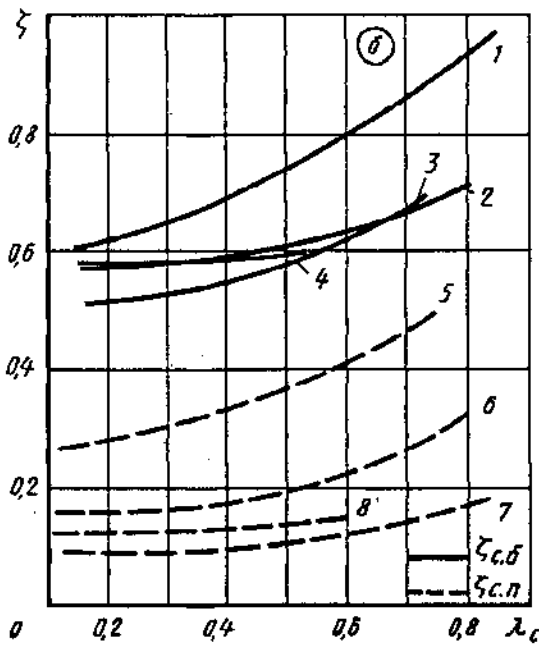
Значения  $\zeta_{c, \delta}$



№ кривой	$G_6/G_c$	$\lambda_c = w_c/a_{кр}$					
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	0,2—0,8	0,68	0,68	0,64	0,71	0,77	0,83
2	1,0	0,57	0,57	0,58	0,60	0,62	0,68

Тройники при больших скоростях;  $\alpha=90^\circ$ ,  
улучшенной формы;  $Re > 2 \cdot 10^5$  [7-47]

Диаграмма  
7-24

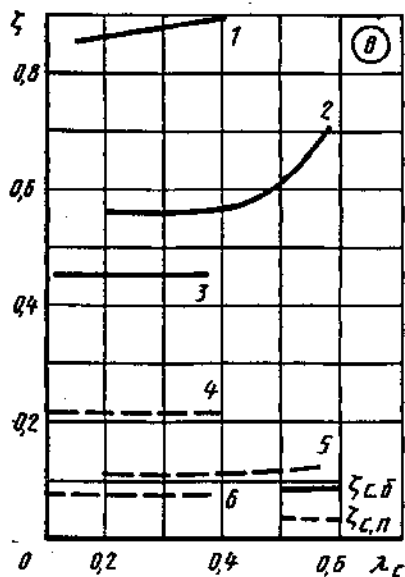


б. Тройник при разделении потока типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_6 = F_n = F_c$ ;  $r/D_c = 0,5$  (схема 2, график б)

Значения  $\zeta_{c, б}$

№ кривой	$G_6/G_c$	$\lambda_c = w_c/a_{кр}$							
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,2	0,62	0,65	0,69	0,73	0,80	0,87	0,95	1,05
2	0,5	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,67	0,82	—
3	0,8	0,51	0,52	0,54	0,59	0,62	0,68	0,77	—
4	1,0	0,58	0,59	0,59	0,6	0,61	—	—	—

в. Тройник при разделении потока типа  $F_6 + F_n = F_c$ ;  $F_6 = F_n$ ;  $r/D_c = 0,5$  (схема 2, график в)



Значения  $\zeta_{c, в}$

№ кривой	$G_6/G_c$	$\lambda_c = w_c/a_{кр}$				
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,25	0,87	0,88	0,90	—	—
2	0,5	0,57	0,57	0,57	0,61	0,73
3	0,8	0,46	0,46	0,47	—	—

Проход

$\zeta_{c, п} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2}$  см. таблицы и кривые графиков б и в.

а. Тройник при разделении потока типа  $F_6 + F_n > F_c$ ;  $F_6 = F_n = F_c$ ;  $r/D_c = 0,5$  (схема 2, график б)

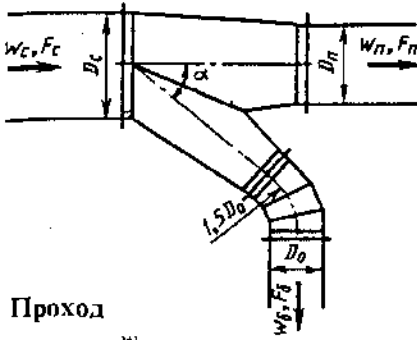
б. Тройник при разделении потока типа  $F_6 + F_n = F_c$ ;  $F_6 = F_n$ ;  $r/D_c = 0,5$  (схема 2, график в)

Значения  $\zeta_{c, п}$

№ кривой	$G_6/G_c$	$\lambda_c = w_c/a_{кр}$							
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	0,2	0,28	0,31	0,33	0,37	0,41	0,47	0,55	—
6	0,5	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22	0,27	0,32	—
7	0,8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,13	0,17	0,22
8	1,0	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	—	—	—

Значения  $\zeta_{c, п}$

№ кривой	$G_6/G_c$	$\lambda_c = w_c/a_{кр}$				
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
4	0,25	0,22	0,22	0,22	0,22	—
5	0,5	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13
6	0,8	0,08	0,08	0,08	0,08	—



Боковое ответвление при  $\bar{w}_6 = \frac{w_6}{w_c} \leq 3$ :

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = 1 - 1,38 \frac{w_6}{w_c} + \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 - 0,06 \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^3$$

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 0,28 - 0,9 \frac{w_n}{w_c} + 0,955 \left(\frac{w_n}{w_c}\right)^2 - 0,157 \left(\frac{w_n}{w_c}\right)^3$$

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \zeta_{c,6} / \left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2; \quad \zeta_n \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \zeta_{c,n} / \left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2$$

Проход

при  $\bar{w} = \frac{w_n}{w_c} < 2$

Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$\bar{J}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{J}_n = 0,8$					
	$Q_6/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,8	$\frac{1,31}{0,20}$	$\frac{2,21}{0,14}$	$\frac{4,41}{0,13}$	—	—	—	$\frac{0,89}{0,20}$	$\frac{1,31}{0,13}$	$\frac{2,21}{0,14}$	$\frac{4,41}{0,15}$	—	—
0,63	$\frac{0,80}{0,20}$	$\frac{1,30}{0,14}$	$\frac{2,48}{0,13}$	$\frac{6,44}{0,14}$	—	—	$\frac{0,60}{0,20}$	$\frac{0,80}{0,13}$	$\frac{1,27}{0,14}$	$\frac{2,48}{0,15}$	$\frac{6,44}{0,18}$	—
0,50	$\frac{0,58}{0,20}$	$\frac{0,79}{0,14}$	$\frac{1,44}{0,13}$	$\frac{3,78}{0,14}$	—	—	$\frac{0,47}{0,20}$	$\frac{0,56}{0,13}$	$\frac{0,79}{0,14}$	$\frac{1,44}{0,15}$	$\frac{3,78}{0,18}$	$\frac{19,09}{0,20}$
0,40	$\frac{0,46}{0,20}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{0,89}{0,13}$	$\frac{2,21}{0,14}$	$\frac{11,46}{0,16}$	—	$\frac{0,43}{0,20}$	$\frac{0,46}{0,13}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{0,89}{0,15}$	$\frac{2,21}{0,18}$	$\frac{11,47}{0,20}$
0,32	$\frac{0,43}{0,20}$	$\frac{0,46}{0,14}$	$\frac{0,61}{0,13}$	$\frac{1,31}{0,14}$	$\frac{6,81}{0,16}$	—	$\frac{0,44}{0,20}$	$\frac{0,43}{0,13}$	$\frac{0,46}{0,14}$	$\frac{0,61}{0,15}$	$\frac{1,31}{0,18}$	$\frac{6,80}{0,20}$
0,25	$\frac{0,44}{0,20}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,47}{0,13}$	$\frac{0,79}{0,14}$	$\frac{3,78}{0,16}$	$\frac{19,09}{0,17}$	—	$\frac{0,44}{0,13}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,47}{0,15}$	$\frac{0,79}{0,18}$	$\frac{3,78}{0,20}$
0,20	—	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,43}{0,13}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{1,90}{0,16}$	$\frac{11,46}{0,17}$	—	—	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,43}{0,15}$	$\frac{0,56}{0,18}$	$\frac{1,90}{0,20}$
0,16	—	—	$\frac{0,44}{0,13}$	$\frac{0,46}{0,14}$	$\frac{1,31}{0,16}$	$\frac{6,81}{0,17}$	—	—	$\frac{0,46}{0,22}$	$\frac{0,44}{0,15}$	$\frac{0,46}{0,18}$	$\frac{1,31}{0,20}$
0,125	—	—	$\frac{0,45}{0,13}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,79}{0,16}$	$\frac{3,78}{0,17}$	—	—	—	$\frac{0,45}{0,15}$	$\frac{0,43}{0,18}$	$\frac{0,79}{0,20}$
0,10	—	—	—	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,56}{0,16}$	$\frac{2,21}{0,17}$	—	—	—	—	—	—

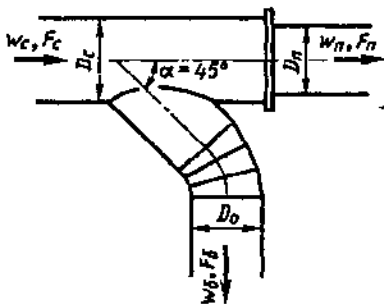
Тройник нормализованной конструкции (приточный);  
 $\alpha \leq 45^\circ$  [7-21]

Диаграмма  
7-25

$F_d/F_c$	$\bar{J}_n=0,63$					$\bar{J}_n=0,5$				
	$Q_d/Q_c$									
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4	
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,63	$\frac{0,50}{0,23}$	$\frac{0,60}{0,13}$	$\frac{0,80}{0,14}$	$\frac{1,27}{0,17}$	$\frac{2,48}{0,20}$	—	—	—	—	
0,50	$\frac{0,44}{0,23}$	$\frac{0,47}{0,13}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{0,79}{0,17}$	$\frac{1,44}{0,20}$	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,47}{0,14}$	$\frac{0,58}{0,18}$	$\frac{0,79}{0,21}$	
0,40	—	$\frac{0,43}{0,13}$	$\frac{0,46}{0,14}$	$\frac{0,56}{0,17}$	$\frac{0,89}{0,20}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,46}{0,18}$	$\frac{0,56}{0,21}$	
0,32	—	$\frac{0,44}{0,13}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,46}{0,17}$	$\frac{0,61}{0,20}$	—	—	—	—	
0,25	—	—	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,43}{3,17}$	$\frac{0,47}{0,20}$	—	—	—	—	
0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Тройник нормализованной конструкции (приточный);  
 $\alpha \leq 45^\circ$  [7-21]

Диаграмма  
7-26



Боковое ответвление при  $\bar{w}_6 = w_6/w_c \leq 3$

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2/2} = 1 - 1,38 \frac{w_6}{w_c} + \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^2 - 0,06 \left(\frac{w_6}{w_c}\right)^3$$

Пролод при  $\bar{w}_n = w_n/w_c < 2$

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 0,28 - 0,9 \frac{w_n}{w_c} + \frac{0,955}{\bar{J}_n^{0,5}} \left(\frac{w_n}{w_c}\right)^2 - \frac{0,157}{\bar{J}_n} \left(\frac{w_n}{w_c}\right)^3; \bar{J}_n = \frac{F_n}{F_c}$$

$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2/2} = \zeta_{c.6} / \left(\frac{Q_6 \cdot F_c}{Q_c \cdot F_6}\right)^2;$$

$$\zeta_n \equiv \Delta p_n / \frac{\rho w_n^2}{2} = \zeta_{c.n} / \left(1 - \frac{Q_6}{Q_c}\right)^2 \left(\frac{F_c}{F_n}\right)^2$$

Тройник нормализованной конструкции (приточный); $\alpha \leq 45^\circ$ [7-21]	Диаграмма 7-26
---	-------------------

Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$\bar{J}_n = F_n/F_c = 1,0$						$\bar{J}_n = 0,8$					
	$Q_n/Q_c$											
	0,5	0,4	0,3	0,2	0,10	0,05	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,10
0,8	$\frac{1,31}{0,20}$	$\frac{2,21}{0,14}$	$\frac{4,41}{0,13}$	—	—	—	$\frac{0,89}{0,30}$	$\frac{1,31}{0,22}$	$\frac{2,21}{0,22}$	$\frac{4,41}{0,23}$	—	—
0,63	$\frac{0,80}{0,20}$	$\frac{1,30}{0,14}$	$\frac{2,48}{0,13}$	$\frac{6,44}{0,14}$	—	—	$\frac{0,60}{0,30}$	$\frac{0,80}{0,22}$	$\frac{1,27}{0,22}$	$\frac{2,48}{0,23}$	$\frac{6,44}{0,25}$	—
0,50	$\frac{0,56}{0,20}$	$\frac{0,79}{0,14}$	$\frac{1,44}{0,13}$	$\frac{3,78}{0,14}$	—	—	$\frac{0,47}{0,30}$	$\frac{0,56}{0,22}$	$\frac{0,79}{0,22}$	$\frac{1,44}{0,23}$	$\frac{3,78}{0,25}$	$\frac{19,09}{0,27}$
0,40	$\frac{0,46}{0,20}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{0,89}{0,13}$	$\frac{2,21}{0,14}$	$\frac{11,46}{0,16}$	—	$\frac{0,43}{0,30}$	$\frac{0,46}{0,22}$	$\frac{0,56}{0,22}$	$\frac{0,89}{0,23}$	$\frac{2,21}{0,25}$	$\frac{11,47}{0,27}$
0,32	$\frac{0,43}{0,20}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,61}{0,13}$	$\frac{1,31}{0,14}$	$\frac{6,81}{0,16}$	—	$\frac{0,44}{0,30}$	$\frac{0,43}{0,22}$	$\frac{0,46}{0,22}$	$\frac{0,61}{0,23}$	$\frac{1,31}{0,25}$	$\frac{6,81}{0,27}$
0,25	$\frac{0,44}{0,20}$	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,47}{0,13}$	$\frac{0,79}{0,14}$	$\frac{3,78}{0,16}$	$\frac{19,09}{0,17}$	—	$\frac{0,44}{0,22}$	$\frac{0,43}{0,22}$	$\frac{0,47}{0,23}$	$\frac{0,79}{0,25}$	$\frac{3,78}{0,27}$
0,20	—	—	$\frac{0,43}{0,13}$	$\frac{0,56}{0,14}$	$\frac{1,90}{0,16}$	$\frac{11,46}{0,17}$	—	—	$\frac{0,44}{0,22}$	$\frac{0,43}{0,23}$	$\frac{0,56}{0,25}$	$\frac{1,90}{0,27}$
0,16	—	—	$\frac{0,44}{0,13}$	$\frac{0,46}{0,14}$	$\frac{1,31}{0,16}$	$\frac{6,81}{0,17}$	—	—	$\frac{0,46}{0,22}$	$\frac{0,44}{0,23}$	$\frac{0,46}{0,25}$	$\frac{1,31}{0,27}$
0,125	—	—	$\frac{0,45}{0,13}$	$\frac{0,43}{0,14}$	$\frac{0,79}{0,16}$	$\frac{3,78}{0,17}$	—	—	—	$\frac{0,45}{0,23}$	$\frac{0,43}{0,25}$	$\frac{0,79}{0,27}$
0,10	—	—	—	$\frac{0,44}{0,14}$	$\frac{0,56}{0,16}$	$\frac{2,21}{0,17}$	—	—	—	—	—	—

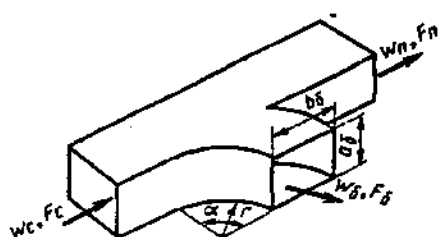


Тройник нормализованной конструкции (приточный); $\alpha \leq 45^\circ$ [7-21]	Диаграмма 7-26
---	-------------------

Значения  $\zeta_6$  (в числителе) и  $\zeta_n$  (в знаменателе)

$F_6/F_c$	$\bar{f}_n=0,63$					$\bar{f}_n=0,5$			
	$Q_6/Q_c$								
	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4
0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,63	$\frac{0,50}{0,43}$	$\frac{0,60}{0,32}$	$\frac{0,80}{0,32}$	$\frac{1,27}{0,33}$	$\frac{2,48}{0,34}$	—	—	—	—
0,50	$\frac{0,44}{0,43}$	$\frac{0,47}{0,32}$	$\frac{0,56}{0,32}$	$\frac{0,79}{0,33}$	$\frac{1,44}{0,34}$	$\frac{0,44}{0,44}$	$\frac{0,47}{0,41}$	$\frac{0,56}{0,42}$	$\frac{0,79}{0,42}$
0,40	—	$\frac{0,43}{0,32}$	$\frac{0,46}{0,32}$	$\frac{0,56}{0,33}$	$\frac{0,61}{0,34}$	$\frac{0,43}{0,44}$	$\frac{0,43}{0,41}$	$\frac{0,46}{0,42}$	$\frac{0,56}{0,42}$
0,32	—	$\frac{0,44}{0,32}$	$\frac{0,43}{0,92}$	$\frac{0,46}{0,33}$	$\frac{0,47}{0,34}$	—	—	—	—
0,25	—	—	$\frac{0,44}{0,32}$	$\frac{0,43}{0,33}$	$\frac{0,44}{0,34}$	—	—	—	—
0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,125	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Тройник (приточный, плавный) ( $r/b_6=1,0$ ) типа $F_6+F_n \geq F_c$ прямоугольного сечения; $\alpha=90^\circ$ [7-44, 7-49]	Диаграмма 7-27
--	-------------------



Боковое ответвление

$$\zeta_{c, 6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = a_0 (Q_6 / Q_c)^2 + b_1 Q_6 / Q_c + c_1$$

см. график а;  $a_0, b_1, c_1$  см. таблицу;

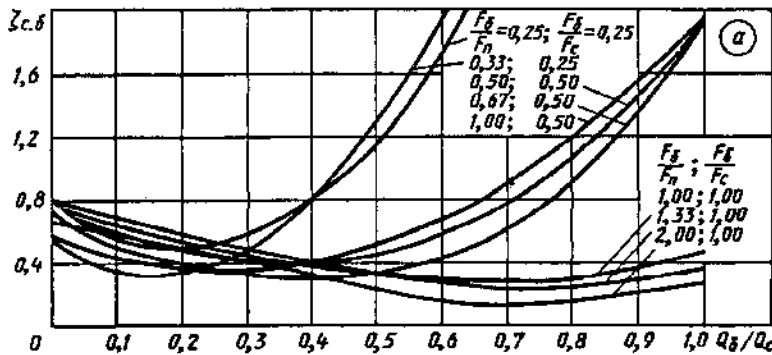
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{c, 6}}{(Q_6 / Q_c \cdot F_c / F_6)^2}$$

Тройник (приточный, плавный) ( $r/b_6=1,0$ ) типа  $F_6+F_n \geq F_c$   
 прямоугольного сечения;  $\alpha=90^\circ$  [7-44, 7-49]

Диаграмма  
7-27

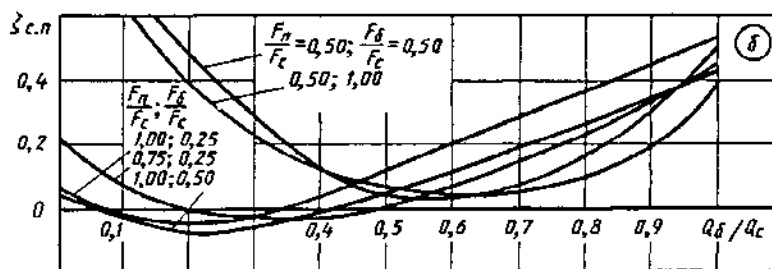
Значения  $\zeta_{c.6}$

$\frac{F_6}{F_n} \left( \frac{F_n}{F_c} \right)$	$Q_6/Q_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,25 (0,25)	0,55	0,50	0,60	0,85	1,20	1,80	3,10	4,35	6,00
0,33 (0,25)	0,35	0,35	0,50	0,80	1,30	2,00	2,80	3,75	5,00
0,50 (0,50)	0,62	0,48	0,40	0,40	0,48	0,60	0,78	1,08	1,50
0,67 (0,50)	0,52	0,40	0,32	0,30	0,34	0,44	0,62	0,92	1,38
1,00 (0,50)	0,44	0,38	0,38	0,41	0,52	0,68	0,92	1,21	1,57
1,00 (1,00)	0,67	0,55	0,46	0,37	0,32	0,29	0,29	0,30	0,37
1,33 (1,00)	0,70	0,60	0,51	0,42	0,34	0,28	0,26	0,26	0,29
2,00 (1,00)	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,17	0,15	0,17	0,21



Значения  $\zeta_{c.н}$

$\frac{F_n}{F_c} \left( \frac{F_6}{F_c} \right)$	$Q_6/Q_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,00 (0,25)	-0,01	-0,03	-0,01	0,05	0,13	0,21	0,29	0,38	0,46
0,75 (0,25)	0,08	0,00	-0,02	-0,01	0,02	0,08	0,16	0,24	0,34
1,00 (0,50)	-0,03	-0,06	-0,05	0,00	0,06	0,12	0,19	0,27	0,35
0,75 (0,50)	0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,01	0,04	0,12	0,23	0,37
0,50 (0,50)	0,72	0,48	0,28	0,13	0,05	0,04	0,09	0,18	0,30
1,00 (1,00)	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	0,06	0,13	0,22	0,30	0,38
0,75 (1,00)	0,10	0	0,01	-0,03	0,01	0,03	0,10	0,20	0,30
0,50 (1,00)	0,62	0,38	0,23	0,13	0,08	0,05	0,06	0,10	0,20



Проход

$$\zeta_{c.н} = \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} =$$

$$= a_2 (Q_6/Q_c)^2 + b_2 Q_6/Q_c + c_2$$

см. график б;  $a_2, b_2, c_2$  см. таблицу;

$$\zeta_{п} = \frac{\Delta p_n}{\rho w_n^2 / 2} = \frac{\zeta_{c.н}}{(1 - Q_6/Q_c)^2 (F_c/F_n)^2}$$

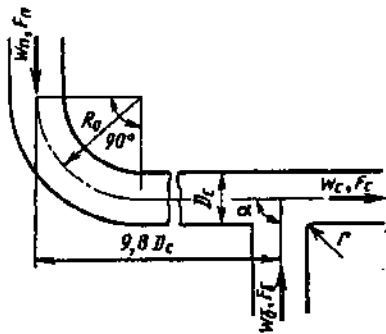
Тройник (приточный, плавный) ( $r/b_2=1,0$ ) типа  $F_6+F_n \geq F_c$  прямоугольного сечения;  $\alpha=90^\circ$  [7-44, 7-49]

Диаграмма 7-27

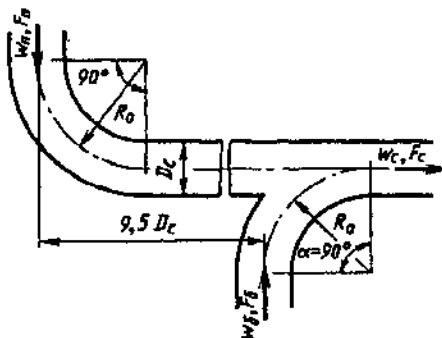
$F_6/F_n$	$F_n/F_c$	$F_6/F_c$	$a_0$	$b_1$	$c_1$	$a_2$	$b_2$	$c_2$
0,25	1,00	0,25	12,50	-5,80	1,07	0,64	-0,15	-0,03
0,33	0,75	0,25	8,57	-2,77	0,55	1,18	-0,83	0,14
0,50	1,00	0,50	3,75	-2,68	0,56	0,64	-0,15	-0,03
0,67	0,75	0,50	3,89	-2,88	0,79	1,36	-0,95	0,12
1,00	0,50	0,50	3,00	-1,60	0,57	2,80	-3,32	1,02
1,00	1,00	1,00	1,39	-1,74	0,84	0,75	-0,22	-0,02
1,33	0,75	1,00	1,09	-1,59	0,86	1,34	-1,07	0,18
2,00	0,50	1,00	1,04	-1,60	0,77	2,13	-2,63	0,85

Тройники (вытяжные) типа  $F_6=F_n=F_c$ ; несимметричные с плавными отводами на проходах ( $R_0/D_c=2,0$ );  $\alpha=90^\circ$ ;  $Re=w_c D_c/\nu \geq 10^4$  [7-53]

Диаграмма 7-28



1. Кромка бокового ответвления слегка закруглена ( $r/D_c=0,1$ )



2. Боковое ответвление плавное ( $R_0/D_c=2$ )

Боковое ответвление

$$\zeta_{c,6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_6^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую } \zeta_{c,6} = f(Q_6/Q_c);$$

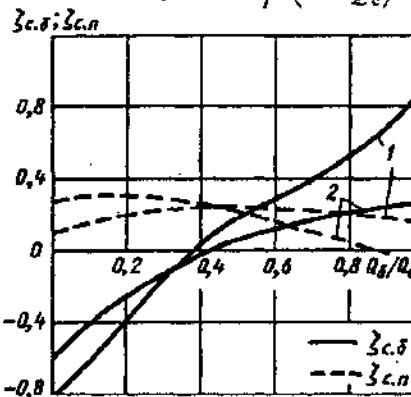
$$\zeta_6 \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_c^2 / 2} = \zeta_{c,6} \left( \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$

Проход

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2}$$

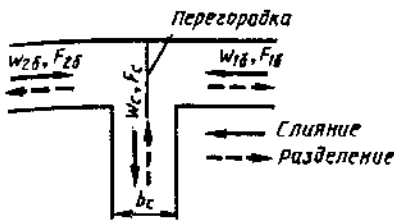
см. таблицу и кривую  $\zeta_{c,n} = f(Q_6/Q_c)$ ;

$$\zeta_n \equiv \Delta p_n / \frac{\rho w_n^2}{2} = \zeta_{c,n} \left( 1 - \frac{Q_6}{Q_c} \right)^2$$



Значения  $\zeta_{c,6}$  (в числителе) и  $\zeta_{c,n}$  (в знаменателе)

Схема	$Q_6/Q_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	-0,80	-0,59	-0,35	-0,15	0,02	0,18	0,31	0,40	0,54	0,70	0,90
	0,11	0,15	0,19	0,22	0,24	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19	0,17
2	-0,60	-0,40	-0,27	-0,14	-0,02	0,05	0,12	0,15	0,20	0,24	0,27
	0,28	0,30	0,29	0,28	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	-0,02	-0,08



1. Слияние потоков (противоток):

а) без перегородки

$$\zeta_{1c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} = A \left\{ 1 + \left( \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2 + 3 \left( \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2 \left[ \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 - \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right) \right] \right\} = A \zeta'_{1c.6}$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c.6} = f\left(\frac{Q_{16}}{Q_c}\right)$  при различных  $F_{16}/F_c$  на графике а; А см. табл. 7.1, параграф 7-1 (с. 335)

$$\zeta_{16} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_{16}^2 / 2} = \zeta_{1c.6} \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2$$

Для другого бокового ответвления вместо индекса 1 применяется индекс 2

Значения  $\zeta'_{1c.6}$  и  $\zeta_{1c.6}$

$\frac{F_{16}}{F_c}$	$Q_{16}/Q_c$										
	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
Без перегородки ( $\zeta'_{1c.6}$ )											
0,25	17,0	12,7	9,30	6,92	5,48	5,00	5,48	6,92	9,32	12,7	17,0
0,50	5,02	3,94	3,10	2,50	2,14	2,00	2,14	2,50	3,10	3,94	5,00
0,75	2,78	2,30	1,92	1,66	1,50	1,57	1,56	1,66	1,92	2,30	2,78
1,0	2,00	1,73	1,52	1,37	1,28	1,25	1,28	1,37	1,52	1,73	2,00
С перегородкой ( $\zeta_{1c.6}$ )											
1,0	-3,25	-2,40	-1,51	-0,80	0	0,75	1,45	2,15	2,85	3,50	4,15

б) с перегородкой

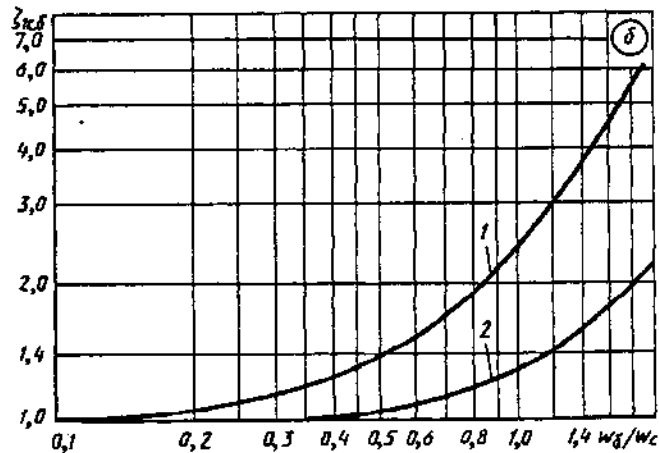
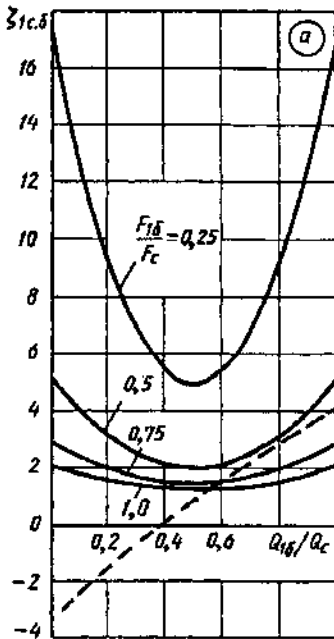
$$\zeta_{1c.6} \equiv f(Q_{16}/Q_c)$$

см. штриховую линию графика а.

2. Разделение потока (прямоток)

$$\zeta_{c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + k_{1,2} \left( \frac{w_6}{w_c} \right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c.6} = f(w_6/w_c)$  графика б, где  $k_1 \approx 1,5$  — для чугунных стандартных тройников на резьбе;  $k_2 \approx 0,3$  — для сварных тройников



Тройник симметричной формы (равносторонний)  
с резким поворотом на 90° [7-27, 7-29]

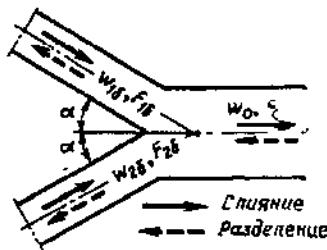
Диаграмма  
7-29

Значения  $\zeta_{1с.б}$

Вид тройника	$w_6/w_c$													
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Стандартный чугунный (кривая 1)	1,02	1,06	1,14	1,24	1,38	1,54	1,74	1,96	2,22	2,50	3,16	3,94	4,84	7,0
Сварной (кривая 2)	1,0	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,15	1,19	1,24	1,30	1,43	1,59	1,77	2,2

Тройник симметричной формы типа  $F_c = F_{16} + F_{26} = 2F_6$   
с острыми углами поворота при  $\alpha = 15 + 45^\circ$  [7-32]

Диаграмма  
7-30



1) Слияние потоков (вытяжной тройник)

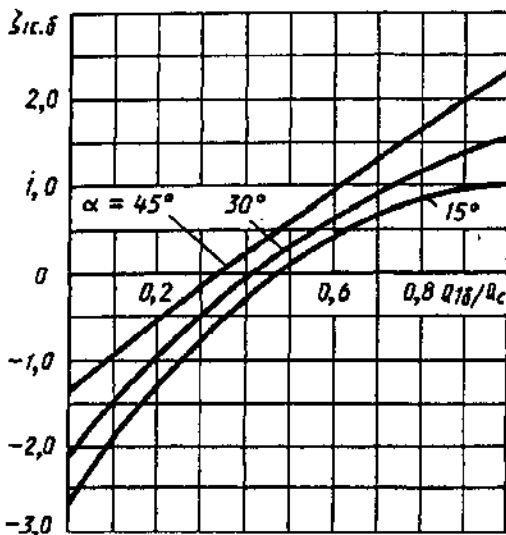
$$\alpha = 15^\circ; \zeta_{1с.б} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_6^2 / 2} = 7,3 \frac{Q_{16}}{Q_c} + 0,07 \left[ \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 + \left( 1 - \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 \right] - 3,7 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 - 2,64;$$

$$\alpha = 30^\circ; \zeta_{1с.б} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_6^2 / 2} = 6,6 \frac{Q_{16}}{Q_c} + 0,25 \left[ \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 + \left( 1 - \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 \right] - 3,0 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 - 2,30;$$

$$\alpha = 45^\circ; \zeta_{1с.б} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_6^2 / 2} = 5,6 \frac{Q_{16}}{Q_c} + 0,50 \left[ \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 + \left( 1 - \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^4 \right] - 2,0 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 - 1,80;$$

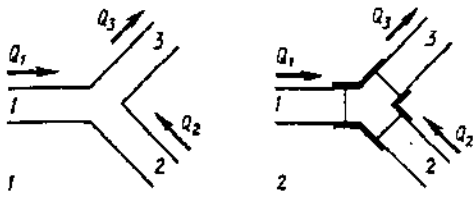
$\zeta_{1с.б}$  см. таблицу и график.

2) Разделение потока (приточный тройник):  $\zeta_{1с.б} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_6^2 / 2}$  определяется ориентировочно, как для бокового ответвления обычного тройника типа  $F_c = F_6 + F_n$ , по диаграмме 7-19.



Значения  $\zeta_{1с.б}$

$\alpha^\circ$	$Q_{16}/Q_c$										
	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
15	-2,56	-1,89	-1,30	-0,77	-0,30	0,10	0,41	0,67	0,85	0,97	1,04
30	-2,05	-1,51	-1,00	-0,53	-0,10	0,28	0,69	0,91	1,09	1,37	1,55
45	-1,30	-0,93	-0,55	-0,16	0,20	0,56	0,92	1,26	1,61	1,95	2,30



1. Слияние потоков (вытяжной тройник) под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$  (схемы 1 и 2):

1) ответвления впритык:

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 1 графика а,}$$

или по формулам:

при  $0 \leq Q_2 / Q_3 \leq 0,4$

$$\zeta_{1-3} = 0,33 + 0,51(Q_2 / Q_3)^2;$$

при  $0,4 \leq Q_2 / Q_3 \leq 1,0$

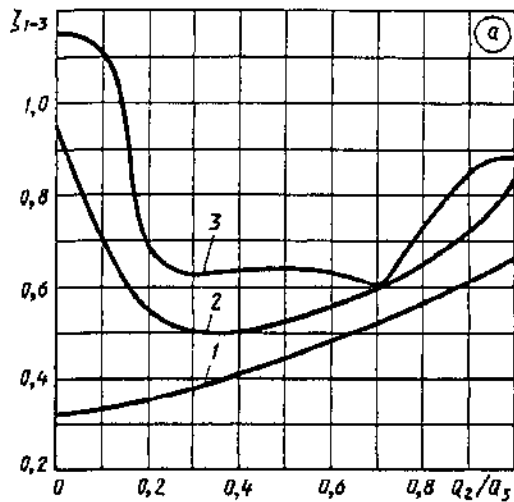
$$\zeta_{1-3} = 0,26 + 0,38 Q_2 / Q_3;$$

2) ответвления на резьбе при  $\delta = 0$  ( $\delta$  см. рис. 7-9):

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 2 графика а,}$$

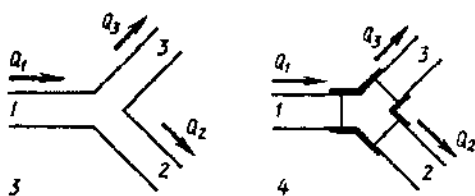
3) ответвления на резьбе при  $\delta / D_0 \approx 0,13$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 3 графика а,}$$



Значения  $\zeta_{1-3}$

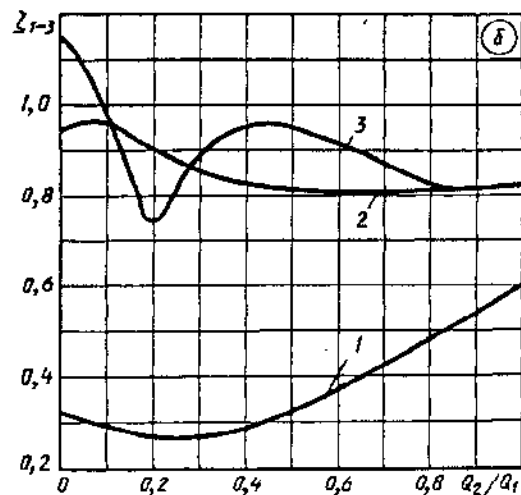
№ кривой	Ответвление	$Q_2 / Q_3$										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Впритык	0,32	0,34	0,36	0,38	0,41	0,45	0,50	0,53	0,56	0,60	0,66
2	На резьбе при $\delta = 0$	0,94	0,71	0,54	0,50	0,50	0,54	0,59	0,60	0,64	0,72	0,84
3	На резьбе при $\delta / D_0 = 0,13$	1,15	1,12	0,68	0,60	0,63	0,64	0,63	0,60	0,73	0,85	0,87



2. Разделение потока (приточные тройники) под углом  $45^\circ$  (схемы 3 и 4):

1) ответвления впритык:

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 1 графика б,}$$



Тройник симметричной формы типа  $F_6 = F_{\pi} = F_c$ ; [7-57]

Диаграмма  
7-31

или по формулам:

при  $0 \leq Q_2/Q_1 \leq 0,7$   $\zeta_{1-3} = 0,33 - 0,45 Q_2/Q_1 + 0,85 (Q_2/Q_1)^2$ ;

при  $0,7 \leq Q_2/Q_1 \leq 1,0$

$\zeta_{1-3} = 0,44 + 1,70 Q_2/Q_1 - 0,65 (Q_2/Q_1)^2$ ;

2) ответвления на резьбе при  $\delta = 0$ :

$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$  см. таблицу и кривую 2 графика б;

3) ответвления на резьбе при  $\delta/D_0 \approx 0,13$ :

$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$  см. таблицу и кривую 3 графика б

Значения  $\zeta_{1-3}$

№ кривой	Ответвление	$Q_2/Q_1$											
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1	Впритык	0,32	0,30	0,27	0,27	0,29	0,32	0,37	0,43	0,49	0,54	0,60	
2	На резьбе при $\delta = 0,13$	0,94	0,96	0,90	0,85	0,83	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	
3	На резьбе при $\delta/D_0 \approx 0,13$	1,15	0,99	0,74	0,90	0,95	0,95	0,91	0,88	0,82	0,82	0,82	

3. Слияние потоков (вытяжной тройник) под углом  $45^\circ$  (схемы 5 и 6):

1) ответвления впритык:

$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2}$  см. таблицу и кривую 1 графика а,

или по формуле

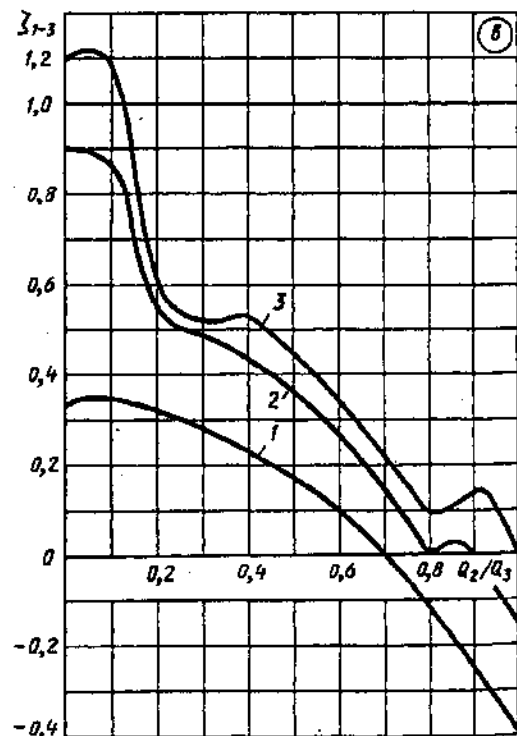
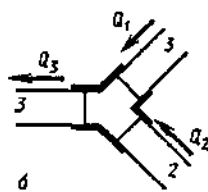
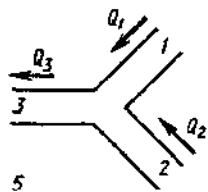
$\zeta_{1-3} \equiv 0,33 + 0,071 Q_2/Q_3 - 0,80 (Q_2/Q_3)^2$ ;

2) ответвления на резьбе при  $\delta = 0$ :

$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2}$  см. таблицу и кривую 2 графика а;

3) ответвления на резьбе при  $\delta/D_0 \approx 0,3$ :

$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2}$  см. таблицу и кривую 3 графика а



Тройник симметричной формы типа  $F_6 = F_n = F_c$ ; [7-57]

Диаграмма  
7-31

Значения  $\zeta_{1-3}$

№ кривой	Ответвление	$Q_2/Q_3$										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Впритык	0,34	0,35	0,32	0,27	0,23	0,17	0,09	0	-0,12	-0,25	-0,40
2	На резьбе при $\delta=0$	0,90	0,87	0,54	0,49	0,45	0,36	0,25	0,14	0	0	-0,15
3	На резьбе при $\delta/D_0 \approx 0,13$	1,20	1,20	0,60	0,52	0,53	0,45	0,34	0,20	0,09	0,14	0

4. Разделение потока (приточные тройники) под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$  (схемы 7 и 8):

1) ответвления впритык:

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 1 графика 2,}$$

или по формулам:

при  $0 \leq Q_2/Q_1 \leq 0,7$

$$\zeta_{1-3} = 0,33 - 0,72 Q_2/Q_1 + 0,97 (Q_2/Q_1)^2;$$

при  $0,7 \leq Q_2/Q_1 \leq 1,0$

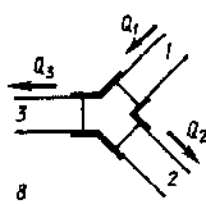
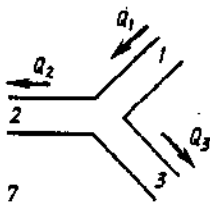
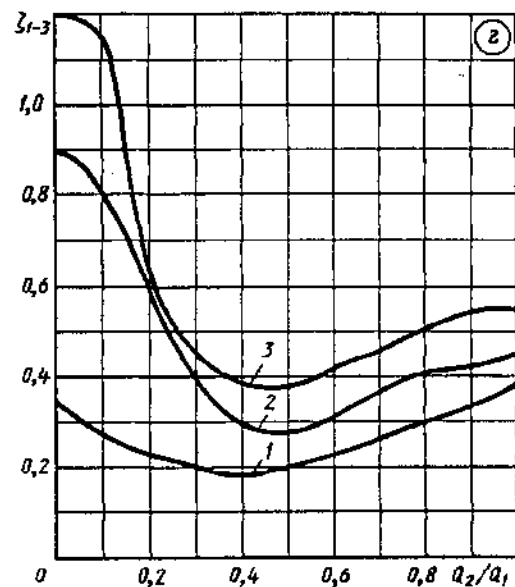
$$\zeta_{1-3} = -0,58 + 1,77 Q_2/Q_1 - 0,73 (Q_2/Q_1)^2;$$

2) ответвления на резьбе при  $\delta=0$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 2 графика 2;}$$

3) ответвления на резьбе при  $\delta/D_0 \approx 0,13$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 3 графика 2}$$



Значения  $\zeta_{1-3}$

№ кривой	Ответвление	$Q_2/Q_1$										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Впритык	0,34	0,27	0,23	0,20	0,18	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,38
2	На резьбе при $\delta=0$	0,90	0,81	0,60	0,41	0,30	0,28	0,31	0,36	0,41	0,42	0,48
3	На резьбе при $\delta/D_0 \approx 0,13$	1,20	1,18	0,63	0,45	0,40	0,38	0,43	0,45	0,50	0,54	0,55



Тройник симметричной формы типа  $F_6 = F_7 = F_8$ : [7-57]

Диаграмма  
7-31

5. Слияние потоков (вытяжной тройник) под углами  $45^\circ$  и  $90^\circ$  (схемы 9 и 10);

1) ответвления впритык:

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 1 графика } d,$$

или по формуле

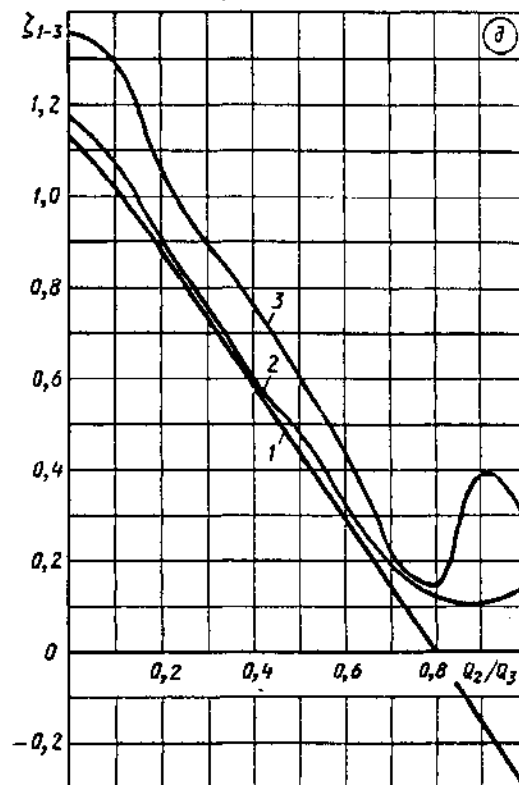
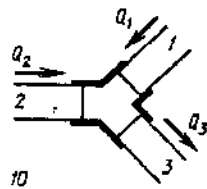
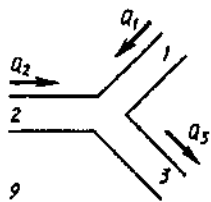
$$\zeta_{1-3} = 1,13 - 1,38 Q_2 / Q_3 - 0,05 (Q_2 / Q_3)^2;$$

2) ответвления на резьбе при  $\delta = 0$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 2 графика } d;$$

3) ответвления на резьбе при  $\delta / D_0 \approx 0,13$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_3^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 3 графика } d$$



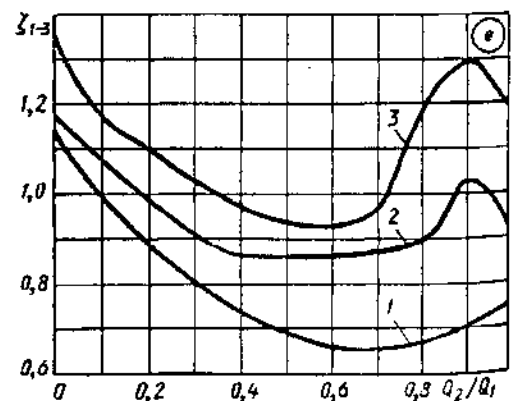
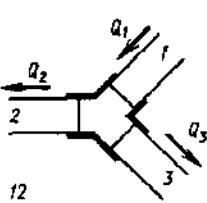
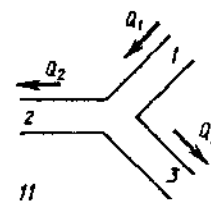
Значения  $\zeta_{1-3}$

№ кривой	Ответвление	$Q_2 / Q_3$											
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1	Впритык	1,3	1,01	0,88	0,70	0,60	0,44	0,30	0,14	0	-0,15	-0,30	
2	На резьбе при $\delta = 0$	1,17	1,08	0,90	0,73	0,62	0,48	0,32	0,18	0,14	0,10	0,14	
3	На резьбе при $\delta / D_0 \approx 0,13$	1,36	1,30	1,06	0,90	0,77	0,60	0,44	0,21	0,14	0,40	0,30	

6. Разделение потока (приточные тройники) под углами  $90^\circ$  и  $45^\circ$  (схемы 11 и 12):

1) ответвления впритык:

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 1 графика } e$$



Тройник симметричной формы типа $F_6 = F_n = F_c$ ; [7-57]	Диаграмма 7-31
--	----------------

или

$$\zeta_{1-3} = 1,13 - 1,40 Q_2/Q_1 + 1,03 (Q_2/Q_1)^2;$$

2) ответвления на резьбе при  $\delta = 0$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 2 графика e;}$$

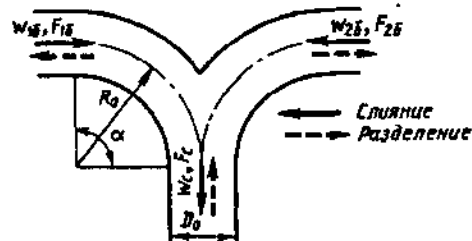
3) ответвление на резьбе при  $\delta/D_0 \approx 0,13$ :

$$\zeta_{1-3} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривую 3 графика e}$$

Значения  $\zeta_{1-3}$

№ кривой	Ответвление	$Q_2/Q_1$										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Впритык	1,13	1,00	0,90	0,81	0,74	0,89	0,66	0,65	0,67	0,70	0,75
2	На резьбе при $\delta = 0$	1,17	1,08	1,00	0,91	0,87	0,87	0,87	0,87	0,90	1,13	1,05
3	На резьбе при $\delta/D_0 \approx 0,13$	1,36	1,17	1,10	1,02	0,97	0,93	0,93	0,96	1,30	1,40	1,20

Тройник симметричной формы с плавным поворотом на $90^\circ$ [7-44, 7-53]	Диаграмма 7-32
---	----------------



Круглое сечение

$$\zeta_{1c,6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} \text{ определяется:}$$

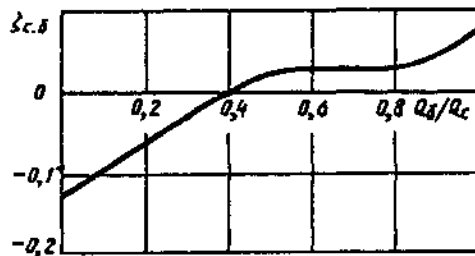
а) при слиянии и  $R_0/D_c = 2$  см. таблицу и кривую

$$\zeta_{1c,6} = f(Q_6/Q_c);$$

б) при разделении и  $F_{16}/F_c = 0,5, Q_{16}/Q_c = 0,5$  см. ниже таблицу значений  $\zeta_{1c,6} = f(R_0/D_c)$ ;

$$\zeta_{16} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_6^2 / 2} = \frac{\zeta_{1c,6}}{\left(\frac{Q_{16} F_c}{Q_c F_6}\right)^2}$$

Для другого бокового ответвления вместо индекса 1 принимается индекс 2

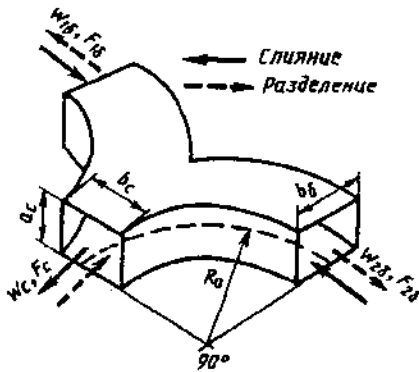


$Q_{16}/Q_c$	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$\zeta_{1c,6}$	-0,13	-0,10	-0,07	-0,03	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,08

$\frac{R_0}{D_c}$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0
$\zeta_{1c,6}$	1,10	0,60	0,40	0,25	0,20

Тройник симметричной формы с плавным поворотом на 90° [7-44, 7-53]

Диаграмма  
7-32



Прямоугольное сечение при  $R_0/b_c=1,5$  и  $Q_{16}/Q_c=0,5$ :

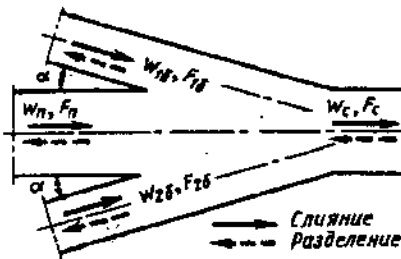
$$\zeta_{1c,6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2/2} \text{ см. ниже}$$

Значения  $\zeta_{1c,6}$

Состояние потока	$F_{16}/F_c$	
	0,50	1,0
Слияние	0,23	0,07
Разделение	0,30	0,25

Крестовина типа  $F_{16}=F_{26}=F_6$ ;  $F_n=F_c$ ;  $\alpha=15^\circ$   
[7-29, 7-30]

Диаграмма  
7-33



1. Слияние потоков (вытяжная крестовина)

Боковое ответвление

$$\zeta_{1c,6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{16}} \right)^2 - 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \times \\ \times \frac{[Q_c/Q_{16} - (1 + Q_{26}/Q_{16})]^2}{4 - (1 + Q_{26}/Q_{16})Q_{16}/Q_c} - 1,93(Q_{16}/Q_c)^2 F_c/F_{16} \times \\ \times [1 + (Q_{26}/Q_{16})^2]$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c,6}=f(Q_n/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

Для другого бокового ответвления индексы 1 и 2 меняются местами

Проход

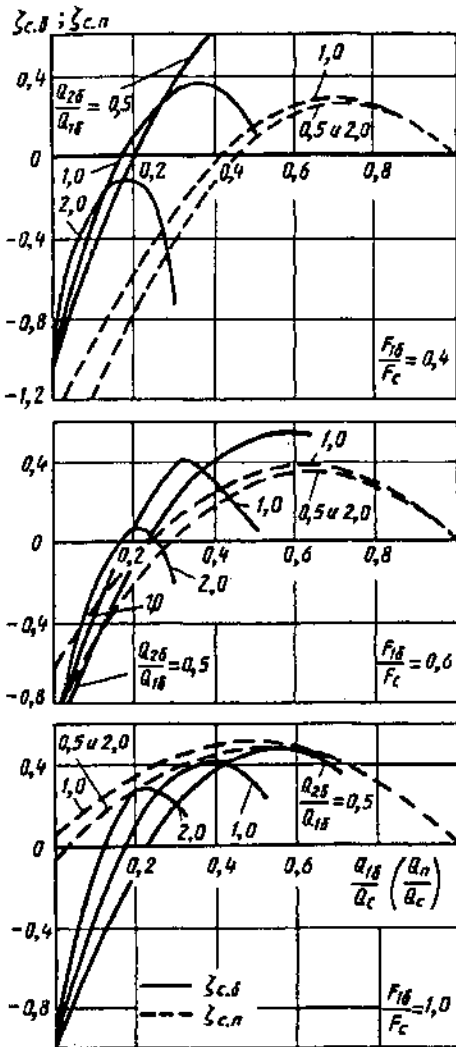
$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 - \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + Q_n/Q_c}{(0,75 + 0,25Q_n/Q_c)^2} - 1,93 \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \times \\ \times \frac{1 + (Q_{26}/Q_{16})^2 (Q_c/Q_n - 1)^2}{(1 + Q_{26}/Q_{16})^2}$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n}=f(Q_n/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

2. Разделение потока (приточная крестовина):  $\zeta_{1c,6}$  и  $\zeta_{c,n}$  определяются ориентировочно, как для приточных тройников, по диаграммам 7-18 и 7-20.

Крестовина типа  $F_{16} = F_{20} = F_0$ ;  $F_n = F_c$ ;  $\alpha = 15^\circ$   
 [7-29, 7-30]

Диаграмма  
 7-33

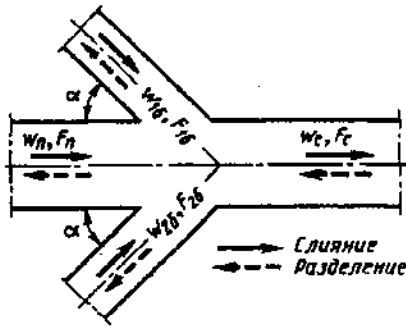


Значения  $\zeta_{с.в}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_{16}/Q_c$						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_{16}/F_c = 0,2$							
0,5	-1,0	-0,37	0,46	1,48	2,69	4,07	5,62
1,0	-1,0	-0,29	0,43	1,23	1,80	2,81	—
2,0	-1,0	-0,32	-0,31	-1,13	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,4$							
0,5	-1,0	-0,50	-0,05	0,34	0,65	0,90	1,04
1,0	-1,0	-0,39	0,06	0,31	0,35	0,14	—
2,0	-1,0	-0,27	-0,10	-0,65	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,6$							
0,5	-1,0	-0,51	-0,11	-0,21	0,42	0,55	0,53
1,0	-1,0	-0,39	0,05	0,40	0,31	0,09	—
2,0	-1,0	-0,22	+0,08	-0,18	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,0$							
0,5	-1,0	-0,51	-0,12	0,20	0,39	0,49	0,37
1,0	-1,0	-0,38	0,09	0,36	0,44	0,28	—
2,0	-1,0	-0,18	0,27	0,19	—	—	—

Значения  $\zeta_{с.п}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_n/Q_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F_{16}/F_c = 0,2$											
0,5 и 2,0	-4,37	-2,93	-2,04	-1,44	-1,08	-0,58	-0,22	0,3	0,16	0,14	0
1,0	-3,84	-2,93	-2,13	-1,44	-0,89	-0,45	-0,13	0,08	0,17	0,14	0
$F_{16}/F_c = 0,4$											
0,5 и 2,0	-1,70	-1,19	-0,76	-0,40	-0,12	0,08	0,21	0,27	0,25	0,16	0
1,0	-1,42	-0,96	-0,58	-0,26	-0,02	0,15	0,26	0,29	0,26	0,16	0
$F_{16}/F_c = 0,6$											
0,5 и 2,0	-0,81	-0,47	-0,19	0,04	0,20	0,30	0,36	0,35	0,29	0,17	0
1,0	-0,61	-0,31	-0,05	0,13	0,27	0,35	0,39	0,37	0,29	0,17	0
$F_{16}/F_c = 1,0$											
0,5 и 2,0	-0,35	-0,11	0,10	0,26	0,36	0,42	0,43	0,39	0,31	0,18	0
1,0	-0,21	0,02	0,19	0,33	0,41	0,45	0,45	0,41	0,31	0,18	0



1. Слияние потоков (вытяжная крестовина)

Боковое ответвление

$$\zeta_{1c,6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_{16} \cdot F_c}{Q_c \cdot F_{16}} \right)^2 - 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{\left[ \frac{Q_c}{Q_{16}} - \left( 1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right) \right]^2}{4 - \left( 1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right) \frac{Q_{16}}{Q_c}} - 1,42 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2 \right]$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c,6} = f(Q_{16}/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

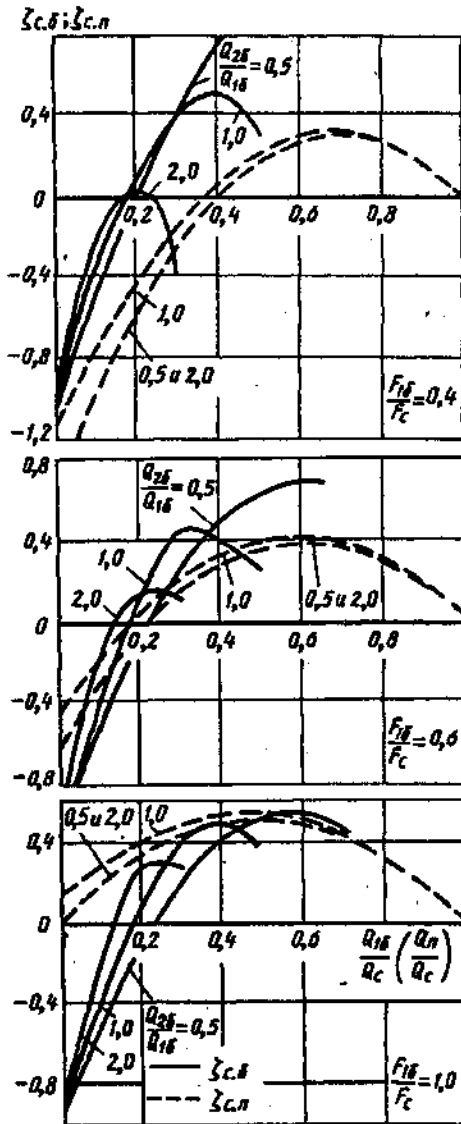
Для другого бокового ответвления индексы 1 и 2 меняются местами

Проход

$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 - \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + Q_n/Q_c}{(0,75 + 0,25 Q_n/Q_c)^2} - 1,73 \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \frac{1 + (Q_{26}/Q_{16})^2}{(1 + Q_{26}/Q_{16})^2} (Q_c/Q_n - 1)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f(Q_n/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

2. Разделение потока (приточная крестовина):  $\zeta_{c,6}$  и  $\zeta_{c,n}$  определяются ориентировочно, как для приточных тройников, по диаграммам 7-18 и 7-20.



Значения  $\zeta_{c,6}$

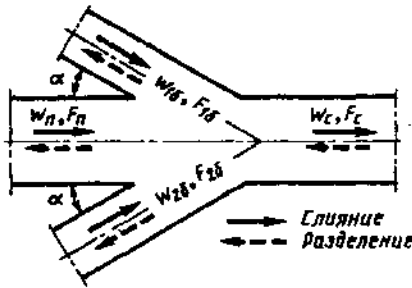
$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_{16}/Q_c$						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_{16}/F_c = 0,2$							
0,5	-1,0	-0,36	+0,51	1,59	2,89	4,38	6,10
1,0	-1,0	-0,27	0,51	1,41	2,12	2,91	—
2,0	-1,0	-0,27	-0,11	-0,72	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,4$							
0,5	-1,0	-0,49	-0,03	0,40	0,75	1,06	1,44
1,0	-1,0	-0,38	0,10	0,40	0,51	0,34	—
2,0	-1,0	-0,25	0,01	-0,42	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,6$							
0,5	-1,0	-0,51	-0,10	0,25	0,50	0,65	0,68
1,0	-1,0	-0,38	0,08	0,45	0,42	0,25	—
2,0	-1,0	-0,21	0,15	0,08	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,0$							
0,5	-1,0	-0,51	-0,11	0,22	0,43	0,55	0,55
1,0	-1,0	-0,37	0,10	0,40	0,51	0,38	—
2,0	-1,0	-0,17	0,31	0,28	—	—	—

Крестовина типа $F_{16} + F_{26} = F_6; F_n = F_c; \alpha = 30^\circ$ [7-29, 7-30]	Диаграмма 7-34
--	-------------------

Значения  $\zeta_{c,n}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_n/Q_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F_{16}/F_c = 0,2$											
0,5 и 0,2	-3,81	-2,51	-1,81	-1,20	-0,86	-0,44	-0,13	0,08	0,18	0,14	0
1,0	-3,34	-2,53	-1,81	-1,20	-0,71	-0,32	-0,05	0,12	0,18	0,14	0
$F_{16}/F_c = 0,4$											
0,5 и 2,0	-1,42	-0,97	-0,58	-0,26	0,02	0,15	0,26	0,30	0,26	0,17	0
1,0	-1,16	-0,76	-0,48	-0,14	0,07	0,21	0,30	0,31	0,27	0,17	0
$F_{16}/F_c = 0,6$											
0,5 и 2,0	-0,62	-0,32	-0,07	0,13	0,27	0,35	0,39	0,37	0,29	0,17	0
1,0	-0,45	-0,18	0,04	0,21	0,33	0,39	0,41	0,39	0,30	0,18	0
$F_{16}/F_c = 1,0$											
0,5 и 2,0	-0,03	0,21	0,34	0,45	0,50	0,52	0,49	0,43	0,32	0,18	0
1,0	0,13	0,29	0,41	0,49	0,54	0,54	0,51	0,44	0,32	0,18	0

Крестовина типа $F_{16} = F_{26} = F_6; F_n = F_c; \alpha = 45^\circ$ [7-29, 7-30]	Диаграмма 7-35
--	-------------------



1. Слияние потоков (вытяжная крестовина)

Боковое ответвление

$$\zeta_{1c,6} = \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_{16} \cdot F_c}{Q_c \cdot F_{16}} \right)^2 - 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{[Q_c/Q_{16} - (1 + Q_{26}/Q_{16})]^2}{4 - (1 + Q_{26}/Q_{16}) Q_{16}/Q_c} - 1,42 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2 \right]$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c,6} = f(Q_{16}/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

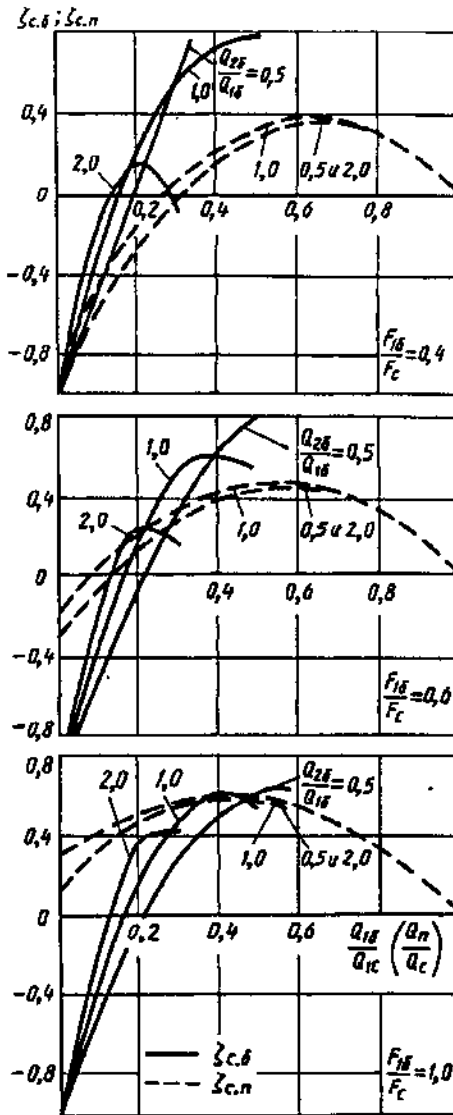
Для другого бокового ответвления индексы 1 и 2 меняются местами

Значения  $\zeta_{c,6}$

$\frac{Q_{26}}{Q_{16}}$	$Q_{16}/Q_c$						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_{16}/F_c = 0,2$							
0,5	-1,0	-0,36	0,59	1,77	3,20	4,88	6,79
1,0	-1,0	-0,24	0,63	1,70	2,64	3,73	—
2,0	-1,0	-0,19	0,21	0,04	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,4$							
0,5	-1,0	-0,48	-0,02	0,58	0,92	1,31	16,3
1,0	-1,0	-0,36	0,17	0,55	0,72	0,78	—
2,0	-1,0	-0,18	0,16	-0,06	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,6$							
0,5	-1,0	-0,50	-0,07	0,31	0,60	0,82	0,92
1,0	-1,0	-0,37	0,12	0,55	0,60	0,52	—
2,0	-1,0	-0,18	0,26	0,16	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,0$							
0,5	-1,0	-0,51	-0,09	0,25	0,50	0,65	0,64
1,0	-1,0	-0,37	0,13	0,46	0,61	0,54	—
2,0	-1,0	-0,15	0,38	0,42	—	—	—

Крестовина типа  $F_{16} = F_{26} = F_6$ ;  $F_n = F_c$ ;  $\alpha = 45^\circ$  [7-29, 7-30]

Диаграмма  
7-35



Проход

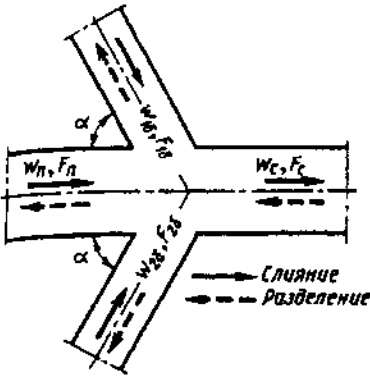
$$\zeta_{c,n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 - \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 \frac{1 + \frac{Q_n}{Q_c}}{\left(0,75 + 0,25 \frac{Q_n}{Q_c}\right)^2} - 1,42 \left(\frac{Q_n}{Q_c}\right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \frac{1 + \left(\frac{Q_{26}}{Q_{16}}\right)^2}{\left(1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}}\right)^2} \left(\frac{Q_c}{Q_n} - 1\right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c,n} = f\left(\frac{Q_n}{Q_c}, \frac{Q_{26}}{Q_{16}}\right)$  при различных  $\frac{F_{16}}{F_c}$ .

2. Разделение потока (приточная крестовина):  $\zeta_{c,6}$  и  $\zeta_{c,n}$  определяются ориентировочно, как для тройников, по диаграммам 7-18 и 7-20.

Значения  $\zeta_{c,n}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_n/Q_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F_{16}/F_c = 0,2$											
0,5 и 2,0	-2,92	-1,87	-1,29	-0,80	-0,56	-0,23	-0,01	0,16	0,22	0,15	0
1,0	-2,54	-1,87	-1,30	-0,80	-0,42	-0,12	0,08	0,20	0,22	0,15	0
$F_{16}/F_c = 0,4$											
0,5 и 2,0	-0,98	-0,61	-0,30	-0,06	0,14	0,26	0,33	0,34	0,28	0,17	0
1,0	-0,77	-0,44	-0,16	0,05	0,21	0,31	0,36	0,35	0,29	0,17	0
$F_{16}/F_c = 0,6$											
0,5 и 2,0	-0,32	0,08	0,11	0,27	0,37	0,43	0,44	0,40	0,31	0,18	0
1,0	-0,18	-0,04	0,21	0,34	0,42	0,46	0,46	0,41	0,31	0,18	0
$F_{16}/F_c = 1,0$											
0,5 и 2,0	0,11	0,36	0,46	0,53	0,57	0,56	0,52	0,44	0,33	0,18	0
1,0	0,29	0,42	0,51	0,57	0,59	0,58	0,54	0,45	0,33	0,18	0



1. Слияние потоков (вытяжная крестовина)

Боковое ответвление

$$\zeta_{1c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{16}} \right) - 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{\left[ \frac{Q_c}{Q_{16}} - \left( 1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right) \right]^2}{4 - \left( 1 + \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right) \frac{Q_{16}}{Q_c}} - \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \left[ 1 + \left( \frac{Q_{26}}{Q_{16}} \right)^2 \right]$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.6} = f(Q_6/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

Для другого бокового ответвления индексы 1 и 2 меняются местами

Проход

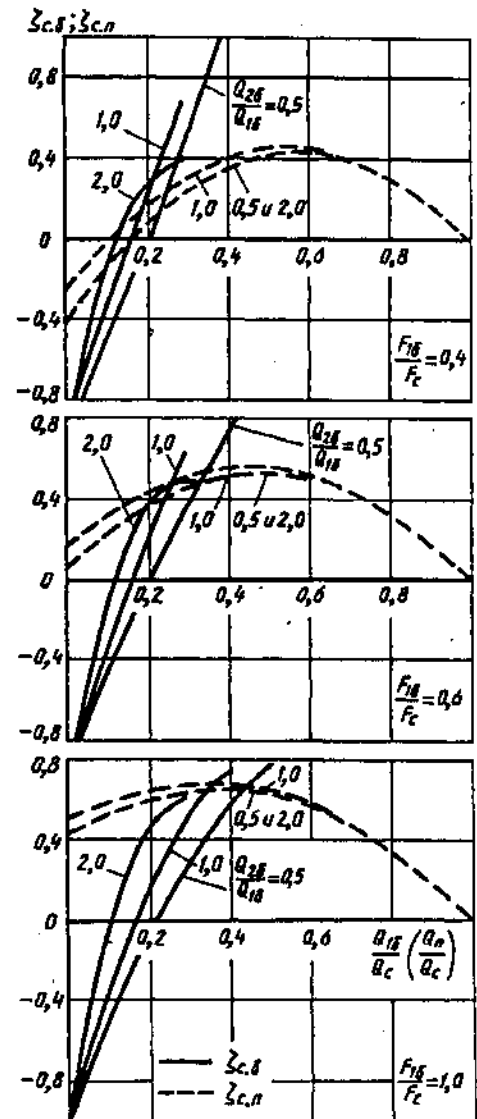
$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2/2} = 1 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 - \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + Q_n/Q_c}{(0,75 + 0,25 Q_n/Q_c)} - \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{F_c}{F_{16}} \frac{1 + (Q_{26}/Q_{16})^2}{(1 + Q_{26}/Q_{16})^2} \left( \frac{Q_c}{Q_n} - 1 \right)^2$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.n} = f(Q_n/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .

2. Разделение потока (приточная крестовина):  $\zeta_{c.6}$  и  $\zeta_{c.n}$  определяются ориентировочно, как для приточных тройников, по диаграммам 7-18 и 7-20

Значения  $\zeta_{c.6}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_{16}/Q_c$						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_{16}/F_c = 0,2$							
0,5	-1,0	-0,31	0,59	2,00	3,62	5,54	7,72
1,0	-1,0	-0,20	0,80	2,07	3,30	4,77	—
2,0	-1,0	-0,09	0,62	0,97	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,4$							
0,5	-1,0	-0,47	-0,06	0,60	1,12	1,63	2,10
1,0	-1,0	-0,34	0,25	0,73	1,10	1,31	—
2,0	-1,0	-0,15	0,27	0,41	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,6$							
0,5	-1,0	-0,50	0,04	0,38	0,74	1,03	1,23
1,0	-1,0	-0,36	0,18	0,67	0,82	0,87	—
2,0	-1,0	-0,15	0,40	0,47	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,0$							
0,5	-1,0	-0,50	-0,07	0,30	0,58	0,79	0,88
1,0	-1,0	-0,36	0,16	0,53	0,74	0,75	—
2,0	-1,0	-0,13	0,46	0,61	—	—	—



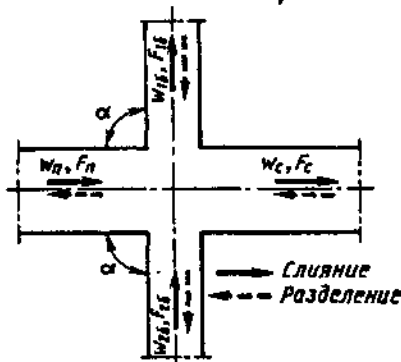


Крестовина типа $F_{16}=F_{26}=F_6$ ; $F_n=F_c$ ; $\alpha=60^\circ$ [7-29, 7-30]	Диаграмма 7-36
---	-------------------

Значения  $\zeta_{c.n}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_n/Q_c$										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F_{16}/F_c=0,2$											
0,5 и 2,0	-1,77	-1,02	-0,64	-0,30	-0,15	0,06	0,20	0,26	0,26	0,16	0
1,0	-1,50	-1,03	-0,64	-0,30	-0,05	0,13	0,24	0,29	0,26	0,16	0
$F_{16}/F_c=0,4$											
0,5 и 2,0	-0,40	-0,14	0,07	0,24	0,35	0,41	0,42	0,39	0,30	0,18	0
1,0	-0,25	-0,02	0,16	0,31	0,40	0,44	0,45	0,40	0,31	0,18	0
$F_{16}/F_c=0,6$											
0,5 и 2,0	0,06	0,23	0,36	0,46	0,51	0,52	0,50	0,43	0,32	0,18	0
1,0	0,16	0,32	0,43	0,51	0,55	0,55	0,51	0,44	0,33	0,18	0
$F_{16}/F_c=1,0$											
0,5 и 2,0	0,44	0,54	0,60	0,65	0,65	0,62	0,56	0,47	0,34	0,18	0
1,0	0,50	0,59	0,64	0,67	0,67	0,63	0,57	0,47	0,34	0,18	0

Крестовина типа $F_{16}=F_{26}=F_6$ ; $F_n=F_c$ ; $\alpha=90^\circ$ [7-29, 7-30]	Диаграмма 7-37
---	-------------------



1. Слияние потоков (вытяжная крестовина)

Боковое ответвление

$$\zeta_{1c.6} \equiv \frac{\Delta p_{16}}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_{16} F_c}{Q_c F_{16}} \right)^2 - 8 \left( \frac{Q_{16}}{Q_c} \right)^2 \times \frac{[Q_c / Q_{16} - (1 + Q_{26} / Q_{16})]^2}{4 - (1 + Q_{26} / Q_{16}) Q_{16} / Q_c}$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{1c.6} = f(Q_{16}/Q_c, Q_{26}/Q_{16})$  при различных  $F_{16}/F_c$ .  
Для другого бокового ответвления индексы 1 и 2 меняются местами

Проход

$$\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = 1 + \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 - \left( \frac{Q_n}{Q_c} \right)^2 \frac{1 + Q_n / Q_c}{(0,75 + 0,25 Q_n / Q_c)^2}$$

см. таблицу и кривые  $\zeta_{c.n} = f(Q_n/Q_c)$  при всех  $F_{16}/F_c$  и  $Q_{26}/Q_{16}$ .

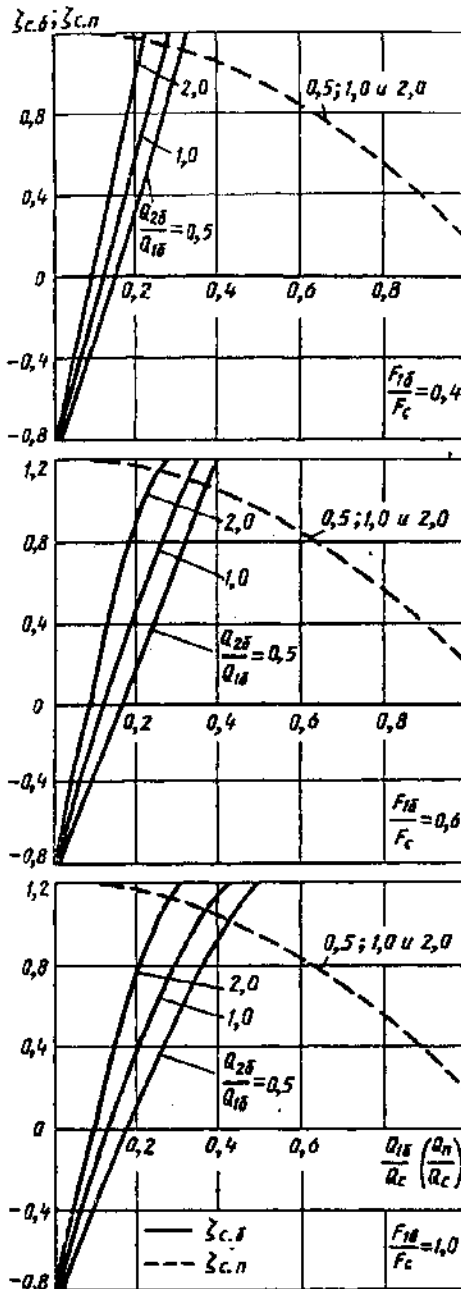
Для стандартных крестовин из ковкого чугуна при  $\frac{Q_n}{Q_c} > 0,7$

$$\zeta'_{c.n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_c^2 / 2} = \zeta_{c.n} + 2,5 \left( \frac{Q_n}{Q_c} - 0,7 \right)$$

2. Разделение потока (приточная крестовина):  $\zeta_{c.6}$  и  $\zeta_{c.n}$  определяются ориентировочно, как для приточных тройников, по диаграммам 7-18 и 7-20.

Крестовина типа  $F_{16} = F_{26} = F_6$ ;  $F_n = F_c$ ;  $\alpha = 90^\circ$   
 [7-29, 7-30]

Диаграмма  
 7-37

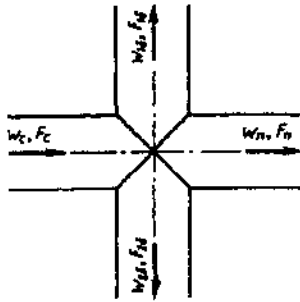


Значения  $\zeta_{c.б}$

$Q_{26}/Q_{16}$	$Q_{16}/Q_c$						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$F_{16}/F_c = 0,2$							
0,5	-0,85	-0,10	1,09	2,72	4,77	7,25	10,1
1,0	-0,85	-0,05	1,35	3,12	5,05	7,40	—
2,0	-0,85	-0,31	1,77	3,37	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,4$							
0,5	-0,85	-0,29	0,34	1,03	1,77	2,50	3,37
1,0	-0,85	-0,14	0,60	1,33	2,05	2,71	—
2,0	-0,85	0,12	1,02	1,68	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,6$							
0,5	-0,85	-0,32	0,20	0,72	1,22	1,70	2,13
1,0	-0,85	-0,18	0,46	1,02	1,50	1,85	—
2,0	-0,85	0,09	0,88	1,37	—	—	—
$F_{16}/F_c = 0,8$							
0,5	-0,85	-0,33	0,13	0,61	1,02	1,38	1,68
1,0	-0,85	-0,18	0,41	0,91	1,30	1,54	—
2,0	-0,85	0,08	0,83	1,26	—	—	—
$F_{16}/F_c = 1,0$							
0,5	-0,85	-0,34	0,13	0,56	0,93	1,25	1,48
1,0	-0,85	-0,19	0,39	0,86	1,21	1,40	—
2,0	-0,85	0,07	0,81	1,21	—	—	—

$Q_n/Q_c$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\zeta_{c.н}$	1,20	1,19	1,17	1,12	1,05	0,96

$Q_n/Q_c$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{c.н}$	0,85	0,72	0,56	0,39	0,20

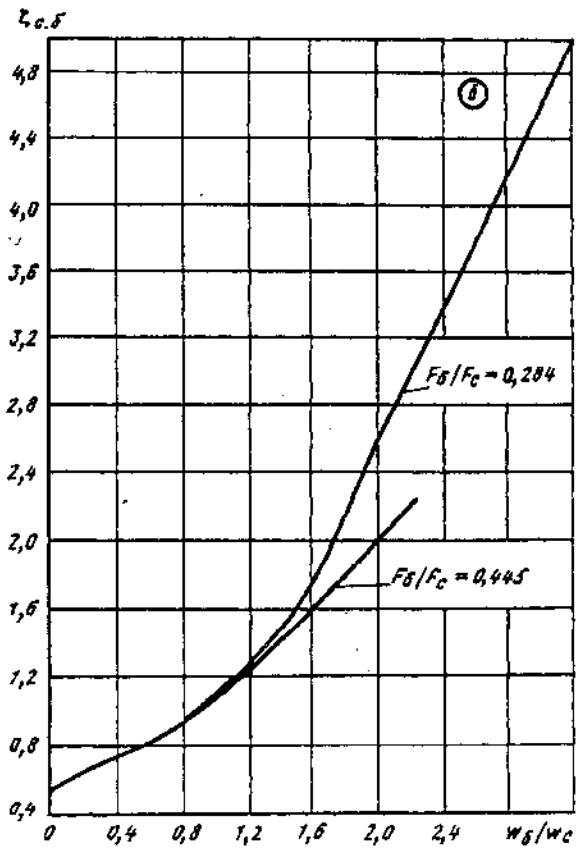
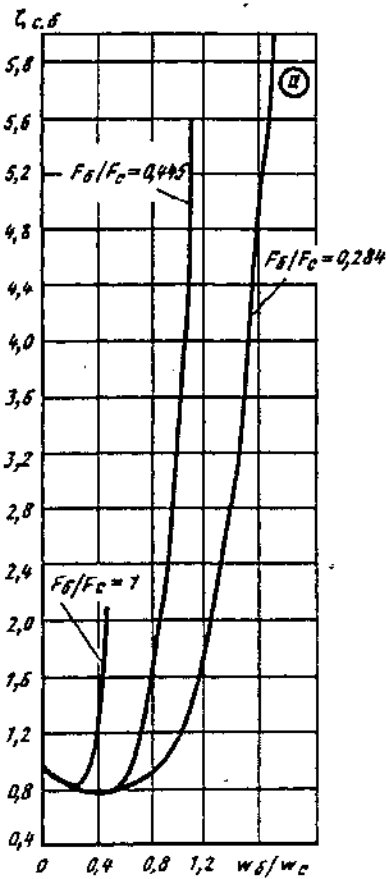


Боковое ответвление

$$\zeta_{с.б} \equiv \frac{\Delta p_b}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. таблицы и графики а и б}$$

Значения  $\zeta_{с.б}$  при  $Q_{16}/Q_{26}=1$  (график а)

$F_b/F_c$	$F_{16}/F_{26}$	$w_b/w_c$											
		0	0,2	0,4	0,48	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
1	0,445	1,0	0,80	1,4	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
0,445	0,445—1	1,0	0,80	0,80	0,80	0,85	1,4	3,0	5,6	—	—	—	—
0,284	0,64—1	1,0	0,80	0,78	0,80	0,83	0,95	1,2	1,4	1,7	2,6	5,0	7,6



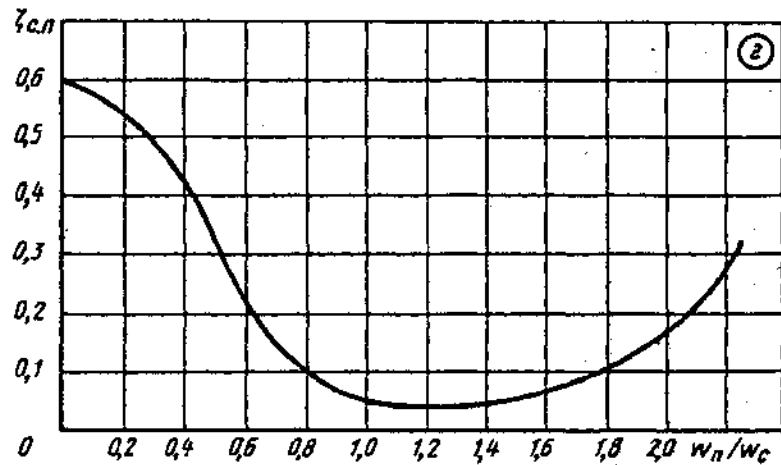
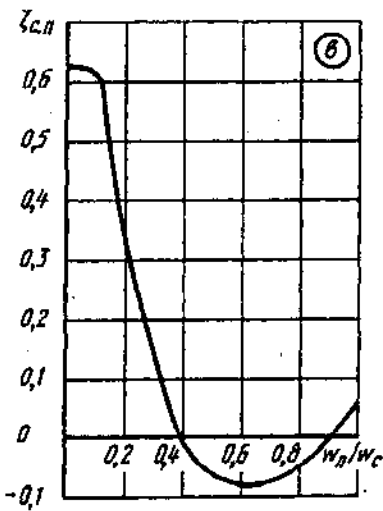
Крестовины прямые ( $\alpha=90^\circ$ ) приточные из кровельного железа; $Re > 10^4$ [7-40]	Диаграмма 7-38
--	-------------------

Значения  $\zeta_{с.б}$  при  $Q_{16}/Q_{26} \neq 1$  (график б)

$F_6/F_c$	$F_{16}/F_{1c}$	$w_6/w_c$												
		0	0,4	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,4	
0,445	0,64—1	0,5	0,75	0,90	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	—	—	
0,284	0,64—1	0,5	0,75	0,90	1,3	1,5	1,75	2,2	2,6	3,0	3,4	4,2	5,4	

Прямой проход

$$\zeta_{с.п} \equiv \frac{\Delta p_{п}}{\rho w_c^2 / 2} \text{ см. таблицы и графики в и г}$$

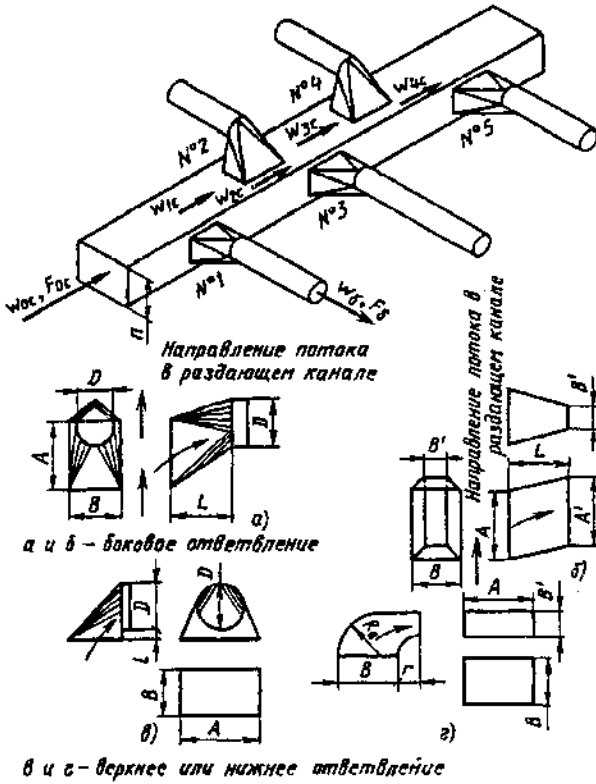


Значения  $\zeta_{с.п}$  при  $F_n = \text{const}$ , любых  $F_{16}/F_{26}$  и любых  $F_6/F_c$  (график в)

$w_n/w_c$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{с.п}$	0,63	0,62	0,40	0,15	0	-0,05	-0,08	-0,08	-0,05	0	+0,05

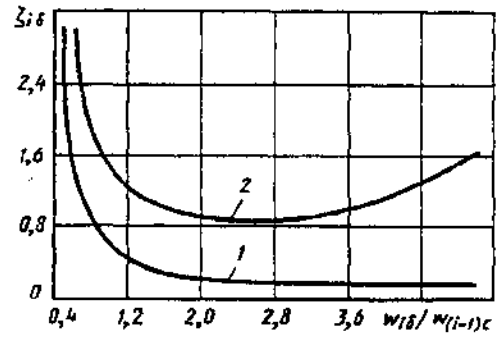
Значения  $\zeta_{с.п}$  при наличии конического перехода на проходном участке (график д)

$w_n/w_c$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$\zeta_{с.п}$	0,6	0,55	0,45	0,25	0,10	0,05	0,05	0,05	0,07	0,10	0,17	0,27



$$\zeta_{i6} \equiv \frac{\Delta p_6}{\rho w_{i6}^2 / 2} \text{ см. кривые } \zeta_{i6} = f\left(\frac{w_{i6}}{w_{(i-1)e}}\right),$$

где  $w_{(i-1)e}$  — средняя скорость в коробе перед  $i$ -м ответвлением

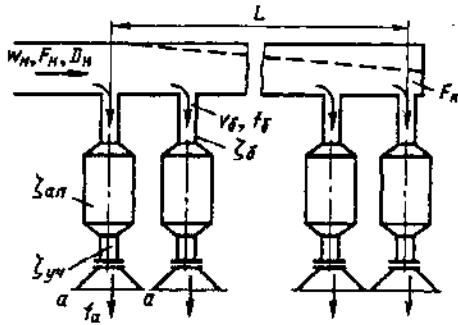


Размеры к схемам ( $h$ —высота сечения короба)

Схе-ма	$D$	$A'$	$B'$	$A$	$B$	$L$	$l$	$R$	$r$
а	0,6—0,9 $h$	—	—	$\approx 1,7D$	$D$	1—1,3 $D$	—	—	—
б	—	1,15—1,25 $h$	0,30—0,45 $h$	1—1,5 $h$	0,6—0,94 $h$	0,6—1,1 $h$	—	—	—
в	0,6—0,9 $h$	—	—	$\approx 1,7D$	$D$	—	0,2 $D$	—	—
г	—	1,15—1,25 $h$	0,35—0,45 $h$	1,15—1,25 $h$	0,6—0,9 $h$	—	—	0,6—0,9 $h$	0,3—0,4 $h$

Значения  $\zeta_{i6}$

Ответвление	$w_{i6}/w_{(i-1)e}$								
	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	
1. Боковое	или	4,30	1,6	0,88	0,60	0,24	0,20	0,19	0,18
2. Верхнее нижнее		—	3,00	1,80	1,43	0,92	0,90	1,12	1,67



$$\zeta \approx 2,28 - 0,51A'_1 + 0,40K_1 + 0,0066L/D_{гн} - 0,0015A'_1 L/D_{гн}$$

$$0,6 \leq K_1 \leq 0,9:$$

$$\zeta \approx 2,20 - 0,57A'_1 + 0,60K_1 + 0,0086L/D_{гн} - 0,002A'_1 L/D_{гн} = f(A'_1, K_1, L/D_{гн}),$$

$$\text{где } A'_1 = \bar{f} \frac{1}{\sqrt{0,6 + (f_0/f_n)^2 + \zeta_{уч} + \zeta_{ан}}};$$

$\zeta_{уч} \equiv \frac{\Delta p_{уч}}{\rho v_0^2 / 2}$  см. данные справочника для соответствующих участков, присоединенных к боковым ответвлениям до и после аппарата;

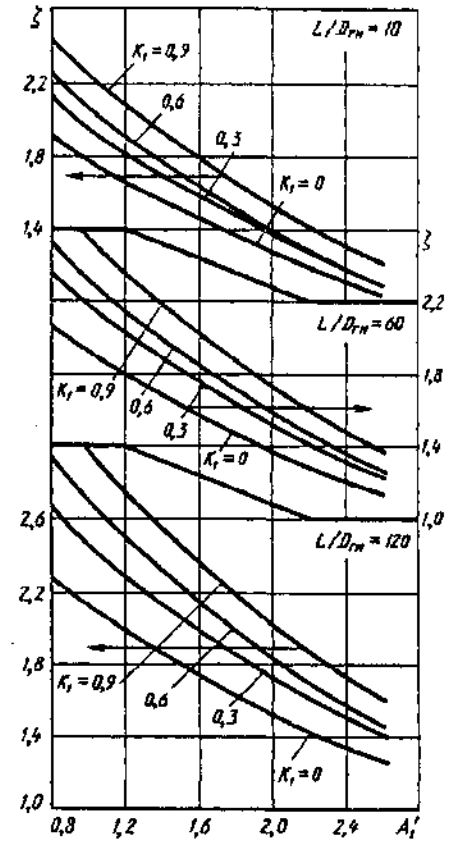
$\zeta_{ан} \equiv \frac{\Delta p_{ан}}{\rho v_n^2 / 2}$  см. двенадцатый раздел или другие источники для данных аппаратов (устройств), примыкающих к боковым ответвлениям;  $\bar{f} = n_0 f_0 / F_n$  ( $n_0$  — число ответвлений);  $K_1 = 1 - F_n / F_n$

$$0,9 \leq A'_1 \leq 2,6$$

$$0 < K_1 < 0,3:$$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_n^2 / 2} \approx 2,63 - 0,54A'_1$$

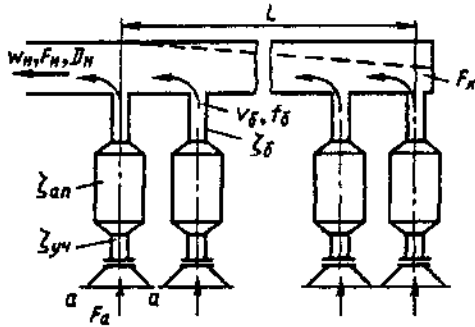
$$0,3 \leq K_1 < 0,6:$$



Значения  $\zeta$

$K_1$	$A'_1$											
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$L/D_{гн} = 5 \div 10$												
0	2,40	2,10	2,00	1,80	1,65	1,60	1,50	1,38	1,30	1,20	1,13	1,07
0,3	2,30	2,20	2,13	1,97	1,83	1,70	1,59	1,48	1,39	1,29	1,20	1,12
0,6	2,40	2,28	2,23	2,07	1,90	1,77	1,65	1,59	1,41	1,31	1,20	1,12
0,9	2,60	2,50	2,43	2,26	2,10	1,94	1,80	1,67	1,54	1,43	1,33	1,23
$L/D_{гн} = 60$												
0	2,30	2,10	2,05	1,93	1,80	1,70	1,60	1,50	1,40	1,31	1,23	1,15
0,3	2,40	2,30	2,20	2,18	2,04	1,90	1,77	1,65	1,54	1,44	1,34	1,25
0,6	2,70	2,55	2,45	2,33	2,16	2,00	1,86	1,72	1,59	1,48	1,37	1,27
0,9	3,00	2,85	2,70	2,56	2,37	2,20	2,04	1,89	1,75	1,62	1,50	1,39
$L/D_{гн} = 120$												
0	2,30	2,10	2,25	2,13	2,00	1,87	1,75	1,65	1,55	1,44	1,35	1,27
0,3	2,70	2,60	2,55	2,48	2,31	2,15	2,01	1,87	1,75	1,63	1,52	1,41
0,6	3,05	2,80	2,77	2,71	2,51	2,33	2,16	2,00	1,85	1,72	1,59	1,47
0,9	3,45	3,30	3,10	2,97	2,75	2,55	2,37	2,19	2,03	1,88	1,75	1,62

$$0,2 \leq A'_2 \leq 1,4:$$



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_n^2 / 2} \approx \frac{1}{\text{th}^2 \varphi} - 1 \text{ см. кривые } \zeta = f(A'_2, K_1),$$

где  $\varphi = 0,09 + 0,50 A'_2 + 0,02 K_1 - 0,09 A'_2 K_1$ ;

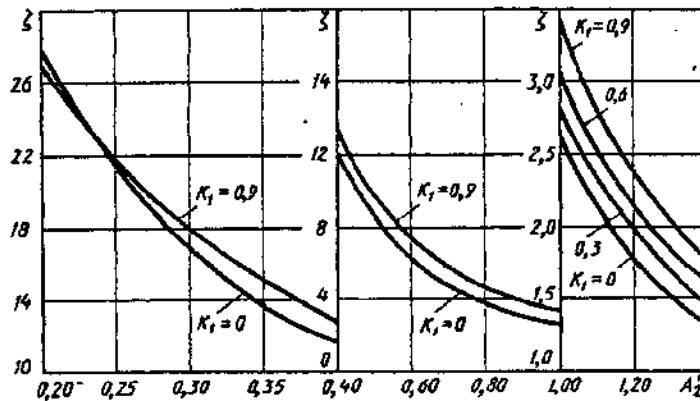
$$A'_2 = \bar{f} \frac{1}{\sqrt{1 + (f_6/f_a)^2 + \zeta_{уч} + \zeta_{ан}}}$$

$\zeta_{уч} \equiv \frac{\Delta p_{уч}}{\rho v_6^2 / 2}$  см. данные справочника для соответствующих участков, присоединенных к боковым ответвлениям до и после аппарата;

$\zeta_{ан} \equiv \frac{\Delta p_{ан}}{\rho v_6^2 / 2}$  см. двенадцатый раздел или другие источники для данных аппаратов (устройств), примыкающих к боковым ответвлениям;  $\bar{f} = n_0 f_6 / F_n$  ( $n_0$  — число ответвлений);  $K_1 = 1 - F_k / F_n$

Значения  $\zeta$

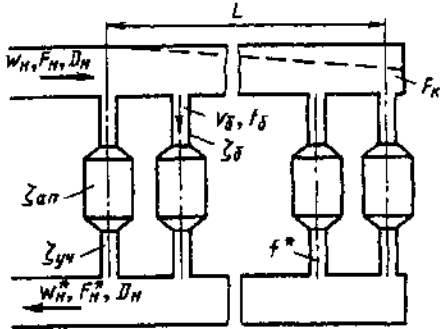
$K_1$	$A'_2$							
	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
0	27,5	17,0	11,8	6,30	3,90	2,52	1,76	1,30
0,3	27,2	17,3	12,0	6,60	4,12	2,78	1,97	1,44
0,6	27,0	17,5	12,4	7,00	4,43	3,02	2,16	1,59
0,9	27,0	18,0	12,8	7,42	4,77	3,28	2,37	1,77



Коллекторы П-образной формы при  $\alpha=90^\circ$  и  $L/D_{r,n} \leq 5,0$ ;  $0,5 \leq F_n/F_n^* \leq 1,0$ ;  
 $K_1 \leq 0,9$  для разлающего и  $K_1^* = 0$  для собирающего каналов;  
 $Re = w_n D_{r,n} / \nu \geq 10^4$  [7-50]

Диаграмма  
7-42

$0,54 \leq A'_3 \leq 1,6$ :



$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_n^2 / 2}$$

$$\approx \frac{1}{0,788 A'_3 + 0,029 K_1 + 0,115 F_n / F_n^* - 0,130 A'_3 K_1}$$

$$\rightarrow -0,353 A'_3 F_n / F_n^* - 0,090$$

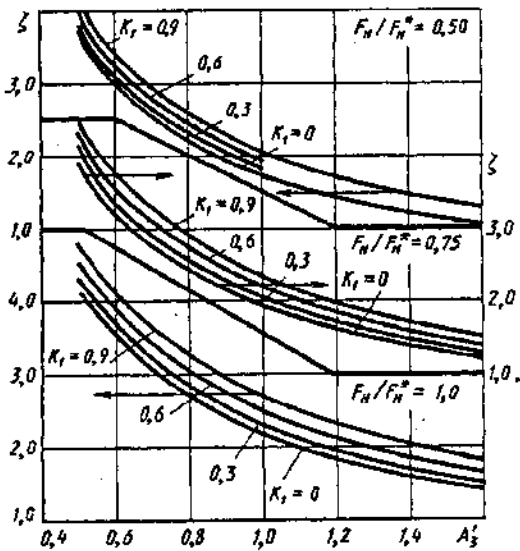
$$\zeta = f(A'_3, K_1, F_n / F_n^*);$$

$$A'_3 = f \frac{1}{\sqrt{0,6 + (f_0 / f_0^*)^2 + \zeta_{yч} + \zeta_{ан}}}$$

$$\zeta_{yч} = \frac{\Delta p_{yч}}{\rho v_0^2 / 2} \text{ см. данные справочника для}$$

соответствующих участков, примыкающих к боковым ответвлениям до и после аппарата (устройства);  $\zeta_{ан} \approx \frac{\Delta p}{\rho v_0^2 / 2}$  см. двенадцатый раздел или другие источники для данных аппаратов (устройств), примыкающих к боковым ответвлениям;  $\bar{f} = n_0 f_0 / F_n$  ( $n_0$  — число ответвлений);  $K_1 = 1 - F_x / F_n$

Значения  $\zeta$

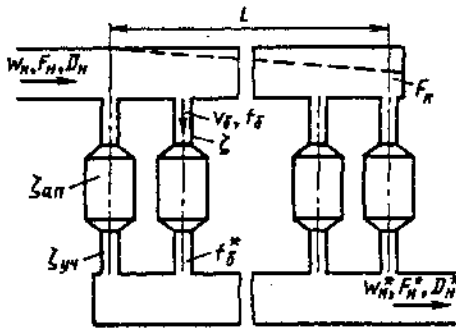


$K_1$	$A'_3$						
	0,54	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
$F_n / F_n^* = 0,5$							
0	3,66	3,00	2,19	1,73	1,43	1,21	1,00
0,3	3,80	3,13	2,30	1,82	1,51	1,29	1,12
0,6	3,97	3,28	2,43	1,93	1,60	1,37	1,19
0,9	4,15	3,44	2,57	2,05	1,70	1,46	1,27
$F_n / F_n^* = 0,75$							
0	3,88	3,22	2,41	1,92	1,60	1,37	1,20
0,3	4,05	3,38	2,55	2,04	1,71	1,46	1,28
0,6	4,23	3,56	2,70	2,18	1,82	1,57	1,38
0,9	4,44	3,76	2,88	2,33	1,96	1,69	1,49
$F_n / F_n^* = 1,0$							
0	4,12	3,50	2,68	2,17	1,83	1,58	1,39
0,3	4,32	3,69	2,85	2,33	1,96	1,70	1,60
0,6	4,53	3,90	3,05	2,50	2,12	1,84	1,63
0,9	4,76	4,13	3,27	2,71	2,31	2,01	1,79



Коллекторы Z-образной формы при  $\alpha=90^\circ$  и  $L/D_{гн} \leq 50$ ;  $0,5 \leq F_u/F_u^* \leq 1,0$ ;  
 $K_1 \leq 0,9$  для раздающего и  $K_1^* = 0$  для собирающего каналов;  
 $Re = w_{гн} D_{гн} / \nu \geq 10^4$  [7-50]

Диаграмма  
7-43



$$0,54 \leq A'_4 \leq 1,6$$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_u^2 / 2} \approx$$

$$\approx \frac{1}{0,692 A'_4 - 0,073 K_1 + 0,128 F_u / F_u^* - 0,424 A'_4 F_u / F_u^* - 0,013}$$

$$\zeta = f(A'_4, K_1, F_u / F_u^*);$$

$$D_{гн} = \frac{4F_u}{\Pi_u}$$

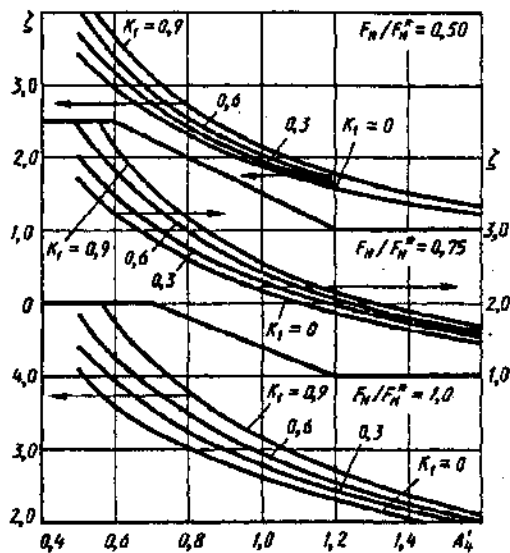
$$A'_4 = \bar{f} \frac{1}{\sqrt{0,6 + (f_0 / f_0^*)^2 + \zeta_{уч} + \zeta_{ан}}}$$

где  $\zeta_{уч} = \frac{\Delta p_{уч}}{\rho v_0^2 / 2}$  см. данные справочника для соответствующих участков, примыкающих

к боковым ответвлениям до и после аппарата (устройства);  $\zeta_{ан} = \frac{\Delta p_{ан}}{\rho v_0^2 / 2}$  см. двенадцатый

раздел или другие источники для данных аппаратов (устройств), примыкающих к боковым ответвлениям;  $\bar{f} = n_0 f_0 / F_u$  ( $n_0$  — число ответвлений);  $K_1 = 1 - F_u / F_u^*$

Значения  $\zeta$



$K_1$	$A'_4$						
	0,54	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
$F_u / F_u^* = 0,5$							
0	3,44	2,95	2,30	1,88	1,59	1,38	1,22
0,3	3,72	3,15	2,42	1,96	1,65	1,43	1,25
0,6	4,05	3,39	2,56	2,05	1,71	1,47	1,29
0,9	4,44	3,66	2,71	2,15	1,78	1,52	1,33
$F_u / F_u^* = 0,75$							
0	3,70	3,25	2,62	2,19	1,88	1,65	1,47
0,3	4,03	3,50	2,78	2,30	1,96	1,71	1,52
0,6	4,42	3,79	2,96	2,42	2,05	1,78	1,57
0,9	4,89	4,14	3,16	2,56	2,15	1,85	1,62
$F_u / F_u^* = 1,0$							
0	4,02	3,63	3,04	2,61	2,29	2,04	1,84
0,3	4,40	3,94	3,25	2,71	2,41	2,14	1,92
0,6	4,87	4,31	3,50	2,95	2,55	2,24	2,00
0,9	5,46	4,76	3,79	3,15	2,70	2,30	2,09

**СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЧЕРЕЗ ПРЕПЯТСТВИЯ, РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ КАНАЛОВ (КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕШЕТОК, СЕТОК, ПОРИСТЫХ СЛОЕВ, НАСАДОК И ДР.)**

**8-1. ПОЯСНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. К препятствиям, равномерно распределенным по сечению труб и каналов и создающим равномерное сопротивление потоку, относятся различные решетки, сетки, слои, ткань, насадки из колец Рашига, кускового или сыпучего материала, поперечные пучки труб и т. п.

2. Природа сопротивления плоских решеток (перфорированных листов), помещенных в прямую трубу, такая же, как и при протекании потока через диафрагму (шайбу). Жидкость (газ), подходя к решетке, поджимается в ее отверстиях и с повышенной скоростью отдельными струйками выходит из решетки в трубу. Таким образом, возникают потери, связанные как со входом в отверстия, так и с внезапным расширением на выходе из отверстия решетки (рис. 8-1).

Коэффициент сопротивления плоской (тонкостенной) решетки зависит от коэффициента живого сечения  $\bar{f} = \sum f_{отв} / F_p = F_0 / F_1$  и формы краев отверстий, а также от числа Рейнольдса  $Re = w_{отв} d_{отв} / \nu$ . Вычисляется он по формулам (4-7) — (4-27):

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = f(\bar{f}, r/d_{отв}, l/d_{отв}, Re).$$

3. При малых коэффициентах живого сечения  $\bar{f}$  решетки скорость потока в ее отверстиях и особенно в наиболее сжатом сечении струек в отверстиях может получиться очень большой даже при сравнительно небольшом ее значении перед фронтом решетки. В некоторых случаях скорость потока в сжатом сечении струек может быть близкой к скорости звука (числа Маха — близким к единице). При этих условиях коэффициент сопротивления решетки начинает зависеть от числа Маха  $Ma_1 = w_1 / a_1$  (см. п. 38 четвертого раздела), т. е.

$$\zeta_{\mu} \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = k_{\mu} \zeta,$$

где  $k_{\mu}$  — поправка на влияние числа Маха, полученная на основании опытных данных Корнелла [8-63] (см. диаграмму 8-7);  $\zeta$  определяется, как при  $M_1 \approx 0$  по формулам четвертого раздела;  $w_1$  — средняя скорость потока перед препятствием (решетки, сетки и т. п., м/с).

4. Для построения перфорированных решеток можно воспользоваться следующей связью между числом отверстий  $n_{отв}$ , а также между поперечным  $S_1$  и продольным  $S_2$  шагом отверстий, их диаметром  $d_{отв}$  и коэффициентом живого сечения решетки  $\bar{f}$ .

Число отверстий

$$n_{отв} = 1,27 \bar{f} F_p / d_{отв}^2.$$

Расстояние между отверстиями:

при коридорном (прямоугольном) расположении отверстий (рис. 8-2, а)

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{0,785 d_{отв}^2}{S \bar{f}}; \\ S_2 &= \frac{0,785 d_{отв}^2}{S \bar{f}}. \end{aligned} \right\} (8-1)$$

В первой формуле (8-1) известным предполагается шаг  $S_2$ , а во второй — шаг  $S_1$ ;

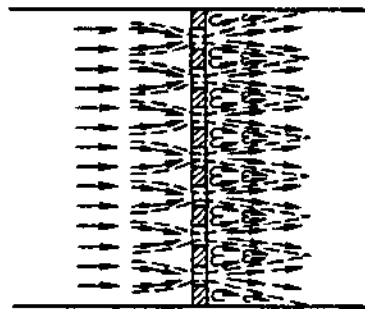


Рис. 8-1. Схема перетекания потока через решетку (сетку)

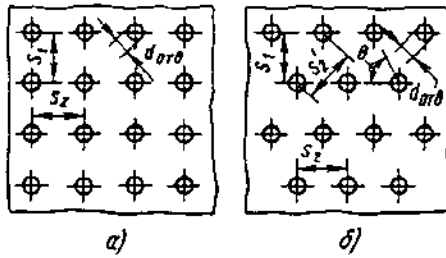


Рис. 8-2. Перфорированная решетка с коридорным (а) и шахматным (б) расположением отверстий

в частном случае, когда  $S_1 = S_2$ ,

$$S_1 = 0,89 d_{\text{отв}} / \sqrt{f}, \quad (8-2)$$

при шахматном (ромбовидном) расположении отверстий под углом  $\theta$  (рис. 8-2, б)

$$S_1 = 0,63 d_{\text{отв}} \sqrt{\text{tg } \theta / f},$$

$$S_2 = 1,25 d_{\text{отв}} / \sqrt{f \text{tg } \theta}.$$

В частном случае при одинаковом расстоянии между отверстиями как в поперечном направлении, так и диагональном ( $S_2 = S'_2$ ;  $\theta = 60^\circ$ )

$$S_1 = 0,82 d_{\text{отв}} / \sqrt{f}; \quad S_2 = 0,95 d_{\text{отв}} / \sqrt{f}.$$

При  $S_1 = S_2$  получим формулу (8-2).

5. Коэффициент сопротивления незагрязненных плетеных сеток при больших числах Рейнольдса

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = k_0 (1 - F_0 / F_1) + (F_1 / F_0 - 1)^2, \quad (8-3)$$

где для плетеных сеток из проволоки круглого поперечного сечения с обычным состоянием поверхности (но не окисленных и не запыленных)  $k_0 = 1,3$  (по данным Г. А. Адамова); для новых сеток  $k_0 = 1,0$ , а для шелковых ниток  $k_0 = 2,1$  [8-49].

6. При числах Рейнольдса  $Re < 10^3$  для плетеных сеток из проволоки круглого поперечного сечения и  $Re < 500$  для шелковых сеток коэффициент сопротивления может быть определен по следующим формулам:

1) сетки из проволоки при  $50 < Re < 10^3$

$$\zeta = k'_{Re} \zeta_{\text{ст}};$$

при  $Re < 50$

$$\zeta \approx 22 / Re + \zeta_{\text{ст}};$$

2) сетки из шелковых ниток

при  $40 < Re < 500$

$$\zeta = k''_{Re} \zeta_{\text{ст}};$$

при  $Re < 40$

$$\zeta \approx 7 / Re + \zeta_{\text{ст}},$$

где  $\zeta_{\text{ст}}$  определяется, как  $\zeta$  по формуле (8-3);  $k'_{Re}$  и  $k''_{Re}$  — см. соответствующие кривые  $k_{Re} = f(Re)$  диаграммы 8-6.

7. Коэффициент сопротивления двухплоскостных сеток (см. диаграмму 8-6) может быть определен [8-34] как

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1,28 (1 - \bar{f}) / \bar{f}.$$

Неравномерность расположения прутков не влияет на коэффициент сопротивления сетки; он зависит только от суммарного живого сечения  $\bar{f}$  [8-34].

8. Сетки, сплетенные на основе нихромовой проволоки и в поперечном направлении из диэлектрической капроновой нити того же диаметра ( $d = 0,5 \div 1,2$  мм), исследовались в работе [8-40] при установке их под разными углами ( $\varphi = 0 \div 75^\circ$ ) к потоку. При увеличении  $\varphi$  в пределах  $0 \div 45^\circ$  коэффициент сопротивления сетки увеличивается относительно мало. Резкое увеличение  $\zeta$  (примерно вдвое) наступает при увеличении  $\varphi$  с  $45$  до  $60^\circ$ . Затем при дальнейшем увеличении  $\varphi$  коэффициент  $\zeta$  опять уменьшается.

9. Как и для решеток, скорость в отверстиях сетки при малых коэффициентах ее живого сечения может быть близкой к скорости звука ( $Ma_1 \approx 1,0$ ). Влияние числа Маха  $Ma_1$  учитывается по формуле

$$\zeta_M \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = k'_M \zeta,$$

где  $k'_M$  — поправка на влияние числа Маха [8-63] (см. диаграмму 8-7).

10. Аналогичное явление может иметь место и при других пористых (фильтрующих) материалах. Значения коэффициентов сопротивления некоторых из них, полученные при больших давлениях (до 20 МПа) в зависимости от числа Рейнольдса, приведены на диаграмме 8-8 [8-58]. Там же для тех же материалов приведены кривые зависимости отношения давлений  $\bar{p} = p_2 / p_1$  от скорости потока  $w_1$ .

Ни коэффициент сопротивления  $\zeta$ , ни отношение давления  $\bar{p}$  практически не зависят от давления  $p_1$  перед пористым материалом.

11. Установка двух сеток вплотную одна к другой в идеальном случае не должна приводить к увеличению сопротивления, так как при точном совмещении проволок обеих сеток это означало бы только увеличение размера этих проволок по потоку. Практически, однако, проволоки обеих сеток частично перекрывают одна другую, вследствие чего живое сечение несколько уменьшается и сопротивление увеличивается, но редко вдвое. При установке двух сеток на некотором расстоянии одна от другой (примерно на расстоянии больше 15 диаметров проволоки) сопротивление сеток удваивается. Поэтому при практических расчетах коэффициент суммарного сопротивления последовательно установленных сеток можно

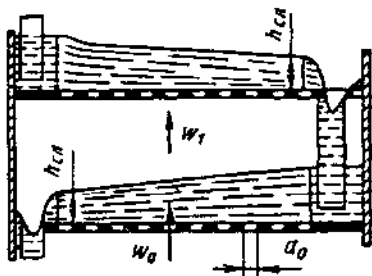


Рис. 8-3. Сетчатые тарелки в ректификационной колонне

определять как сумму коэффициентов сопротивления отдельных сеток, т. е.

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^{n_c} \zeta_i,$$

где  $n_c$  — число рядов сеток.

12. В случае применения решеток (сеток) в качестве барботажных тарелок (сетчатые тарелки) в аппаратах, где происходит процесс массообмена (ректификация, сорбция, увлажнение газов и т. п., рис. 8-3), их сопротивление зависит, во-первых, от условий работы тарелки (сухая тарелка, смоченная при движении по ней столба жидкости без барботажа и движении жидкости при наличии барботажа), во-вторых, от физических свойств рабочих сред и конструктивных размеров тарелки.

13. Коэффициент сопротивления сухой тарелки определяется по данным пп. 2, 5 и 6, как для обычной решетки (сетки).

Сопротивление смоченной тарелки с малыми отверстиями больше сопротивления сухой тарелки, так как в отверстиях образуется жидкостная пленка, на разрыв которой затрачивается определенная энергия протекающего через отверстия газового (воздушного) потока.

Коэффициент сопротивления смоченной тарелки (с малыми отверстиями) можно вычислить по формуле И. П. Усюкина и Л. С. Аксельрода [8-47]:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_r w_0^2 / 2} = \zeta_{\text{сух}} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2 + 2 \cdot 10^{-4} \frac{\sigma / a_0}{\rho_r w_0^2 / 2},$$

где  $\zeta_{\text{сух}}$  — коэффициент сопротивления сухой тарелки, определяемый, как  $\zeta$  для обычной решетки (сетки), см. диаграммы 8-1—8-6;  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения жидкости на границе раздела фаз газ—жидкость, Н/м;  $\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $a_0$  — радиус круглого отверстия или ширина щелевого отверстия тарелки, м;  $w_0$  — средняя скорость потока в живом сечении препятствия (решетки, сетки и т. п.), м/с.

14. Коэффициент сопротивления тарелки в условиях ее нормальной работы с барботажем [8-47]

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_r w_0^2 / 2} = \zeta_{\text{сух}} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2 + \frac{2 \cdot 10^{-4} \sigma / a_0}{\rho_r w_0^2 / 2} +$$

$$+ 4,9 \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}} \cdot \frac{h_{\text{сн}}}{\rho_r w_0^2 / 2} + 22,5 \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}} \left( \frac{Q_{\text{ж}}}{l_{\text{сн}}} \right)^{2/3} \frac{1}{\rho_r w_0^2 / 2},$$

где  $\rho_{\text{в}}$  и  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность воды и рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $h_{\text{сн}}$ ,  $l_{\text{сн}}$  — высота и длина сливной перегородки тарелки, м.

15. Коэффициент сопротивления барботажных тарелок, у которых отсутствуют специальные переливные устройства, может быть вычислен с допустимой для технических расчетов точностью по формуле В. В. Дильмана и др. [8-44]:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_r w_0^2 / 2} = 2 \zeta_{\text{сух}} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2 \frac{1}{(1-f)^3} + \frac{4 \sigma / a_0}{\rho_r w_0^2 / 2}.$$

Коэффициент живого сечения щелей тарелки, через которую стекает жидкость,

$$f = \frac{\sqrt[3]{\left( \frac{L_0}{G_0} \right)^2 \frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \frac{0,5}{\zeta_{\text{сух}} (F_0/F_1)^2 \mu_{\text{ж}}^2}}}{1 + \sqrt[3]{\left( \frac{L_0}{G_0} \right)^2 \frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \frac{0,5}{\zeta_{\text{сух}} (F_0/F_1)^2 \mu_{\text{ж}}^2}}},$$

где  $G_0$ ,  $L_0$  — массовая скорость соответственно газа и жидкости, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\mu_{\text{ж}}$  — коэффициент расхода жидкости через щель (отверстие) тарелки.

16. Общие потери в решетках, выполненных из стержней различных форм сечения, складываются, как и для обычных углошпленных решеток, из потерь на вход, на трение и на внезапное расширение (удар) при выходе из суженного сечения между стержнями в канал.

Коэффициент сопротивления решеток при  $l/d_{\text{ж}} = 5$  и  $a_0/S_1 \geq 0,5$  можно определить по формуле Киршмера [8-69]:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \beta_1 k_1 \sin \theta. \quad (8-4)$$

Здесь  $\beta_1$  — коэффициент формы стержней (см. диаграмму 8-9);  $k_1 = (S_1/a_0 - 1)^{4/3}$ ;  $\theta$  — угол наклона стержня к потоку;  $d_{\text{ж}}$  — ширина (диаметр) минимального сечения стержня решетки, м;  $a_0$  — просвет между двумя соседними стержнями, м;  $S_1$  — расстояние между осями двух соседних стержней, м;  $l$  — длина стержня, м.

17. Коэффициент сопротивления решеток при любых значениях коэффициента живого сечения  $f = F_{\text{отв}}/F_0 = a_0/S_1$  и любой относительной глубине просветов (толщине решетки)  $l/a_0$  может быть определен приближенно:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \beta_2 \zeta' \sin \theta, \quad (8-5)$$

где  $\beta_2$  — коэффициент формы стержней (см. диаграмму 8-9);  $\zeta'$  — коэффициент сопротивле-

ния обычной решетки или шайбы с утолщенными краями отверстий, определяемый как  $\zeta$  по формуле автора (4-12) или диаграмме 8-3.

18. При значениях  $a_0/S_1 \geq 0,5$  коэффициент сопротивления стержневой решетки (с любой формой сечения стержня), помещенной непосредственно за поворотом потока под углом атаки  $\alpha_0$  [8-82],

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2} = \sigma_1 \sigma_2, \quad (8-6)$$

где  $\sigma_1$  — коэффициент, зависящий практически только от угла атаки  $\alpha_0$  (для данной формы стержня см. график *a* диаграммы 8-10);  $\sigma_2$  — коэффициент, зависящий от угла атаки  $\alpha_0$  и коэффициента живого сечения  $a_0/S_1$  (см. график *b* диаграммы 8-10).

19. В случае применения стержневых решеток в гидротехнических сооружениях значения  $\zeta$  этих решеток получаются большими, чем по расчету, вследствие загрязнения и конструктивных особенностей решеток. Поэтому В. Б. Дульнев [8-15] рекомендует ввести в формулы (8-4), (8-5) и (8-6) поправочный множитель  $c'$ , учитывающий род и количество содержащегося в воде мусора, способ очистки решетки, возможность отложения перед решеткой наносов и другие условия. При машинной очистке решеток  $c' = 1,1 \div 1,13$ , при ручной  $c' = 1,5 \div 2,0$ . Конструктивные особенности рекомендуется учитывать поправочным множителем

$$c'' \approx \frac{1}{(1 - A/L)^2},$$

где  $L$  — высота решетки в свету, м;  $A$  — суммарная высота поперечных элементов ( $A = h \cdot n_1 + dn_2$ ), м;  $h$  и  $n_1$  — высота и число промежуточных опорных балок, м;  $d$  и  $n_2$  — диаметр и число распорно-связных элементов, м.

20. В пористой среде наблюдается постепенный переход от ламинарного режима течения к турбулентному. Плавность перехода объясняется, во-первых, извилистостью пор, сужениями и расширениями, а также шероховатостью поверхности пористой среды, что способствует вихреобразованиям и возмущениям потока; во-вторых, постепенным распространением турбулентности с больших пор на малые, что связано с характером распределения пор в среде по их размерам.

21. Пористые среды можно разделить на три основные группы:

- 1) цементированные или связанные (пористая керамика, уголь, пористый металл);
- 2) сыпучие или несвязанные (порошки, различные кусковые материалы, насадки из элементов правильной геометрической формы — шары, цилиндры, кольца);
- 3) решетчатые или хордовые насадки, на-

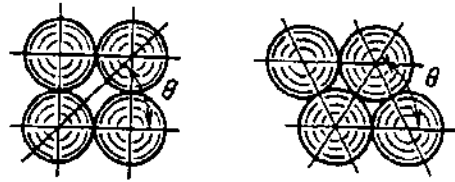


Рис. 8-4. Относительное расположение сферических тел в слое

садки из сеток или сит, груб, гофрированных лент и т. п.

22. Пористость и просвет (коэффициент живого сечения) слоя, состоящего из одинаковых сферических тел, не зависят от диаметра зерна; они являются функциями взаимного расположения зерен, т. е. угла  $\theta$  (рис. 8-4):

$$\varepsilon' = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 \cos \theta}};$$

$$f' = 1 - 0,25\pi / \sin \theta.$$

Крайние значения угла  $\theta$  равны 60 и 90°. Теоретическая пористость  $\varepsilon'$  и просвет  $f'$  в этом интервале угла даны в табл. 8-1.

8-1. Значения  $\varepsilon'$  и  $f'$

$\theta$	$\varepsilon'$	$f'$	$\theta$	$\varepsilon'$	$f'$
60°	0,259	0,0931	67°21'	0,36	0,1491
60°02'	0,26	0,0977	69°17'	0,38	0,1605
61°18'	0,28	0,1045	71°28'	0,40	0,1719
62°36'	0,30	0,1155	74°03'	0,42	0,1832
64°03'	0,32	0,1266	77°10'	0,44	0,1946
65°37'	0,34	0,1337	81°25'	0,46	0,2057
			90°00'	0,476	0,2146

23. Для слоя сыпучих тел или кусков сферической или неправильной формы коэффициент сопротивления может быть вычислен с точностью до  $\pm 20$ —35%\*1 по выражению, вытекающему из уточненной [8-66] формулы Эргана [8-64]:

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2} = \left[ \frac{360(1 - \varepsilon')^2}{\varepsilon'^3 Re_1} + \frac{B'(1 - \varepsilon')}{\varepsilon'^3} \right] l_0/d_s = \lambda_0/d_s, \quad (8-7)$$

$$\text{где } \lambda \approx \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2 l_0/d_s} = \frac{360(1 - \varepsilon')^2}{\varepsilon'^3 Re_1} + \frac{B'(1 - \varepsilon')}{\varepsilon'^3} = \frac{A}{Re_1} + B_1; \quad (8-8)$$

\*1 Такая точность является относительно хорошей, если учесть, что применимость предлагаемой формулы в интервале изменения числа Рейнольдса от  $10^{-1}$  до  $10^3$  изменяет коэффициент сопротивления на два порядка (от 0,5 до 50) [8-4].

$Re_1 \equiv w_1 d_1 / \nu$ ;  $d_1 = \varphi_1 d_s$ ;  $d_s$  — средний размер (диаметр) тела;  $\varphi_1$  — коэффициент формы тела;  $B' = 1,8$  — для тел с гладкой поверхностью,  $B' = 4,0$  — для тел с шероховатой поверхностью. Значения  $\varepsilon'$ ,  $d_s$  и  $\varphi_1$  для тел из различных материалов приведены на диаграмме 8-11.

24. Для слоя из тел неправильной формы, а также из колец, для которых известен гидравлический диаметр пор  $d_r$ , коэффициент сопротивления

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \lambda \frac{l_0}{\varepsilon' d_r} \quad (8-9)$$

где по данным Н. П. Ишкина и М. Г. Каганера [8-32] при  $Re_r \equiv \frac{1}{\varepsilon'} \cdot \frac{w_1 d_r}{\nu} < 3$

$$\lambda = 180 / Re_r, \quad (8-10)$$

а при  $Re_r > 3$

$$\lambda = 164 / Re_r + 7,68 / Re_r^{0,11}. \quad (8-11)$$

Формулами (8-9) — (8-11) можно пользоваться также для определения коэффициента сопротивления связанного пористого материала.

25. Сопротивление «регулярных» пористых насадок из колец Рашига, уложенных правильными рядами (см. диаграмму 8-13), и насадок из деревянных реек, уложенных параллельно (см. диаграмму 8-14), при отсутствии орошения их жидкостью обусловлено главным образом потерями давления на трение.

Коэффициент сопротивления таких насадок может быть вычислен по формуле (8-9), где по уточненным данным [8-16] при  $0,4 \cdot 10^3 < Re_{1r} < w_1 d_r / \nu \leq 8 \cdot 10^3$  (где  $Re_{1r}$  принят в соответствии со скоростью перед насадкой)

$$\lambda = 3,2 / Re_{1r}^{0,375}, \quad (8-12)$$

а при  $Re_{1r} > 8 \cdot 10^3$

$$\lambda \approx 0,11 = \text{const}, \quad (8-13)$$

где  $d_r = 4\varepsilon' / \bar{s}$  — гидравлический диаметр прохода между кольцами, м ( $\bar{s}$  — удельная площадь поверхности всех колец,  $\text{м}^2 / \text{м}^3$ ).

26. Сопротивление насадок из колец Рашига, уложенных в шахматном порядке (см. диаграмму 8-13), и хордовых насадок, загруженных накрест (см. диаграмму 8-14), при отсутствии орошения их жидкостью обуславливается как потерями на трение, так и потерями при внезапном сужении и расширении потока в местах пересечения рядов насадки.

27. Коэффициент сопротивления керамических колец Рашига с отношением наружного диаметра к внутреннему  $d_n / d_a \approx 1,2$  и относительной высотой  $l_n / d_a \approx 1,0$  при укладке их в шахматном порядке может быть определен по формуле (8-9), где при  $0,4 \cdot 10^3 < Re_{1r} \leq 6 \cdot 10^3$

$\lambda$  вычисляется по уточненной автором формуле Н. М. Жаворонкова [8-16]:

$$\lambda = 9,6 / Re_{1r}^{0,375}, \quad (8-14)$$

а при  $Re_{1r} > 6 \cdot 10^3$

$$\lambda \approx 0,36 = \text{const}. \quad (8-15)$$

С некоторым приближением формулы (8-14) и (8-15) можно распространить и на кольца с иными размерами.

28. Коэффициент сопротивления хордовых насадок, загруженных накрест, вычисляется по формуле (8-9), в которой при  $0,4 \cdot 10^3 < Re_{1r} \leq 6 \cdot 10^3$  согласно [8-16]

$$\lambda = k'_1 / Re_{1r}^{0,375}, \quad (8-16)$$

а при  $Re_{1r} > 6 \cdot 10^3$

$$\lambda = \lambda' = \text{const}, \quad (8-17)$$

где  $k'_1$  и  $\lambda'$  принимаются в зависимости от номера решетки (см. диаграмму 8-14)\*<sup>1</sup>.

29. Сопротивление движению газового потока в орошаемой насадке значительно больше, чем в сухой. Возрастание сопротивления вызывается как сужением потоков жидкости живого сечения насадки, так и барботированием газа через жидкость, которая задерживается в мертвых зонах насадки. При этом влияние интенсивности орошения на сопротивление насадки тем больше, чем меньше размер элементов в насадке.

30. При движении газа противотоком через орошаемую насадку наблюдаются три режима: устойчивый, при котором жидкость полностью стекает вниз; неустойчивый, при котором вначале происходит подвисание (захват) жидкости, а потом обратное движение жидкости, приводящее к «захлебыванию» и выбрасыванию ее из насадки вместе с газом. Моменты захвата и захлебывания жидкости наступают при тем меньшей скорости газового потока, чем больше плотность  $A$  орошения насадки жидкостью [8-16].

31. Коэффициент сопротивления орошаемой насадки, как упорядоченной, так и неупорядоченной, до начала подвисания жидкости, т. е. при скорости  $w_1 \approx w_{1,пр}$  примерно до  $A = 50 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ , может быть приближенно вычислен на основании данных Н. М. Жаворонкова [8-16]

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \zeta_{сух} (1 + \tau' A), \quad (8-18)$$

где  $\zeta_{сух}$  — коэффициент сопротивления сухой насадки, определяемый, как  $\zeta$  на основании формул (8-7) — (8-17);  $A$  — плотность орошения насадки жидкостью,  $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $\tau'$  — коэффициент,

\*<sup>1</sup> Подробнее о геометрии и сопротивлении зернистых слоев и слоев из тел нерегулярной формы см. работу М. Э. Азрова и О. М. Тодеса [8-3].

учитывающий влияние типа насадки на увеличение сопротивления из-за орошения (см. диаграммы 8-12—8-14);  $w_{1пр}$  — предельная скорость газового потока в свободном сечении аппарата (перед насадкой), при которой начинается подвигание или захлебывание жидкости (см. диаграммы 8-12—8-14).

32. Сопротивление насадок при работе их на запыленном газе может резко возрасти (в 2—3 раза и более), что следует иметь в виду при их гидравлическом расчете.

33. Если прохождение газа через насадку сопровождается охлаждением или нагреванием его, то общий коэффициент сопротивления должен включать дополнительный элемент  $\Delta\zeta_t$ , учитывающий потерю давления на ускорение (замедление) потока в пределах слоя (препятствия) вследствие уменьшения (увеличения) плотности рабочей среды [8-43]:

$$\zeta_x \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{1cp}^2 / 2} = \zeta + \Delta\zeta_t,$$

где  $\zeta$  определяется по формулам (8-7)—(8-18);

$$\Delta\zeta_t = 2(T_{вых} - T_{вх}) / T_{cp}$$

(в случае нагрева  $\Delta\zeta_t$  положительно, а в случае охлаждения  $\Delta\zeta_t$  отрицательно);

$$w_{1cp} = w_1 T_{cp} / T_{вх}; \quad T_{cp} = (T_{вх} + T_{вых}) / 2;$$

$$\rho_{cp} = 273\rho_0 / T_{cp}; \quad Re_{1r} = w_{1cp} d_r / \nu;$$

$w_{1cp}$  — скорость потока перед фронтом препятствия, взятая по среднеарифметической температуре  $T_{cp}$  потока вдоль этого препятствия, м/с;  $\rho_0$  и  $\rho_{cp}$  — плотность протекающей среды соответственно при  $T = 273$  К и подсчитанного по среднеарифметической температуре  $T_{cp}$  потока вдоль препятствия, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  принимается в зависимости от среднеарифметической температуры  $T_{cp}(t_{cp})$ .

34. Для сухой очистки газа (воздуха) от высокодисперсной пыли широко применяются тканевые фильтры. В отличие от ткани, через которую проходит чистый (незапыленный) газ, сопротивление фильтрующей ткани при запыленном газе возрастает со временем. Это объясняется тем, что поры ткани со стороны входа запыленного газа заполняются частицами пыли и образуют в порах и на поверхности ткани «вторичную» пористую перегородку. По мере забивания пор ткани частицами пыли и увеличения толщины ее слоя на поверхности сопротивление фильтрующей пористой среды (ткани и пыли) возрастает.

35. Сопротивление запыленной фильтрующей ткани предлагается [8-18] рассматривать состоящим из двух частей:  $\Delta p'$  — сопротивления, обусловленного неудаляемым запылением ткани, и  $\Delta p''$  — сопротивления слоя пыли, удаляемого при периодических процессах очистки ткани.

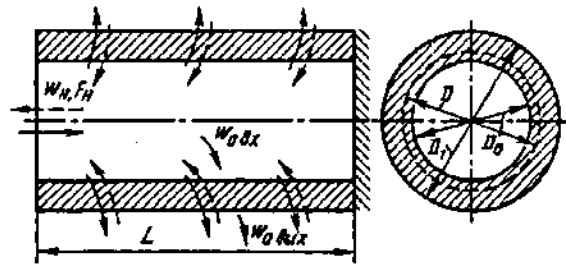


Рис. 8-5. Слоевой (пористый) цилиндр

На основании этого Г. М. Гордон и И. А. Аладжалов [8-12] рекомендуют вычислять общее сопротивление запыленной ткани по следующей формуле:

$$\Delta p = (A_2 + B_2 p_a) \eta w_1,$$

где  $A_2$  — экспериментальный коэффициент, зависящий от вида пыли, типа ткани и степени запыленности<sup>\*1</sup>;  $B_2$  — экспериментальный коэффициент, зависящий от насыпной плотности пыли и проницаемости слоя пыли;  $p_a$  — удельная масса периодически удаленного слоя, кг/м<sup>2</sup>;  $w_1$  — скорость фильтрации (удельная нагрузка на ткань), м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

36. В некоторых случаях сопротивление запыленной ткани [8-50]

$$\Delta p = (A_3 + A'_3) q^m,$$

где  $A_3$  и  $A'_3$  — коэффициенты пропорциональности, зависящие от вида пыли, типа ткани и степени запыленности;  $q = Q/F_1$  — удельная нагрузка на ткань, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);  $m$  — экспериментально определяемая величина.

37. Пористый материал, применяемый в контактных, фильтрующих и других аппаратах, часто оформляется в виде цилиндрического слоя (рис. 8-5). Удельные потери, т. е. потери давления, приходящиеся на единицу толщины слоя пористого цилиндра при данном расходе жидкости (газа), меняются в зависимости от толщины стенок цилиндра. В случае истечения потока наружу скорость в направлении истечения падает вместе с возрастанием площади поверхности (из-за диффузорного эффекта) цилиндрического слоя, а следовательно, удельные потери уменьшаются. При всасывании имеет место обратное явление (конфузорный эффект).

38. Применительно к цилиндрическому слою формула (8-7) приобретает [8-20, 8-21, 8-25] следующий вид:

$$\zeta_{вх} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{0вх}^2 / 2} = \frac{f(1-\varepsilon') D_0}{\varepsilon'^3 d_p} \times \left[ \frac{180(1-\varepsilon')}{Re_{вх}} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{f B' D_0}{2 D_1} \left( \frac{D_1}{D_0} - 1 \right) \right]$$

<sup>\*1</sup> Некоторое уточнение коэффициентов  $A_2$  и  $B_2$  см. работу А. Ф. Григорьева [8-13].

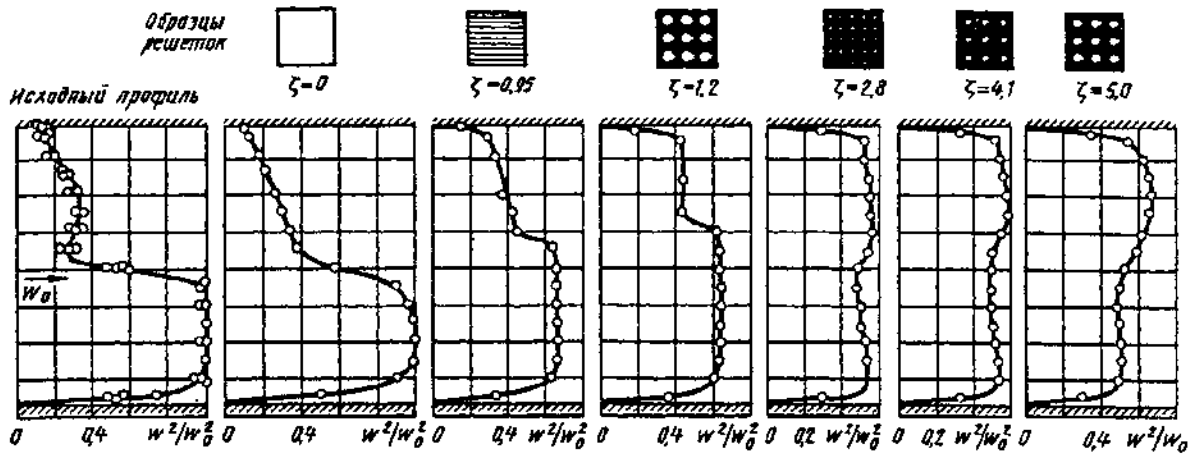


Рис. 8-6. Поток с регулярной неравномерностью (по данным Таганова)

и

$$\zeta_{\text{вмх}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{\text{вмх}}^2 / 2} = \frac{f(1-\varepsilon') D_1}{\varepsilon'^3 d_s} \times \left[ \frac{180(1-\varepsilon')}{\text{Re}_{\text{вмх}}} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{fB'}{2} \left( \frac{D_1}{D_0} - 1 \right) \right],$$

а формулы (8-10) и (8-11) при  $\text{Re}_r < 3$  соответственно

$$\zeta_{\text{вх}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{\text{вх}}^2 / 2} = \frac{90}{\text{Re}_{r \text{ вх}}} \cdot \frac{D_0}{d_r} \ln \frac{D_1}{D_0}$$

или

$$\zeta_{\text{вмх}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{\text{вмх}}^2 / 2} = \frac{90}{\text{Re}_{r \text{ вмх}}} \cdot \frac{D_1}{d_r} \ln \frac{D_1}{D_0};$$

$$3 < \text{Re}_r < 1000;$$

$$\zeta_{\text{вх}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{\text{вх}}^2 / 2} = \frac{82}{\text{Re}_{r \text{ вх}}} \cdot \frac{D_0}{d_r} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{4,31}{\text{Re}_{r \text{ вх}}^{0,11}} \cdot \frac{D_1^{0,89}}{d_r D_1^{0,89}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_0} \right)^{0,89} - 1 \right]$$

или

$$\zeta_{\text{вмх}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_{\text{вмх}}^2 / 2} = \frac{82}{\text{Re}_{r \text{ вмх}}} \cdot \frac{D_1}{d_r} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{4,31}{\text{Re}_{r \text{ вмх}}^{0,11}} \cdot \frac{D_1}{d_r} \left[ \left( \frac{D_1}{D_0} \right)^{0,89} - 1 \right],$$

где  $\text{Re}_{r \text{ вх}} \equiv \frac{w_{0 \text{ вх}} d_s}{\nu}$ ;  $\text{Re}_{r \text{ вмх}} \equiv \frac{w_{0 \text{ вмх}} d_s}{\nu}$ ;

$\text{Re}_{r \text{ вх}} \equiv \frac{w_{0 \text{ вх}} d_r}{\nu}$ ;  $\text{Re}_{r \text{ вмх}} \equiv \frac{w_{0 \text{ вмх}} d_r}{\nu}$ ;  $w_{0 \text{ вх}}$ ,  $w_{0 \text{ вмх}}$  —

средние скорости потока в живом сечении (просвете) слоя на входе и на выходе из слоя, м/с.

39. Формулы не учитывают некоторую разницу в сопротивлении цилиндрического слоя для случаев истечения и всасывания. В первом случае (когда наблюдается диффузорный эффект) коэффициент сопротивления, приведен-

ный к одной и той же скорости, меньше, чем во втором случае (когда наблюдается конфузорный эффект). При не очень большой относительной толщине слоя эта разница может достигнуть 20% и более.

40. Если скорости по сечению распределены неравномерно, то препятствия, равномерно распределенные по сечению канала, оказывают выравнивающее действие на набегающий поток. Создавая сопротивление, препятствия (различные решетки, сетки, слои сыпучих или кусковых материалов, ткани и т. п.) заставляют набегающую среду (жидкость, газ) растекаться по фронту данного препятствия и одновременно пересекать его через проходные отверстия (каналы).

41. Степень выравнивающего действия препятствий указанных видов зависит от их геометрических параметров (коэффициента живого сечения, относительной толщины слоя и т. д.). Поскольку эти параметры определяют коэффициент сопротивления препятствия, то в результате степень выравнивающего действия (степень растекания среды) является функцией коэффициента сопротивления. Чем больше коэффициент сопротивления препятствия, тем выше степень растекания среды по его фронту. Однако плоские (тонкостенные) решетки, как перфорированные листы, проволоочные и другие сетки, ткань и т. п., в отличие от пространственных препятствий (слои сыпучих или кусковых материалов, трубчатые решетки и т. п.) обладают особенностями: после достижения определенного (предельного или «критического») значения коэффициента сопротивления в сечениях на конечном расстоянии за плоской решеткой скорости получается «перевернутым» («обращенным»), т. е. наблюдается такая неравномерность потока, при которой максимум скорости за решеткой соответствует минимуму скорости перед ней, и наоборот (рис. 8-6) [8-20, 8-21, 8-28, 8-29].

42. Указанное объясняется следующим. При растекании среды по фронту решетки линии



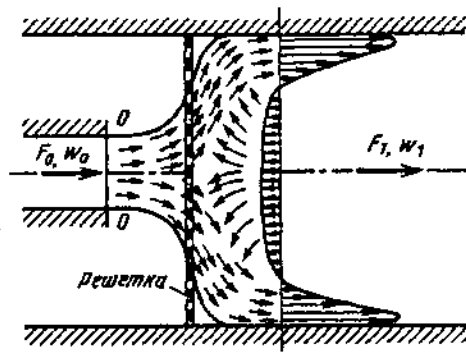


Рис. 8-7. Схема набегания узкой струи на решетку в трубе

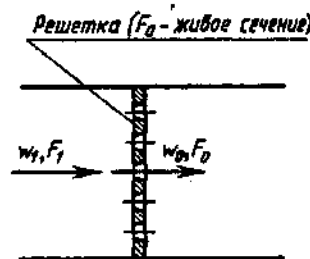
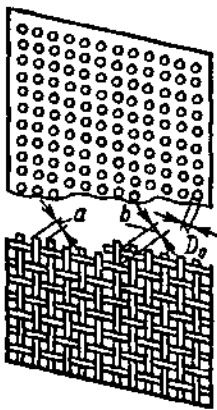
тока искривляются. Поскольку решетка тонкостенная, т. е. ее отверстия не имеют направляющих поверхностей, то поперечное (радиальное) направление линий тока неизбежно

сохраняется и после протекания среды через отверстия. Однако это вызывает дальнейшее растекание среды, т. е. ее перемещение в радиальном направлении. Чем больше коэффициент сопротивления решетки, тем резче искривление линий тока при растекании струи по ее фронту, а следовательно, тем значительнее отклонение к периферии струек, выходящих из отверстий решетки. При увеличении коэффициента сопротивления решетки до определенного значения наступает момент, когда все струи отклоняются к периферии, следуя дальше поступательно только вдоль стенки канала, в то время как в центральной части сечения уже не только нет поступательной скорости, но появляется обратный поток, увлекаемый периферийными струями (рис. 8-7). Таким образом, за решеткой получается указанный выше «перевернутый» профиль скорости [8-20, 8-21].

## 8-2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Решетка из перфорированных листов или полосок (плоская) при острых краях отверстий ( $l/d_r = 0 \div 0,015$ );  $Re = w_0 d_r / \nu > 10^5$ ; [8-22—8-24, 8-26, 8-30]\*<sup>1</sup>

Диаграмма 8-1



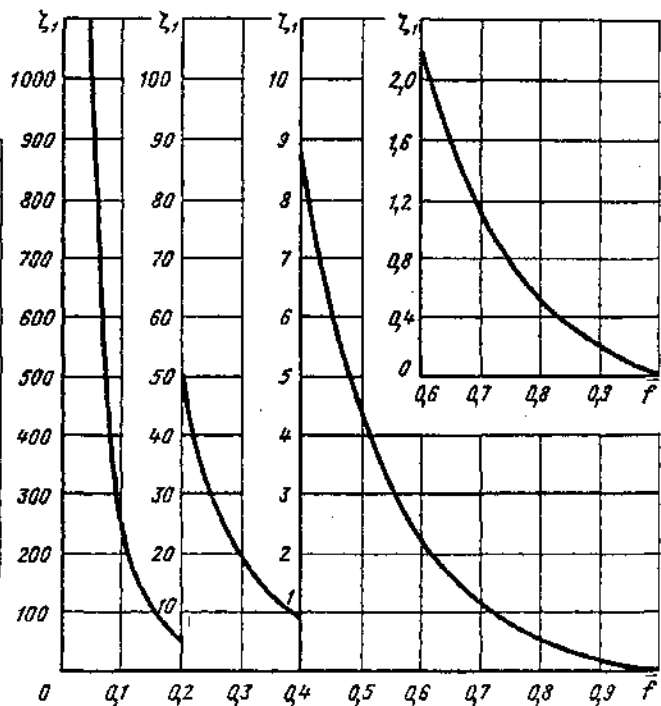
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = [0,707(1 - \bar{f})^{0,375} + 1 - \bar{f}]^2 \frac{1}{\bar{f}^2} = f(\bar{f})$$

см. таблицу и график.

$$d_r = 4f_{отв} / \Pi_0; \quad \bar{f} = F_0 / F_1 = \Sigma f_{отв} / F_1,$$

$f_{отв}$  — площадь одного отверстия;  $F_0$  — площадь живого сечения решетки;  $\Pi_0$  — периметр отверстия

$\bar{f}$	$\zeta$	$\bar{f}$	$\zeta$	$\bar{f}$	$\zeta$
0,02	7083	0,22	41,8	0,50	4,37
0,03	3089	0,24	33,8	0,52	3,81
0,04	1716	0,26	27,7	0,55	3,10
0,05	1082	0,28	23,0	0,60	2,24
0,06	733	0,30	19,2	0,65	1,60
0,08	402	0,32	16,2	0,70	1,13
0,10	250	0,34	13,8	0,75	0,79
0,12	168	0,36	11,8	0,80	0,54
0,14	119	0,38	10,1	0,85	0,34
0,16	88,1	0,40	8,75	0,90	0,19
0,18	67,2	0,42	7,57	0,95	0,09
0,20	52,6	0,45	6,12	1,00	0
		0,47	5,31		



\*<sup>1</sup> Формулы автора, приведенные на диаграммах 8-1—8-4, несколько уточнены (см. четвертый раздел).

Решетка со срезанными по потоку краями отверстий  
или решетка из уголков, поставленных вершинами к потоку;  
 $Re = w_0 d_r / \nu > 10^4$ ; [8-22—8-24, 8-26. 8-30]

Диаграмма  
8-2

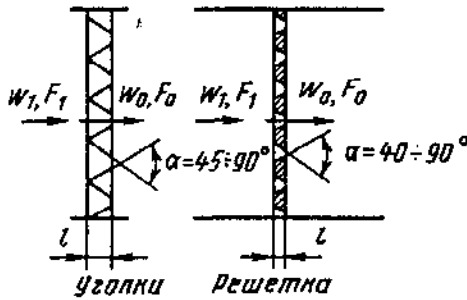
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = [\sqrt{\zeta'} (1 - \bar{f})^{0,375} + (1 - \bar{f})]^2 / \bar{f}^2,$$

где  $\zeta' = f(l/d_r)$  см. таблицу или график а диаграммы  
4-13;  $\zeta = f(\bar{f}, l/d_r)$  см. график

$$d_r = 4f_{отв} / \Pi_0;$$

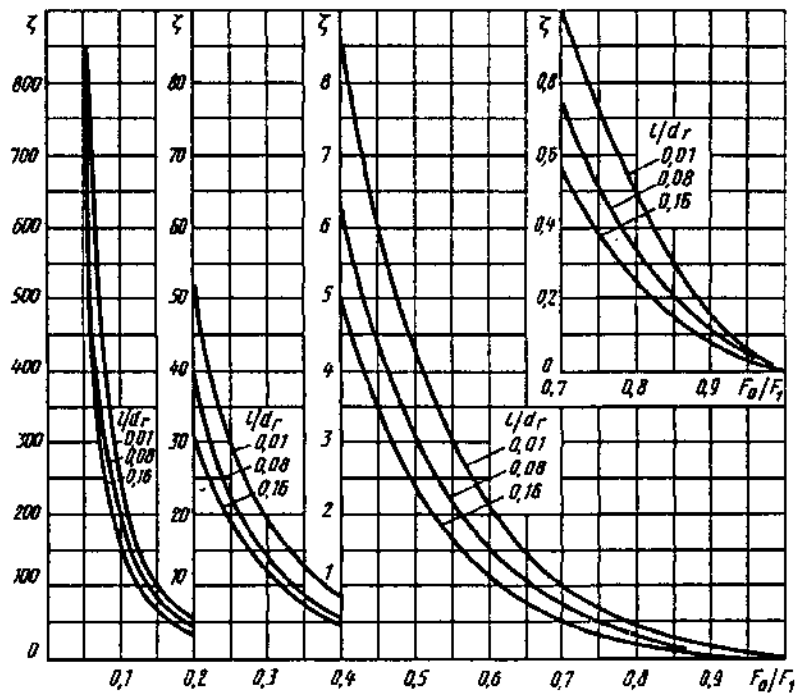
$$\bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \Sigma f_{отв} / F_1,$$

$f_{отв}$  — площадь одного отверстия;  
 $F_0$  — площадь живого сечения решетки;  
 $\Pi_0$  — периметр отверстия

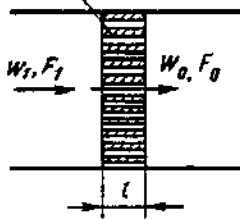


Значения  $\zeta$

$l/d_r$	$\zeta'$	$\bar{f}$															
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
0,01	0,46	6840	1656	708	388	241	98,2	50,7	29,5	18,5	8,39	4,18	2,13	1,08	0,51	0,18	0
0,02	0,42	6592	1598	682	374	232	94,5	48,7	28,4	17,8	8,05	4,00	2,03	1,02	0,48	0,17	0
0,03	0,38	6335	1535	655	360	223	90,6	46,7	27,2	17,0	7,69	3,80	1,93	0,97	0,45	0,16	0
0,04	0,35	6140	1488	635	348	216	87,7	45,2	26,2	16,4	7,40	3,66	1,84	0,92	0,43	0,15	0
0,06	0,29	5737	1387	592	325	201	81,5	41,9	24,4	15,2	6,83	3,35	1,68	0,83	0,38	0,13	0
0,08	0,23	5300	1281	546	300	185	75,0	38,5	22,3	13,9	6,20	3,02	1,51	0,74	0,33	0,11	0
0,12	0,16	4748	1147	488	267	165	66,7	34,1	19,7	12,2	5,40	2,61	1,29	0,62	0,27	0,09	0
0,16	0,13	4477	1081	460	251	155	62,7	32,0	18,4	11,4	5,02	2,42	1,18	0,56	0,24	0,08	0



Решетка ( $F_0$ -живое сечение)



$$\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = [0,5(1-\bar{f})^{0,75} + \tau(1-\bar{f})^{1,375} + (1-\bar{f})^2 + \lambda l/d_r] / \bar{f}^2,$$

где  $\tau$  см. таблицу, или по формуле

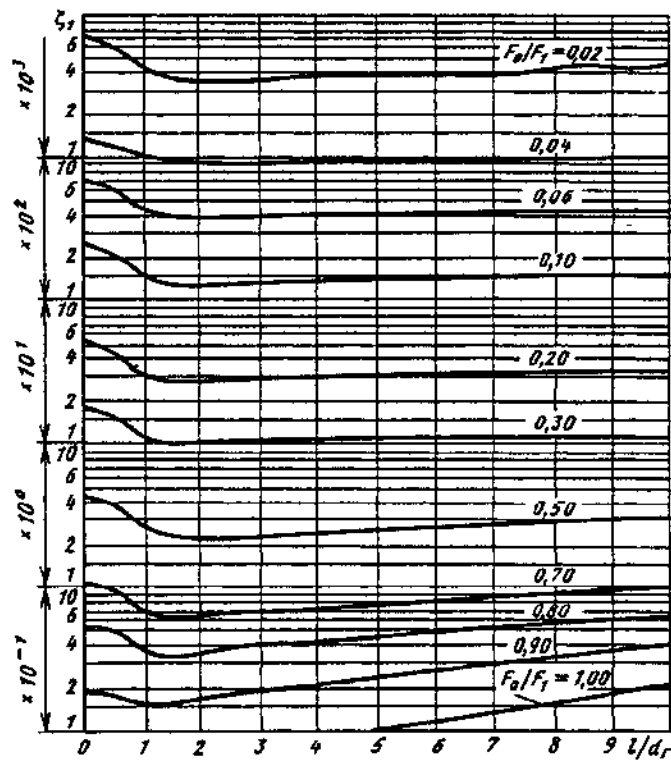
$$\tau = (2,4 - T)^{-\varphi(T)},$$

$$\varphi(T) = 0,25 + 0,535 T^8 / (0,05 + T^7);$$

$\lambda$  см. второй раздел. При  $\lambda = 0,02$  значения  $\zeta_1 = f(T, \bar{f})$  см. таблицу и график

$$d_r = 4f_{отв} / \Pi_0; \bar{f} = F_0 / F_1 = \Sigma f_{отв} / F_1; T = l/d_r,$$

$f_{отв}$  — площадь одного отверстия;  $F_0$  — площадь живого сечения решетки;  $\Pi_0$  — периметр отверстия



Значения  $\zeta_1$  при  $\lambda = 0,02$

$T = \frac{l}{d_r}$	$\tau$	$\bar{f}$															
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0	1,35	6915	1676	716	394	244	99,5	51,4	30,0	18,8	8,56	4,27	2,19	1,11	0,53	0,19	0
0,2	1,22	6613	1602	684	376	233	95,0	49,0	28,6	18,0	8,17	4,08	2,09	1,07	0,51	0,19	0
0,4	1,10	6227	1533	655	360	223	91,0	47,0	27,4	17,2	7,83	3,92	2,01	1,03	0,50	0,19	0,01
0,6	0,84	5708	1382	591	324	201	81,9	42,3	24,6	15,5	7,04	3,53	1,82	0,94	0,46	0,18	0,01
0,8	0,42	4695	1137	486	266	165	67,2	34,6	20,2	12,7	5,77	2,90	1,50	0,78	0,39	0,16	0,02
1,0	0,24	4268	1033	441	242	150	61,0	31,4	18,3	11,5	5,24	2,64	1,37	0,72	0,37	0,16	0,02

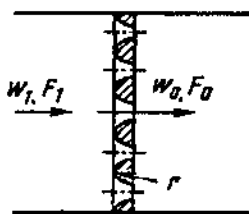
Решетка из утолщенных реек или перфорированная плита  
( $l/d_r > 0,015$ );  $Re = w_0 d_r / \nu \geq 10^5$ ; [8-22—8-24, 8-26, 8-30]

Диаграмма  
8-3

$l/d_r$	$\tau$	$J$															
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1,4	0,10	3948	956	408	224	139	56,4	29,1	17,0	10,7	4,86	2,45	1,29	0,68	0,36	0,16	0,03
2,0	0,02	3783	916	391	215	133	54,1	27,9	16,3	10,2	4,68	2,38	1,26	0,68	0,36	0,17	0,04
3,0	0	3783	916	391	215	133	54,3	28,0	16,4	10,3	4,75	2,43	1,30	0,71	0,39	0,20	0,06
4,0	0	3833	929	397	218	135	55,2	28,6	16,7	10,6	4,88	2,51	1,35	0,75	0,42	0,22	0,08
5,0	0	3883	941	402	221	137	56,0	29,0	17,0	10,8	5,00	2,59	1,41	0,79	0,45	0,24	0,10
6,0	0	3933	954	408	224	139	56,9	29,6	17,4	11,0	5,12	2,67	1,46	0,83	0,48	0,27	0,12
7,0	0	3983	966	413	227	141	57,8	30,0	17,7	11,2	5,25	2,75	1,52	0,87	0,51	0,29	0,14
8,0	0	4033	979	419	231	143	58,7	30,6	18,0	11,4	5,38	2,83	1,57	0,91	0,54	0,32	0,16
9,0	0	4083	991	424	234	145	59,6	31,0	18,3	11,6	5,50	2,91	1,63	0,95	0,58	0,34	0,18
10,0	0	4133	1004	430	237	147	60,5	31,6	18,6	11,9	5,62	3,00	1,68	0,99	0,61	0,37	0,20

Решетка с закругленными краями отверстий;  
 $Re = w_0 d_r / \nu > 3 \cdot 10^3$  [8-22—8-24, 8-26, 8-30]

Диаграмма  
8-4



$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = [\sqrt{\zeta'} (1 - \bar{f})^{0,75} + (1 - \bar{f})]^2 / \bar{f}^2$$

см. график,

где  $\zeta'$  см. таблицу ниже, график б диаграммы 4-13, или по формуле

$$\zeta' = 0,03 + 0,47 \cdot 10^{-7,7\bar{r}}; \quad \bar{r} = r/d_r$$

$$d_r = 4f_{отв} / \Pi_0; \quad \bar{f} = F_0 / F_1 = \Sigma f_{отв} / F_1;$$

$f_{отв}$  — площадь одного отверстия;  $F_0$  — площадь живого сечения решетки;  $\Pi_0$  — периметр отверстия

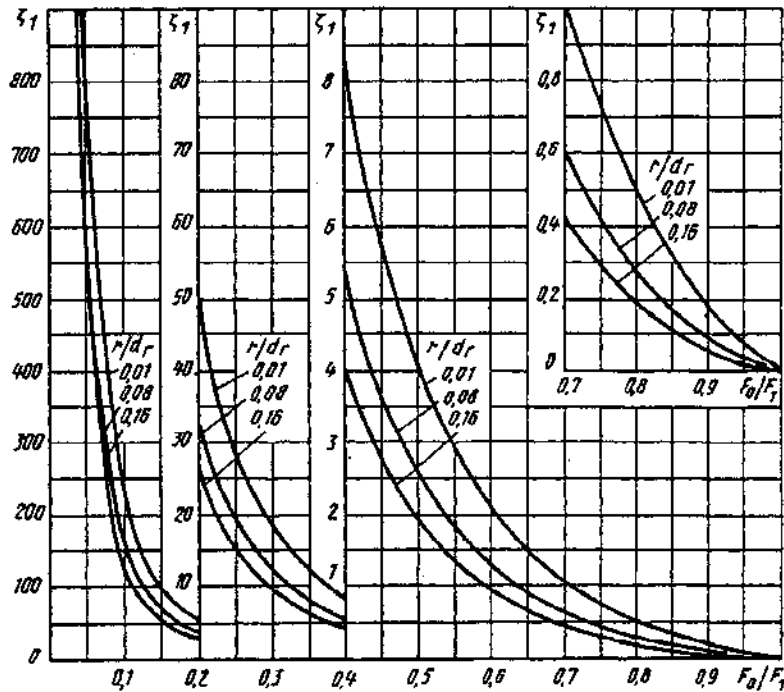
Значения  $\zeta_1$

$\bar{r} = r/d_r$	$\zeta'$	$J$									
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
0,01	0,44	6717	1628	695	382	236	96,4	49,7	29,0	18,2	12,0
0,02	0,37	6273	1520	648	356	221	89,7	46,2	26,9	16,8	11,1
0,03	0,31	5875	1421	607	332	206	83,6	43,0	25,0	15,6	10,3
0,04	0,26	5520	1336	570	312	193	78,3	40,2	23,4	14,6	9,54
0,06	0,19	4982	1206	513	281	174	70,3	36,0	20,8	12,9	8,46
0,08	0,15	4657	1125	479	262	162	65,3	33,4	19,3	12,0	7,80
0,12	0,09	4085	986	420	229	141	56,8	29,0	16,6	10,2	6,65
0,16	0,06	3745	902	384	210	129	51,8	26,3	15,0	9,26	5,99

Решетка с закругленными краями отверстий;  
 $Re = w_0 d_r / \nu > 3 \cdot 10^3$  [8-22—8-24, 8-26, 8-30]

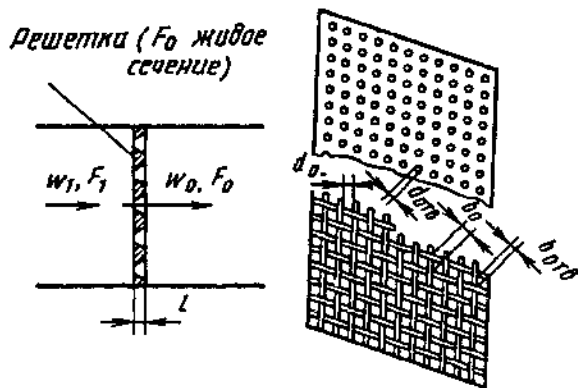
Диаграмма  
8-4

$\bar{r} = r/d_r$	$\zeta'$	$\bar{f}$										
		0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,0
0,01	0,44	8,24	5,75	4,10	2,91	2,08	1,49	1,05	0,73	0,49	0,18	0
0,02	0,37	7,59	5,29	3,75	2,65	1,90	1,35	0,95	0,66	0,44	0,15	0
0,03	0,31	7,01	4,87	3,45	2,43	1,74	1,23	0,86	0,59	0,40	0,14	0
0,04	0,26	6,51	4,51	3,19	2,24	1,60	1,13	0,79	0,54	0,36	0,12	0
0,06	0,19	5,76	3,97	2,79	1,96	1,38	0,97	0,67	0,46	0,30	0,10	0
0,08	0,15	5,29	3,63	2,55	1,78	1,25	0,88	0,60	0,41	0,26	0,08	0
0,12	0,09	4,48	3,06	2,14	1,48	1,03	0,71	0,48	0,33	0,21	0,06	0
0,16	0,06	4,02	2,73	1,90	1,31	0,91	0,62	0,42	0,28	0,17	0,05	0



Решетки с различными формами краев отверстий, переходная и ламинарные области течения ( $Re = \frac{w_0 d_r}{\nu} < 10^4 \div 10^5$ ) [8-30]

Диаграмма  
8-5



$$d_r = 4f_{отв} / \Pi_0; \quad \bar{f} = F_0 / F_1 = \Sigma f_{отв} / F_1;$$

$f_{отв}$  — площадь одного отверстия;  $F_0$  — площадь живого сечения решетки;  $\Pi_0$  — периметр отверстия

1.  $30 < Re < 10^4 \div 10^5$ :

$$\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \zeta_{\phi} / \bar{f}^2 + \bar{\epsilon}_{0Re} \zeta_{1кв};$$

2.  $10 < Re < 30$ :

$$\zeta_1 = 33 / (Re \cdot \bar{f}^2) + \bar{\epsilon}_{0Re} \zeta_{1кв};$$

3.  $Re < 10$ :

$$\zeta_1 = 33 / (Re \cdot \bar{f}^2),$$

где  $\zeta_{\phi} = f_1(Re, F_1/F_0)$  и  $\bar{\epsilon}_{0Re} = f_2(Re)$  см. таблицы, график или по формулам ниже;  $\zeta_{1кв}$  определяется, как  $\zeta_1$  при  $Re > 10^4 \div 10^5$ , по диаграммам 8-1—8-4;  $\zeta_{\phi} = [18,78 - 7,768/\bar{f} + 6,337/\bar{f}^2] \exp\{(-0,942 - 7,246\bar{f} - 3,878\bar{f}^2) \lg Re\}$

Решетки с различными формами краев отверстий, переходная и ламинарные области течения ( $Re = \frac{w_0 d_c}{\nu} < 10^4 \div 10^5$ ) [8-30]

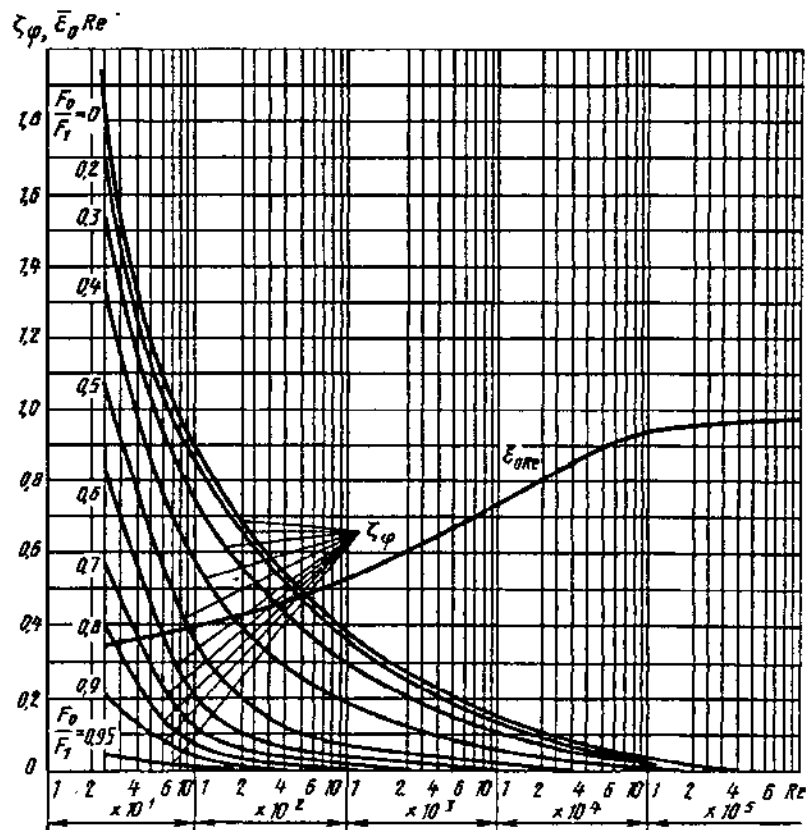
Диаграмма  
8-5

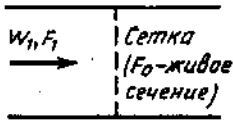
Re	10	20	30	40	60	80	$10^2$	$2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$10^3$	$2 \cdot 10^3$
$\bar{\epsilon}_{0Re}$	0,34	0,35	0,36	0,37	0,40	0,43	0,45	0,52	0,58	0,62	0,65	0,69

Re	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$10^4$	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
$\bar{\epsilon}_{0Re}$	0,74	0,76	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,95	0,98	1,0

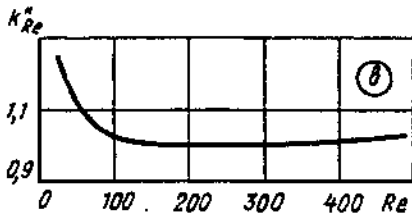
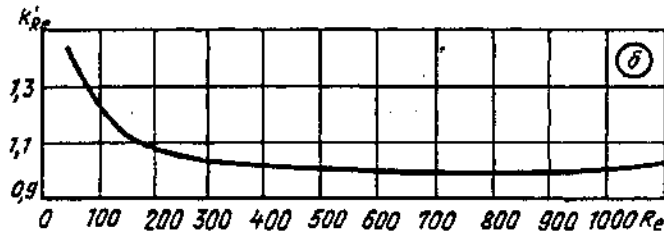
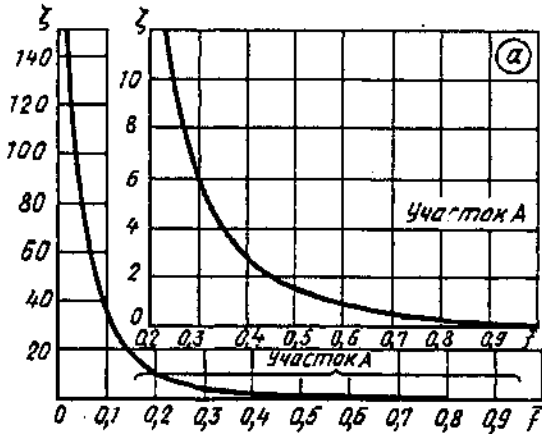
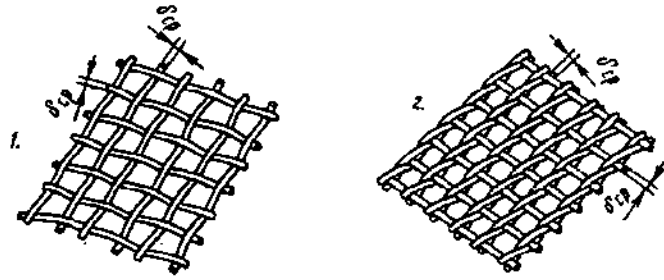
Значения  $\zeta_0$

$F_0/F_1$	Re												
	25	40	60	$10^2$	$2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	$10^3$	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$10^4$	$2 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$
0	1,94	1,38	1,14	0,89	0,69	0,64	0,39	0,30	0,22	0,15	0,11	0,04	0,01
0,2	1,78	1,36	1,05	0,85	0,67	0,57	0,36	0,26	0,20	0,13	0,09	0,03	0,01
0,3	1,57	1,16	0,88	0,75	0,57	0,43	0,30	0,22	0,17	0,10	0,07	0,02	0,01
0,4	1,35	0,99	0,79	0,57	0,40	0,28	0,19	0,14	0,10	0,06	0,04	0,02	0,01
0,5	1,10	0,75	0,55	0,34	0,19	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
0,6	0,85	0,56	0,30	0,19	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0	0	0
0,7	0,58	0,37	0,23	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01	0	0	0	0	0
0,8	0,40	0,24	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0
0,9	0,20	0,13	0,08	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,95	0,03	0,03	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





$$\bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\sum f_{отв}}{F_1}$$



1. Из металлической проволоки

$$Re = w_0 \delta_{оп} / \nu \geq 10^3:$$

$$\zeta_{оп} = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = 1,3(1 - \bar{f}) + (1/\bar{f} - 1)^2$$

см. график а;

$$50 < Re < 10^3: \zeta_{Re} = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = k'_{Re} + \zeta_{оп};$$

$$Re < 50: \zeta_{Re} \approx 22/Re + \zeta_{оп},$$

где  $k'_{Re}$  см. график б.

Для  $n_c$  рядов последовательно установленных сеток

$$\zeta_c = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} \approx \sum_{i=1}^{n_c} \zeta_i$$

или

$$\zeta_c \approx \sum_{i=1}^{n_c} \zeta_{Rei}$$

2. Из шелковых нитей

$$Re > 500: \zeta_{ш} = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = 1,62 \zeta_{оп};$$

$$40 < Re < 500: \zeta_{Re} = k''_{Re} \zeta_{ш};$$

$$Re < 40: \zeta_{Re} \approx 7/Re + \zeta_{ш},$$

где  $k''_{Re}$  см. график в

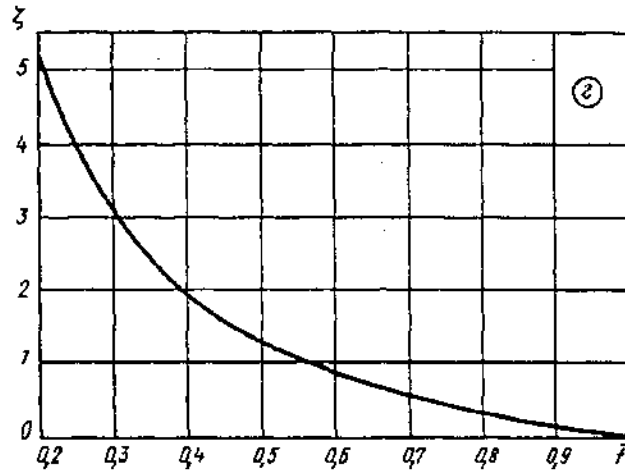
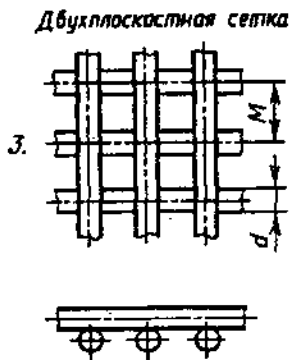
$\bar{f}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
$\zeta_{оп}$	363	82,0	33,4	17,0	10,0	6,20	4,10	3,00	2,20
$\bar{f}$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00
$\zeta_{оп}$	1,65	1,26	0,97	0,75	0,58	0,44	0,32	0,14	0,00

Re	50	100	150	200	300	400	500	1000	1200
$k'_{Re}$	1,44	1,24	1,13	1,08	1,03	1,01	1,01	1,00	1,02

Re	40	80	120	300	350	400	500
$k''_{Re}$	1,16	1,05	1,01	1,00	1,01	1,01	1,03

Сетки [8-24, 8-26, 8-34, 8-49]

Диаграмма 8-6



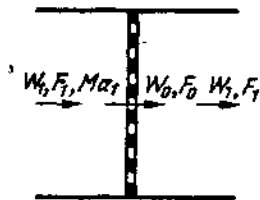
3. Двухплоскостная сетка из прутков круглого поперечного сечения

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = 1,28 \frac{1 - \bar{f}}{\bar{f}}$$

$\bar{f}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
$\zeta$	5,12	2,99	1,92	1,28	0,85	0,55	0,32	0,14	0,07

Решетки и сетки при больших дозвуковых скоростях потока (большие числа Маха) [8-63]

Диаграмма 8-7



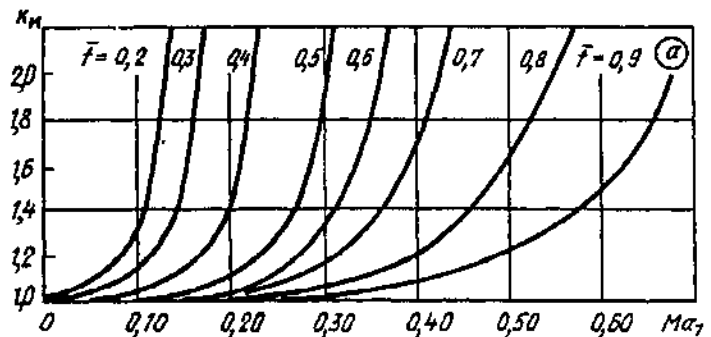
Решетки с острыми кромками входа в отверстия:

$$\zeta_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = k_m \zeta,$$

где  $\zeta$  см. при  $Ma_1 \approx 0$  по диаграмме 8-1;  $k_m = f(Ma_1)$  при различных  $\bar{f}$  приближенно см. график а. Решетки с закругленными или срезанными по потоку отверстиями сетки:

$$\zeta_m = k'_m \zeta,$$

где  $\zeta$  см. при  $Ma_1 \approx 0$  соответственно по диаграммам 8-2, 8-4 и 8-6;  $k'_m = f(Ma_1)$  при различных  $\bar{f}$  для решеток ориентировочно см. график б;  $Ma_1 = w_1 / a_1$  — число Маха перед фронтом решетки (сетки)





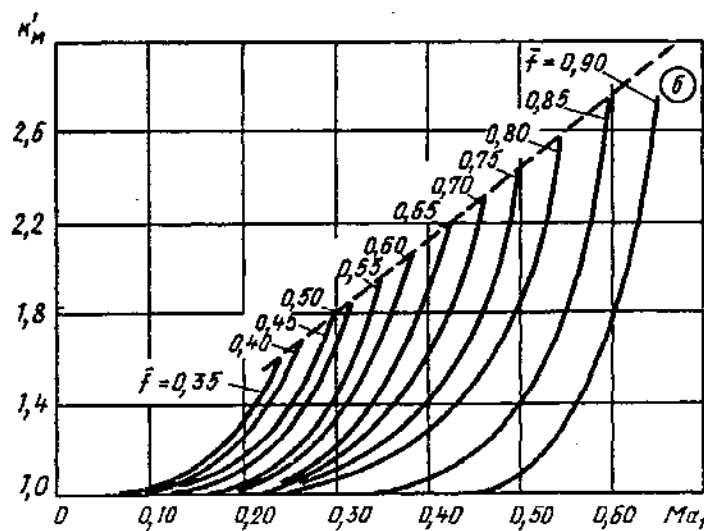
Решетки и сетки при больших дозвуковых скоростях потока (большие числа Маха) [8-67]	Диаграмма 8-7
--	------------------

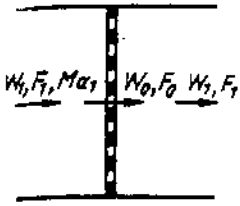
Значения  $k_{\alpha}$

$f$	$Ma_1$													
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
0,2	1,00	1,09	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	1,00	1,03	1,13	1,51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,4	1,00	1,00	1,03	1,14	1,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	1,00	1,00	1,00	1,03	1,10	1,27	1,85	—	—	—	—	—	—	—
0,6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	1,12	1,30	1,77	—	—	—	—	—	—
0,7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,08	1,16	1,35	1,68	—	—	—	—	—
0,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,03	1,07	1,12	1,20	1,37	1,63	2,01	—	—
0,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,04	1,07	1,13	1,21	1,33	1,50	1,75

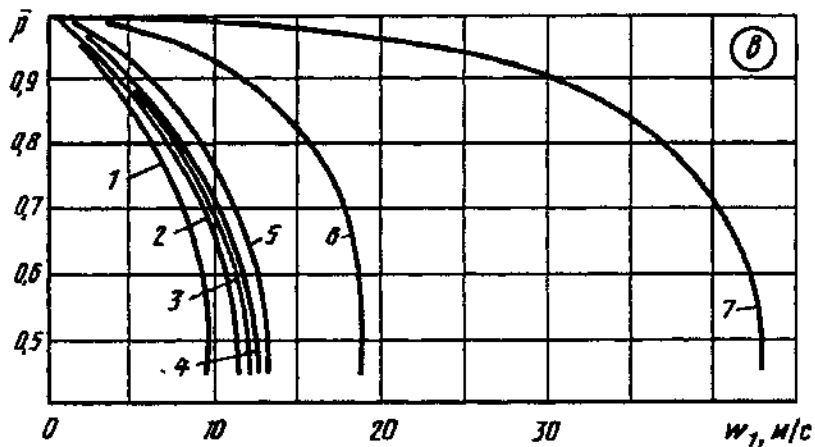
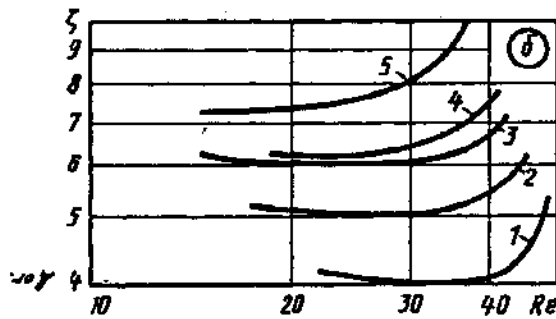
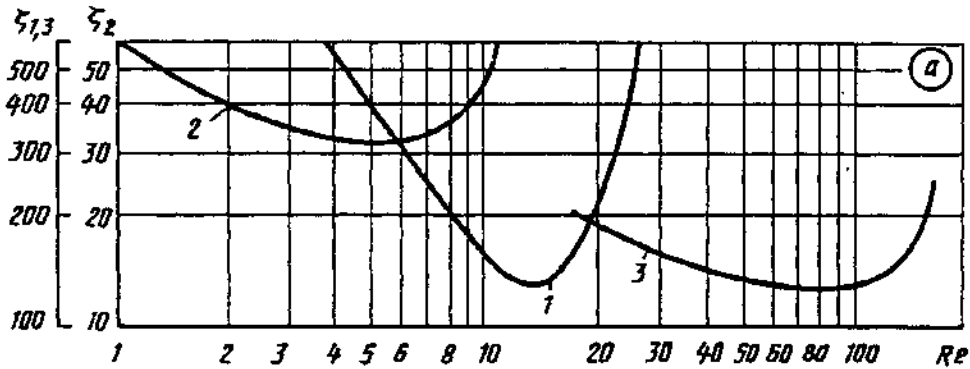
Значения  $k'_{\alpha}$

$f$	$Ma_1$													
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
0,35	1,00	1,01	1,04	1,12	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,40	1,00	1,00	1,02	1,10	1,25	1,55	—	—	—	—	—	—	—	—
0,45	1,00	1,00	1,01	1,07	1,19	1,40	1,82	—	—	—	—	—	—	—
0,50	1,00	1,00	1,00	1,04	1,13	1,30	1,64	—	—	—	—	—	—	—
0,55	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	1,17	1,42	1,93	—	—	—	—	—	—
0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,11	1,32	1,68	—	—	—	—	—	—
0,65	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,07	1,22	1,47	1,90	—	—	—	—	—
0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,16	1,33	1,60	2,12	—	—	—	—
0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,12	1,23	1,42	1,73	2,40	—	—	—
0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,06	1,15	1,28	1,49	1,81	—	—	—
0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,08	1,20	1,40	1,80	2,71	—
0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,08	1,32	1,75	2,65





$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2}$  см. кривые  $\zeta = f(Re)$  графиков а и б;  $\bar{p} = p_2 / p_1$  см. кривые  $\bar{p} = f(w_1)$  графика в;  $Re = w_1 \delta / \nu$



Наименование	Средний диаметр нити (зерна) $\delta$ , мм	Толщина фильтра, мм	График (№ кривой)	
			$\zeta = f(Re)$	$\bar{p} = f(w_1)$
Металлическая сетка 685/6250	0,048 (основа — 32 мкм, два утка по 64 мкм) $\delta = \frac{\delta_{ут} + \delta_{осн}}{2}$	0,128	a(1)	a(7)

Фильтрующие материалы при больших давлениях среды (незагрязненные) [8-58]	Диаграмма 8-8
--	------------------

Наименование	Средний диаметр нити (зерна) $\delta$ , мм	Толщина фильтра, мм	График (№ кривой)	
			$\zeta = f(Re)$	$\bar{p} = f(w_1)$
Замша черная ГОСТ 3717—84	0,024	1,5	a(2)	a(2)
Капроновые комплекс- ные нити полотняного переплетения (материал 23759)	0,300	0,275	a(3)	a(6)
Порошковый материал	0,100	1	b	b
		2	(1)	(1 и 5)
		3	(2)	(4)
		4	(3)	(3)
		5	(4)	(3)

Значения  $\zeta$

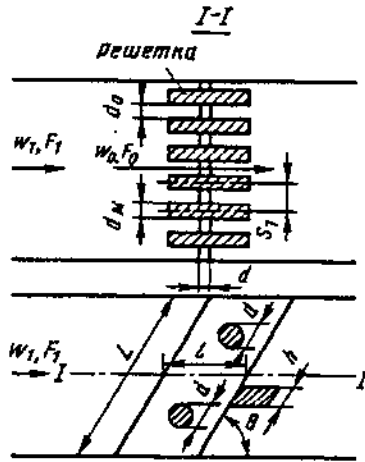
Кри- вая на графи- ке a	Re													
	1	2	3	4	6	8	10	15	20	25	30	50	100	150
1	—	—	—	55	32	20	15	13	21	50	—	—	—	—
2	600	400	350	315	310	360	420	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	190	180	160	130	130	130

Значения  $\zeta$

Кривая на графике b	Re						
	15	20	25	30	35	40	45
1	—	4,2	4,1	4,0	4,0	4,0	4,7
2	5,2	5,1	5,0	5,0	5,1	5,2	6,5
3	6,1	6,0	6,0	6,0	6,2	6,2	6,6
4	—	6,1	6,2	6,3	6,9	7,4	—
5	7,1	7,2	7,4	8,0	9,5	—	—

Решетка стержневая под углом атаки  $\alpha_0 = 0$ ;  
 $Re = w_0 a_0 / \nu > 10^4$  [8-15, 8-26, 8-69, 8-82]

Диаграмма  
8-9



1. Чистая решетка

а)  $l/d_M = 5$  и  $a_0/S_1 > 0,5$ :

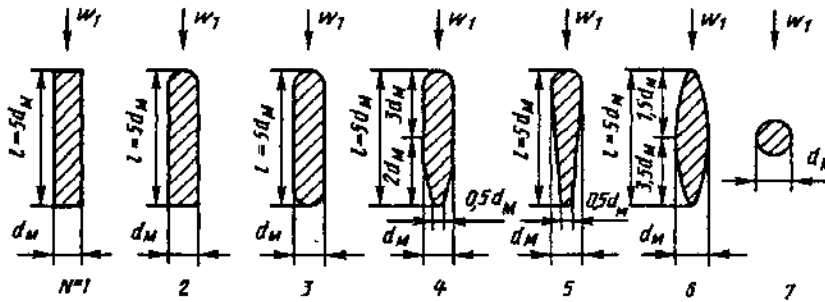
$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \beta_1 k_1 \sin \theta,$$

где  $\beta_1$  см. таблицу;  $k_1 = (S_1/a_0 - 1)^{4/3}$  см. таблицу и график  $k_1 = f(a_0/S_1)$ ;  
 б) любые  $l/d_M$  и  $a_0/S_1$ :

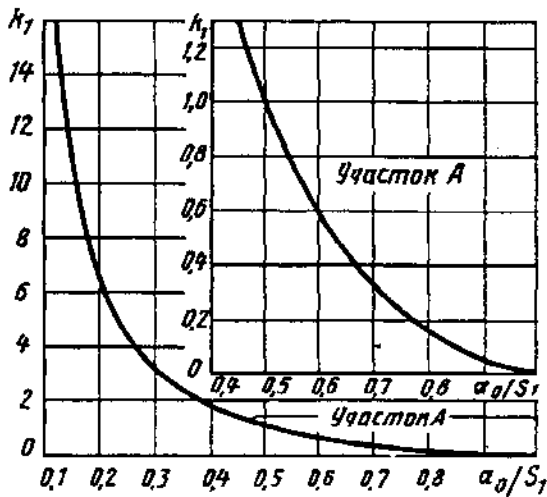
$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \beta_2 \zeta' \sin \theta,$$

$\beta_2$  см. таблицу;  $\zeta'$  определяется, как  $\zeta$  утолщенной решетки, по диаграмме 8-3

Форма стержней решеток



№ стержня	1	2	3	4	5	6	7
$\beta_1$	2,34	1,77	1,77	1,00	0,87	0,71	1,73
$\beta_2$	1,0	0,76	0,76	0,43	0,47	0,30	0,74



$\frac{a_0}{S_1}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4
$k_1$	$\infty$	18,7	6,35	3,09	1,72

$\frac{a_0}{S_1}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$k_1$	1,00	0,58	0,32	0,16	0,05	0

Решетка стержневая под углом атаки $\alpha_0 = 0$ ; $Re = w_0 a_0 / \nu > 10^4$ [8-15, 8-26, 8-69, 8-82]	Диаграмма 8-9
---	------------------

2. Загрязненная решетка (в гидротехнике)

$$\zeta_{гр} = c' \zeta,$$

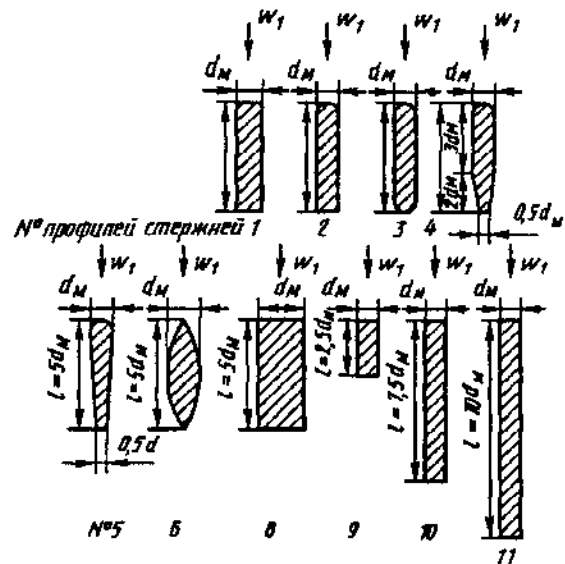
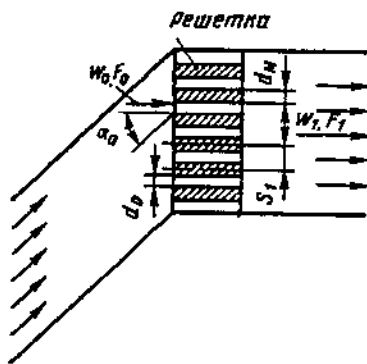
где  $c' = 1,1 \div 1,3$  — при машинной очистке решетки;  $c' = 1,5 \div 2,0$  — при ручной очистке решетки

3. Решетка с дополнительным каркасом (в гидротехнике)

$$\zeta_k = c'' \zeta_{гр},$$

где  $c'' = \frac{1}{(1 - A/L)^2}$ ;  $A = hn_1 + dn_2$  — суммарная высота поперечных элементов;  $n_1$  — число промежуточных опорных балок;  $n_2$  — число распорно-связных элементов;  $L$  — высота решетки в свету

Решетка из стержней, расположенных под углом атаки $\alpha_0 > 0$ при $a_0/S_1 \geq 0,5$ ; $Re = w_0 a_0 / \nu > 10^4$ [8-15, 8-26, 8-69, 8-82]	Диаграмма 8-10
--	-------------------



$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \sigma_1 \sigma_2$ , где  $\sigma_1$  см. график а,  $\sigma_2$  см. график б

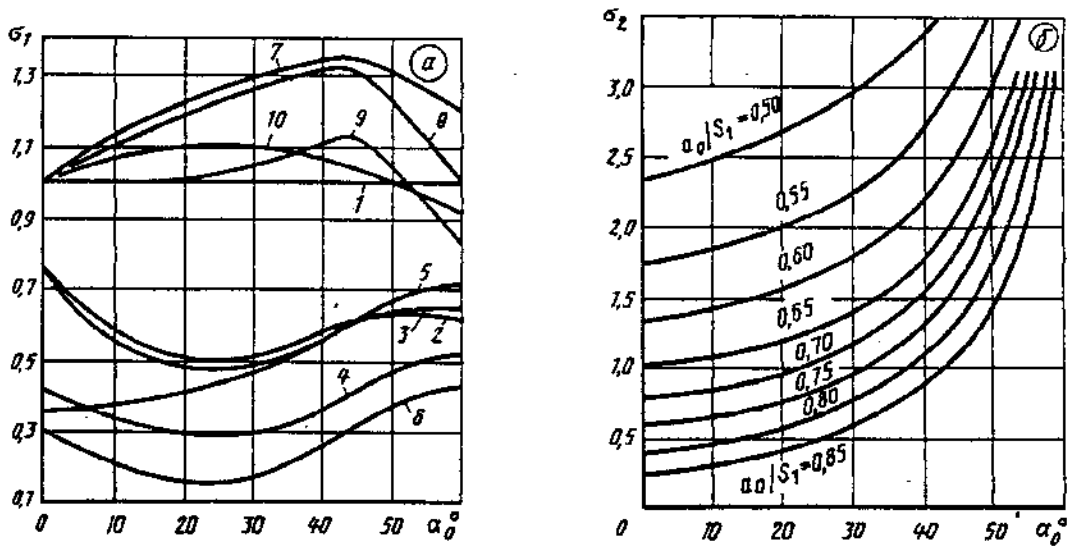
Форма стержней решеток

Значения  $\sigma_1$

№ кривой	$\alpha_0^\circ$									
	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,76	0,65	0,58	0,54	0,52	0,51	0,52	0,58	0,63	0,62
3	0,76	0,60	0,55	0,51	0,49	0,48	0,49	0,57	0,64	0,66
4	0,43	0,37	0,34	0,32	0,30	0,29	0,30	0,36	0,47	0,52
5	0,37	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,47	0,56	0,67	0,72
6	0,30	0,24	0,20	0,17	0,16	0,15	0,16	0,25	0,37	0,43
8	1,00	1,08	1,13	1,18	1,22	1,25	1,28	1,33	1,31	1,20
9	1,00	1,06	1,10	1,15	1,18	1,22	1,25	1,30	1,22	1,00
10	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,10	1,04	0,82
11	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,10	1,07	1,00	0,92

Решетка из стержней, расположенных под углом атаки  $\alpha_0 > 0$   
при  $a_0/S_1 \geq 0,5$ ;  $Re = w_0 a_0 / \nu > 10^4$  [8-15, 8-26, 8-69, 8-82]

Диаграмма  
8-10

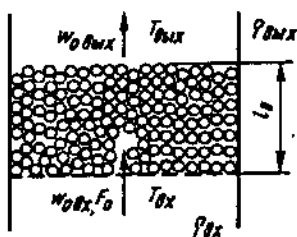


Значения  $\sigma_2$

$a_0/S_1$	$\alpha_0^\circ$									
	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
0,50	2,34	2,40	2,48	2,57	2,68	2,80	2,95	3,65	4,00	4,70
0,55	1,75	1,80	1,85	1,90	2,00	2,10	2,25	2,68	3,55	4,50
0,60	1,35	1,38	1,42	1,48	1,55	1,65	1,79	2,19	3,00	4,35
0,65	1,00	1,05	1,08	1,12	1,20	1,30	1,40	1,77	2,56	4,25
0,70	0,78	0,80	0,85	0,89	0,95	1,05	1,17	1,52	2,30	4,10
0,75	0,60	0,62	0,65	0,70	0,75	0,85	0,95	1,30	2,05	3,90
0,80	0,37	0,40	0,45	0,50	0,55	0,64	0,75	1,06	1,75	3,70
0,85	0,24	0,25	0,30	0,36	0,42	0,50	0,60	0,88	1,40	3,50

Насадка — слой из сферических тел или кусков  
неправильной формы [8-3, 8-64, 8-66]

Диаграмма  
8-11



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{1cp}^2 / 2} = \lambda l_0 / d_s + \Delta \zeta_s$$

где  $\lambda = \frac{360(1-\epsilon')^2}{\epsilon'^3 Re_1} + \frac{B'(1-\epsilon')}{\epsilon'^3} = \frac{A_1}{Re_1} + B_1$ ;  $A_1 \equiv 360(1-\epsilon')^2 / \epsilon'^3$  см. кривую 1 графика;  $B_1 \equiv B'(1-\epsilon') / \epsilon'^3$ ;  
 $B' = 1,8$  — для тел с гладкой поверхностью (см. кривую 2);  $B' = 4,0$  — для тел неправильной формы с шероховатой поверхностью (см. кривую 3).  
 $Re_1 \equiv w_{1cp} d_s / \nu$ ;  $d_s = \phi_1 d_1$ ;  $d_1$ ,  $\epsilon'$  и  $\phi_1$  см. табл. 1 и 3;

$$\Delta \zeta_s = 2 \frac{T_{вмх} - T_{вх}}{T_{cp}}; T_{cp} = \frac{T_{вх} + T_{вмх}}{2}; \rho_{cp} = \rho_0 \frac{273}{T_{cp}}; w_{1cp} = w_1 T_{cp} / T_{вх};$$

$v = f(T_{cp})$  см. параграф 1-2

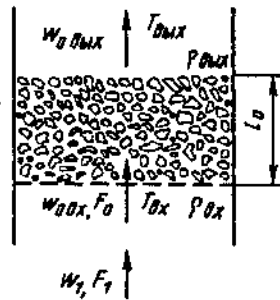
Сферические тела

1. Сферические тела

$\theta^\circ$	60	64	68	72	76	80	84	90
$\epsilon'$	0,250	0,320	0,365	0,405	0,435	0,455	0,470	0,476

Насадка—слой из сферических тел или кусков неправильной формы [8-3, 8-64, 8-66]

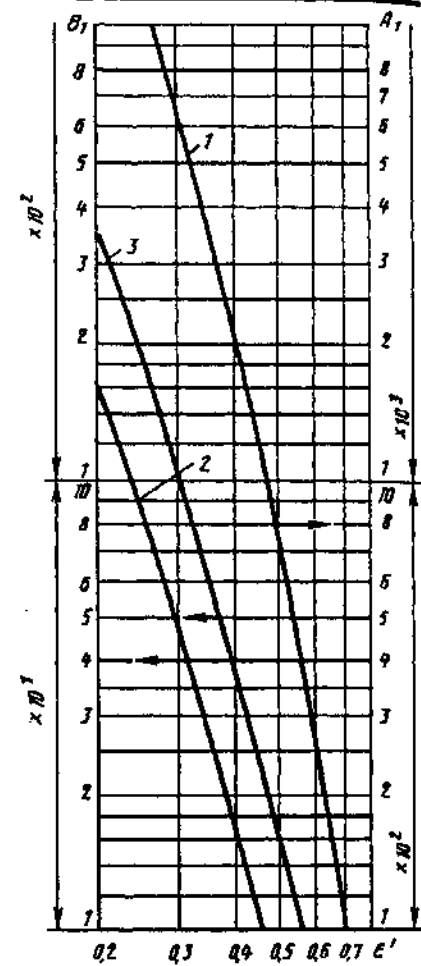
Диаграмма 8-11



Тела неправильной формы

2. Значения  $A_1$  и  $B_1$

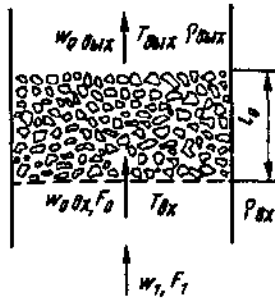
$\epsilon'$	$A_1$	$B_1$ при $B'$		$\epsilon'$	$A_1$	$B_1$ при $B'$	
		1,8	4,0			1,8	4,0
0,25	12960	86,4	192	0,50	720	7,20	16,0
0,30	6534	46,7	103,7	0,55	438,1	4,87	10,8
0,35	3547	27,3	60,6	0,60	266,8	3,33	7,4
0,40	3025	16,87	37,5	0,65	160,56	2,29	5,1
0,45	1195	10,9	24,1	0,70	98,32	1,58	3,5



3. Тела и частицы неправильной формы

С гладкой поверхностью			
Материал	$d_p$ , мм	$\epsilon'$	$\Phi_1$
Песок морской полидисперсный	2—3	0,35	0,66
	1,5	0,35	0,76
Песок речной	2,5—5	0,445	0,80
	1,2—2,5	0,390	0,76
Активированный глинозем	1—3	0,500	0,68
	3—5	0,500	0,49
	9—10	0,520	0,50
Алюмосиликагель	2,5	0,520	0,56
	3,5	0,480	0,68
	4,5	0,500	0,49
Антрацит	1,0	0,540	0,66
	2,1	0,520	0,67
	3,5	0,510	0,66
	7—8	0,520	0,07
	12—18 18—25	0,465 0,475	—
Гравий	3,7	0,470—0,540	0,73
	12—20	0,370	0,68

С шероховатой поверхностью			
Материал	$d_p$ , мм	$\epsilon'$	$\Phi_1$
Активированный уголь	1—2	0,500	0,64
	1,5	0,445	0,92
	1,5—4,5	0,400	0,79
Известняк	1,6	0,640	0,77
Кокс	5—25	0,480	0,77
Кварцевый песок	0,2—0,3	0,430—0,460	0,63—0,70
	1,2—5	0,390—0,445	0,76—0,80
Силикагель КСМ	3—5	0,490	0,50
Сланец	5—25	0,43—0,52	0,68—0,46
Щебень	2,6	0,480	0,77
	30—25	0,500	0,62
	5—10	0,460—0,500	0,54



$A \cdot 10^2, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$w_{1\text{пр}}, \text{ м/с}$
0	$\infty$
0,14	0,8
0,28	0,7
0,7	0,6
1,4	0,5

Материал	$d_r, \text{ м}$	$\varepsilon', \text{ м}^3/\text{м}^3$	$\bar{s}, \text{ м}^2/\text{м}^3$
Андезит кусковой 43,2 мм	0,0333	0,565	68
Гравий круглый 42 мм	0,0193	0,388	80
Катализатор синтеза аммиака 6,1 мм	0,00194	0,465	960
Катализатор конверсии CO в таблетках 11,5 × 6 мм	0,0033	0,380	460
Катализатор серноокислый ванадиевый в таблетках 11 × 6,5 мм	0,00415	0,430	415
Кольца стальные 35 × 35 × 2,5 мм	0,0372	0,830	147
То же 50 × 50 × 5 мм	0,036	0,970	104
Кольца керамические 15 × 15 × 2 мм	0,0085	0,700	330
То же 25 × 25 × 3 мм	0,0145	0,740	204
« » 35 × 35 × 4 мм	0,0225	0,780	140
« » 50 × 50 × 5 мм	0,0360	0,785	88
Кольца фарфоровые 8 × 8 × 1,5 мм	0,0045	0,640	570
Седлообразные керамические элементы 12,5 мм	—	0,710—0,760	—
То же 25 мм	—	0,710	—

Сухая насадка

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ср}} w_{1\text{ср}}^2 / 2} = \lambda \frac{l_0}{d_r} \frac{1}{\varepsilon^2} + \Delta \zeta_{\text{в}},$$

$$= \zeta_{\text{сух}} + \Delta \zeta_{\text{в}},$$

$$\text{Re}_r = \frac{w_{1\text{ср}} d_r}{\nu} \frac{1}{\varepsilon} < 3;$$

$$\lambda = 180 / \text{Re}_r = f(\text{Re}_r) \text{ см. график;}$$

$$3 < \text{Re}_r < 1000;$$

$$\lambda = 164 / \text{Re}_r + 7,68 / \text{Re}_r^{0,11} = f(\text{Re})$$

см. график

Орошаемая насадка

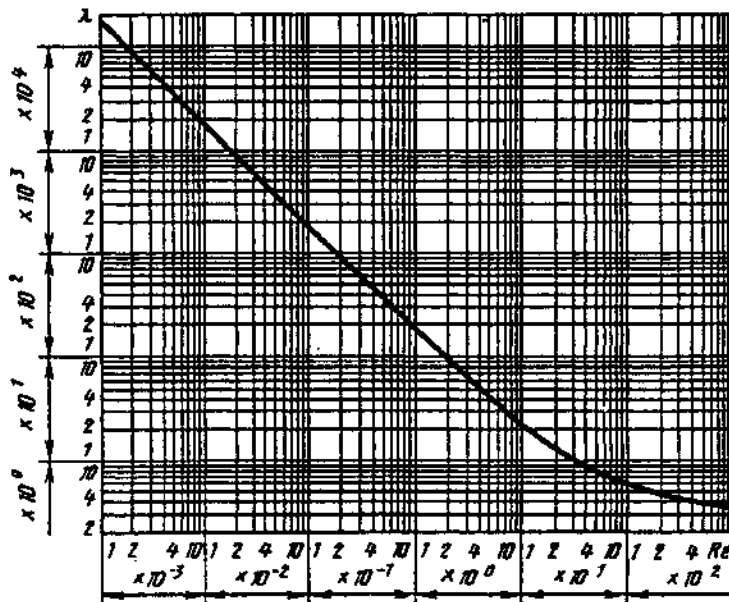
(ориентировочно)  
(при  $A \leq 1,4 \cdot 10^{-2}$ ;  $w_1 \leq w_{1\text{пр}}$ ;  
 $5 < d_r < 30 \div 35$  мм);

$$\zeta \approx \zeta_{\text{сух}} (1 + 2,15 \cdot 10^2 A) + \Delta \zeta_{\text{в}};$$

$$\tau = 2,15 \cdot 10^2;$$

$A$  — плотность орошения жидкостью,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $\Delta \zeta_{\text{в}} =$   
 $= 2 \frac{T_{\text{вх}} - T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}}}$ ;

$\nu$  — в зависимости от  $T_{\text{ср}}$  см. параграф 1-2;  $T_{\text{ср}} = 0,5(T_{\text{вх}} + T_{\text{вх}})$ ;  
 $\rho_{\text{ср}} = 273 \rho_0 / T_{\text{ср}}$ ;  $w_{1\text{ср}} = w_1 T_{\text{ср}} / T_{\text{вх}}$



Re	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	1	2	3
$\lambda$	180 000	36 000	18 000	3 600	1 800	360	180	90	61,5

Re	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35
$\lambda$	47,9	39,7	33,7	29,6	26,5	24,3	22,4	16,8	13,7	12,0	10,7	9,90

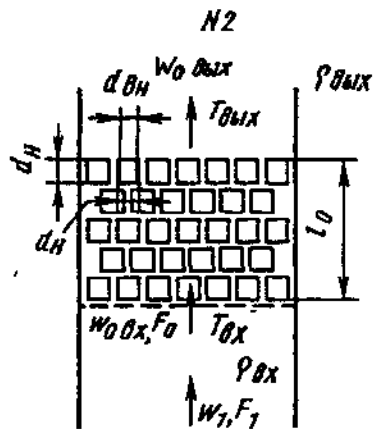
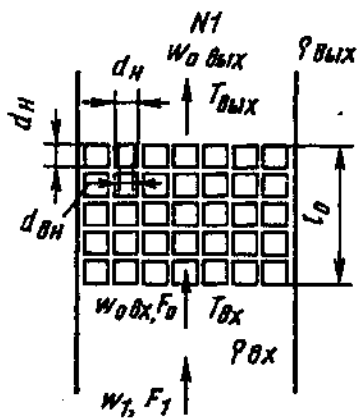


Насадка — слой из сыпучих тел и кусков неправильной формы при заданном $d_p$ [8-16, 8-34]											Диаграмма 8-12		
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------	--	--

Re	40	45	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350
$\lambda$	9,24	8,70	8,30	7,62	7,16	6,80	6,52	6,27	5,62	5,12	4,84	4,65	4,49

Re	400	450	500	600	700	800	900	1000
$\lambda$	4,37	4,29	4,21	4,07	3,97	3,96	3,81	3,74

Насадка из керамических колец Рашига ( $d_n/d_s \approx 1,2$ ) [8-16]											Диаграмма 8-13		
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------	--	--



Кольца уложены правильными рядами

$A \cdot 10^2, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$w_{1\text{н}}^p, \text{ м/с}$
0—0,28	2,0
0,42—0,70	1,5
0,83—1,40	1,0

Кольца уложены в шахматном порядке

$A \cdot 10^2, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$w_{1\text{н}}^p, \text{ м/с}$
0—0,28	1,5
0,42—0,70	1,2
0,83—1,40	0,8

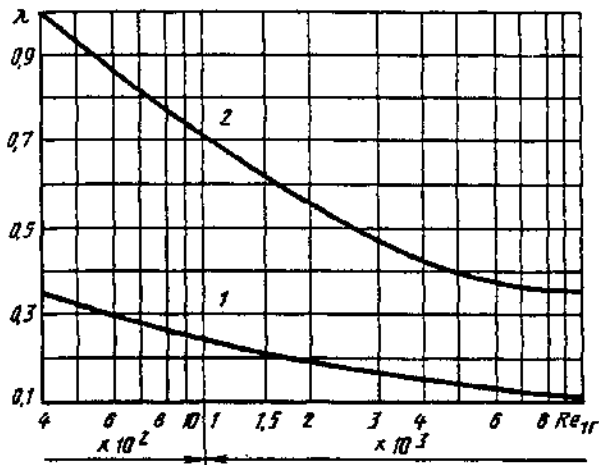
$d^*, \text{ мм}$	$d^r, \text{ м}$	$\epsilon'$	$\frac{1}{\epsilon'^2}$	$\bar{F}, \text{ м}^2/\text{м}^3$
50	0,027	0,73	1,88	108
80	0,036	0,72	1,93	—
100	0,048	0,72	1,93	—
150	0,075	0,72	1,93	—
200	0,100	0,72	1,93	—

Значения  $\lambda$

Кривая	$Re_p \cdot 10^{-2}$								
	4	6	8	10	15	20	40	60	80
1	0,34	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,14	0,12	0,11
2	1,0	0,85	0,76	0,71	0,62	0,55	0,42	0,37	0,36

Насадка из керамических колец Рашига ( $d_n/d_s \approx 1,2$ ) [8-16]

Диаграмма 8-13



Сухие насадки

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{ср} w_{1ср}^2 / 2} = \lambda \frac{l_0}{d_r} \cdot \frac{1}{\varepsilon'^2}$$

$$0,4 \cdot 10^3 < Re_{1r} = w_{1ср} d_r / \nu < 8 \cdot 10^3;$$

$$\lambda = 3,2 / Re_{1r}^{0,375} = f(Re_{1r}) \text{ см. кривую 1;}$$

$$Re_{1r} > 8 \cdot 10^3;$$

$$\lambda \approx 0,11 = \text{const};$$

$$0,4 \cdot 10^3 < Re_{1r} \leq 6 \cdot 10^3;$$

$$\lambda = 9,6 / Re_{1r}^{0,375} = f(Re_{1r}) \text{ см. кривую 2.}$$

$$Re_{1r} > 6 \cdot 10^3; \lambda \approx 0,36 = \text{const}$$

Орошаемые насадки (ориентировочно)

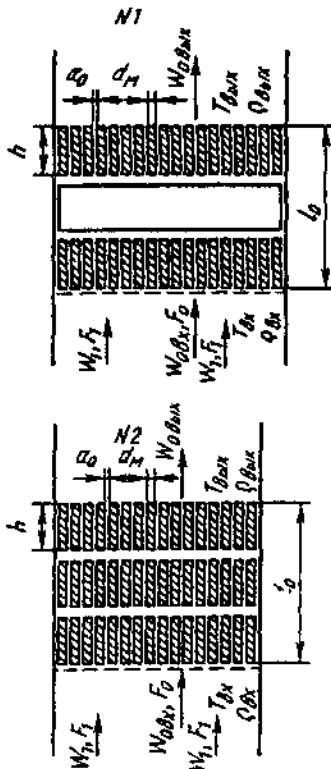
(при  $A \leq 1,4 \cdot 10^{-2}$   $w_1 \leq w_{1пр}$ )

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{ср} w_{1ср}^2 / 2} = \lambda \frac{l_0}{d_r} \cdot \frac{1}{\varepsilon'^2} (1 + \tau' A) + \Delta \zeta_1,$$

где  $A$  — плотность орошения жидкостью,  $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $\tau' = 1,4 \cdot 10^2$ ;  $\Delta \zeta_1$ ,  $T_{ср}$ ,  $\rho_{ср}$ ,  $w_{1ср}$  и  $\nu$  см. диаграмму 8-11

Насадки из деревянных реек (хордовые) [8-16]

Диаграмма 8-14



1. Рейки уложены параллельно.
2. Рейки уложены накрест

Сухая насадка

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{ср} w_{1ср}^2 / 2} = \lambda \frac{l_0}{d_r} \cdot \frac{1}{\varepsilon'^2};$$

$$1) 4 \cdot 10^2 < Re_{1r} = w_{1ср} d_r / \nu < 10^4;$$

$$\lambda = 3,2 / Re_{1r}^{0,375} = f(Re) \text{ см. кривую 1;}$$

$$Re_{1r} > 10^4;$$

$$\lambda \approx 0,11 = \text{const};$$

$$2) 4 \cdot 10^2 < Re_{1r} = w_{1ср} d_r / \nu \leq 10^4;$$

$$\lambda = k'_1 / Re_{1r}^{0,375} = f(Re) \text{ см. кривые 2—5;}$$

$$Re_{1r} > 10^4; \lambda = \lambda'$$

Насадки из деревянных реек (хордовые) [8-16]

Диаграмма 8-14

Основные характеристики реек, уложенных накрест

Кривая	$d_m$ , мм	$a_0$ , мм	$h$ , мм	$d_r$ , мм	$\epsilon'$	$\frac{1}{\epsilon'^2}$	$\bar{s}$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	$k'_1$	$\lambda'$
2	10	10	100	22	0,55	3,31	100	4,4	0,14
3	10	10	50	22	0,55	3,31	100	5,7	0,18
4	10	20	100	41	0,68	2,16	66	6,7	0,21
5	10	30	100	63	0,77	1,69	49	8,5	0,26

Значения  $w_{1np}$ , м/с

Орошаемая насадка (орнектировано)

(при  $A \leq 1,4 \cdot 10^{-2}$   $w_1 \leq w_{1np}$ )

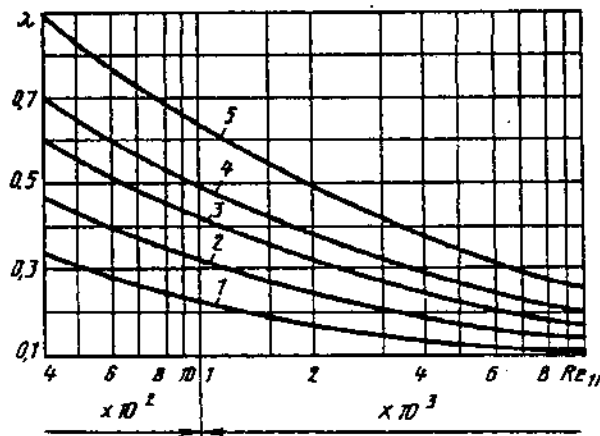
$$\zeta = \lambda \frac{l_0}{d_r} \frac{1}{\epsilon'^2} (1 + \tau' A) + \Delta\zeta_r,$$

где  $A$  — плотность орошения жидкостью, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);  
 $\tau' = 1,4 \cdot 10^2$  для схемы 1 и  $2,15 \cdot 10^2$  для схемы 2;  $\Delta\zeta_r$ ,  $Re_{cr}$ ,  $w_{1np}$   
 и  $\nu$  см. диаграмму 8-12

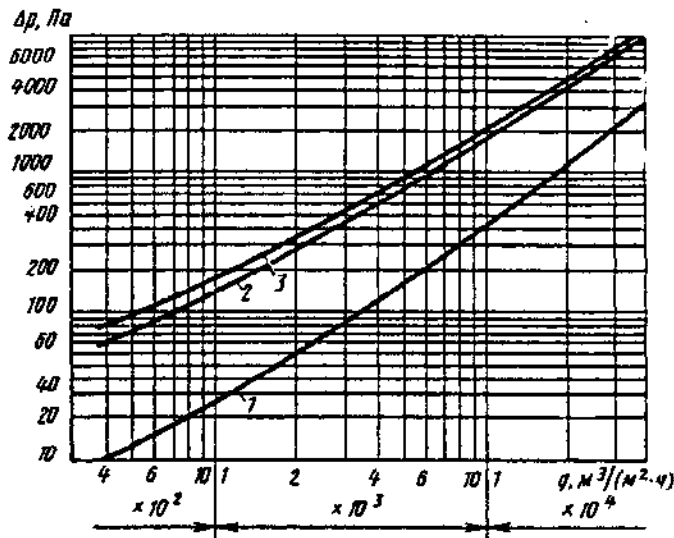
Схема	$A \cdot 10^2$ м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)		
	0—0,28	0,42—0,07	0,83—1,40
1	2,0	1,5	1,0
2	1,0	0,7	0,5

Значения  $\lambda$

Кривая	$Re_{cr}$									
	$4 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^2$	$10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$10^4$
	$Re_{cr}^{0,375}$									
	9,5	11,0	12,3	13,3	15,5	17,3	22,4	26,1	29,1	31,6
1	0,33	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,14	0,12	0,11	0,11
2	0,46	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,20	0,17	0,15	0,14
3	0,60	0,52	0,46	0,43	0,37	0,33	0,25	0,22	0,19	0,18
4	0,70	0,61	0,54	0,50	0,43	0,39	0,30	0,25	0,22	0,21
5	0,90	0,78	0,69	0,64	0,55	0,49	0,38	0,32	0,28	0,26



$$\Delta p \approx 9,81 A_0 q^m \text{ при } q > 0,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$



Ткань	$m$	$A_0 \cdot 10^4$
1. Миткаль (без ворса)	1,347	2,0
2. Молескин (без ворса)	1,155	48
3. Хлопчатобумажная байка (средний ворс с двух сторон)	1,097	87

Значения  $\Delta p$  (числитель в кгс/м², знаменатель в Па)

Ткань	$q$ [числитель в м³/(м²·ч), знаменатель в м³/(м²·с)]							
	$\frac{600}{0,167}$	$\frac{800}{0,222}$	$\frac{1000}{0,28}$	$\frac{2000}{0,556}$	$\frac{3000}{0,833}$	$\frac{4000}{1,11}$	$\frac{5000}{1,39}$	$\frac{6000}{1,67}$
1. Миткаль	$\frac{1,40}{13,7}$	$\frac{1,80}{17,7}$	$\frac{2,30}{22,6}$	$\frac{5,20}{51,0}$	$\frac{8,70}{85,3}$	$\frac{12,6}{124}$	$\frac{17,0}{167}$	$\frac{21,0}{206}$
2. Молескин	$\frac{9,00}{88,3}$	$\frac{10,9}{107}$	$\frac{13,8}{135}$	$\frac{29,5}{289}$	$\frac{46,0}{451}$	$\frac{66,0}{647}$	$\frac{83,0}{814}$	$\frac{105}{1030}$
3. Хлопчатобумажная ткань	$\frac{10,9}{107}$	$\frac{13,9}{136}$	$\frac{17,0}{167}$	$\frac{35,0}{343}$	$\frac{53,0}{520}$	$\frac{73,0}{716}$	$\frac{93,0}{912}$	$\frac{115}{1128}$

Ткань	$q$ [числитель в м³/(м²·ч), знаменатель в м³/(м²·с)]						
	$\frac{7000}{1,94}$	$\frac{8000}{2,22}$	$\frac{9000}{2,50}$	$\frac{10000}{2,78}$	$\frac{20000}{5,56}$	$\frac{30000}{8,33}$	$\frac{40000}{11,1}$
1. Миткаль	$\frac{27,0}{265}$	$\frac{32,0}{314}$	$\frac{39,0}{383}$	$\frac{45,0}{442}$	$\frac{126}{1236}$	$\frac{229}{2250}$	$\frac{369}{3620}$
2. Молескин	$\frac{129}{1270}$	$\frac{145}{1420}$	$\frac{167}{1640}$	$\frac{195}{1910}$	$\frac{457}{4480}$	$\frac{759}{7450}$	$\frac{1080}{10600}$
3. Хлопчатобумажная байка	$\frac{138}{1355}$	$\frac{160}{1570}$	$\frac{182}{1785}$	$\frac{209}{2050}$	$\frac{479}{4700}$	$\frac{767}{7525}$	$\frac{1110}{11900}$

**СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ  
 ЧЕРЕЗ ТРУБОПРОВОДНУЮ АРМАТУРУ И ЛАБИРИНТЫ  
 (КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛАПАНОВ,  
 ЗАДВИЖЕК, ЗАТВОРОВ, ЛАБИРИНТОВ, КОМПЕНСАТОРОВ)**

**9-1. ПОЯСНЕНИЯ  
 И ПРАКТИЧЕСКИЕ  
 РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Коэффициент сопротивления запорных и регулирующих устройств зависит от их конструкции, определяющих прямолинейность потока, постоянство сечения и т. д. Качество выполнения внутренней полости также оказывает влияние на коэффициент сопротивления такого устройства.

2. Длина некоторых типов клапанов и задвижек не меняется пропорционально размеру их проходного сечения. Поэтому при изменении диаметра этого сечения не сохраняется полное геометрическое подобие. Кроме того, шероховатость отливки корпуса тем больше, чем меньше ее размер. Вследствие этого

сопротивление некоторых клапанов и задвижек меняется с изменением диаметра прохода. При этом для клапанов больших размеров коэффициент сопротивления  $\zeta$  растет с увеличением диаметра прохода, а для малых размеров  $\zeta$  растет с уменьшением диаметра.

3. Сопротивление задвижек по своей природе аналогично сопротивлению диафрагм, в которых после внезапного сжатия происходит внезапное расширение потока (рис. 9-1, а). Более сложная картина потока наблюдается в дисковом затворе и клапанах различных конструкций (рис. 9-1, б, в и г). Помимо внезапных сужений и расширений наблюдаются сложные повороты потока. Это связано как с местными повышениями скоростей, так и отрывами потока, а следовательно, с вихре-

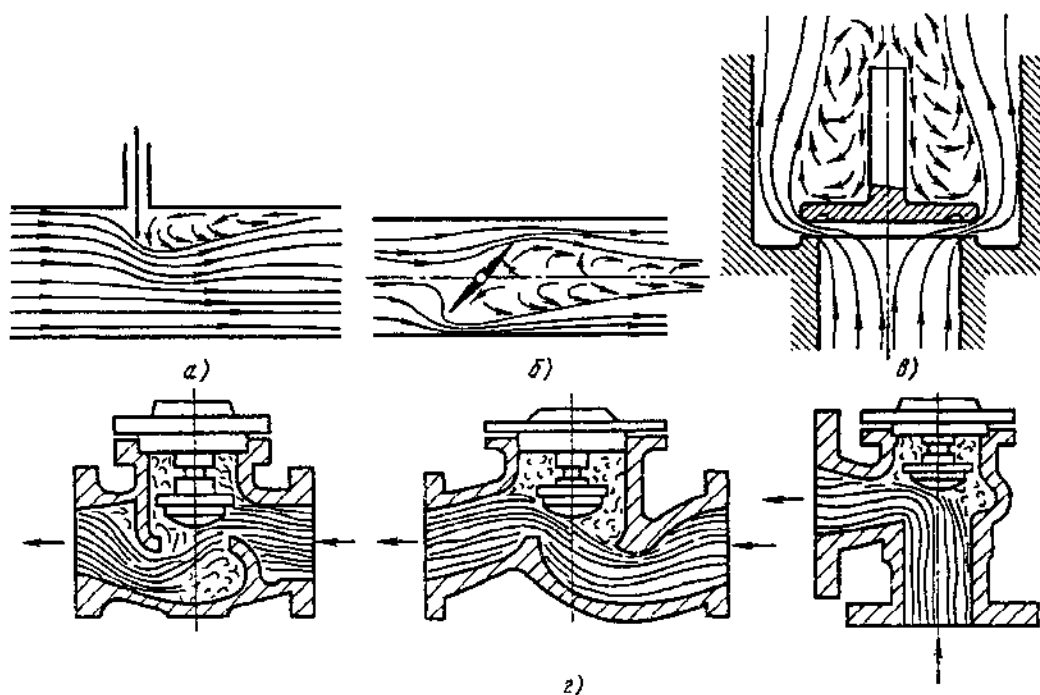


Рис. 9-1. Схемы потока в запорных и регулирующих устройствах:  
 а — задвижка; б — дисковый затвор; в — тарельчатый клапан; г — запорные и регулирующие клапаны

образованиями, что вызывает большое сопротивление этих элементов.

Сопротивление каждого типа запорного устройства зависит от положения закрывающего органа.

4. Коэффициенты сопротивления открытых задвижек различных размеров и разных конструкций различны по величине. В основном это различие обуславливается относительными размерами выемки (расширения) в корпусе задвижки под затвором. Чем меньше диаметр задвижки, тем больше относительные размеры выемки. Поэтому коэффициенты сопротивления открытых задвижек одного и того же типа конструкции тем меньше, чем больше диаметр задвижки.

5. При одностороннем расположении регулирующего органа задвижки нарушается симметрия потока. Вследствие этого значительно увеличиваются пульсации давления и вибрации трубопровода. С этой точки зрения прямоугольная задвижка с двусторонними регулирующими органами и синхронным их передвижением более благоприятна [9-35, 9-36].

6. Для уменьшения габаритов задвижки, а также сил и моментов, необходимых для управления ею, создается сужение сечения прохода в корпусе задвижки. Сужение обычно делается симметричным, однако при одностороннем направлении движения жидкости оно может выполняться и несимметричным [9-11]. Сужение прохода увеличивает коэффициент сопротивления задвижки.

7. Применяемые в системах водоснабжения, на напорных трубопроводах гидроэлектростанций, в газо- и нефтепроводах и других сооружениях и установках задвижки и различные затворы могут работать как в сети, так и на выходе из сети (концевые). В первом случае их устанавливают или в прямой трубе, или в конфузorno-диффузornoм, или в конфузornoм переходах (см. соответствующие схемы на диаграммах 9-5, 9-7—9-13 и 9-20). Приводимые на указанных диаграммах значения  $\zeta$  не учитывают дополнительные потери скоростного давления на выходе и соответственно потери в переходах [9-35, 9-36].

Суммарный коэффициент сопротивления концевых задвижек и затворов и соответственно задвижек и затворов, установленных в переходных участках, определяется как  $\zeta_{\Sigma} = \zeta + 1$  и соответственно  $\zeta_{\Sigma \text{ пер}} = \zeta + \zeta_{\text{пер}}$ , где  $\zeta$  — коэффициенты для концевых задвижек и затворов;  $\zeta_{\text{пер}}$  определяется, как  $\zeta$  конфузorno-диффузornoных и других переходов, по диаграммам 5-25 и 5-26.

8. В запорных устройствах существуют такие же три характерные области режима течения (рис. 9-2), как и в диафрагмах (см. пп. 32, 33 четвертого раздела): ламинарного, переходного и турбулентного (квадратичного) режимов [9-4—9-6]. Для та-

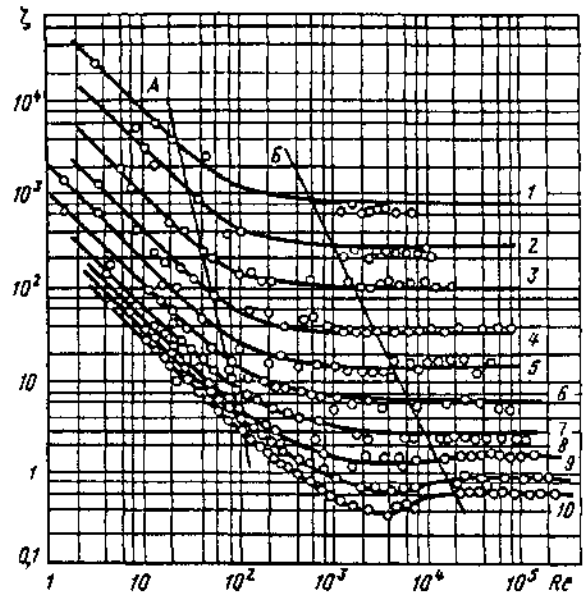


Рис. 9-2. Зависимость  $\zeta = f(Re)$  для дискового затвора ( $\alpha = 90^\circ - \delta$ ) [9-5]:

1— $\alpha = 9^\circ$ ; 2— $\alpha = 18^\circ$ ; 3— $\alpha = 27^\circ$ ; 4— $\alpha = 36^\circ$ ; 5— $\alpha = 45^\circ$ ; 6— $\alpha = 54^\circ$ ; 7— $\alpha = 63^\circ$ ; 8— $\alpha = 72^\circ$ ; 9— $\alpha = 81^\circ$ ; 10— $\alpha = 90^\circ$ ; слева от линии А — ламинарная область; между линиями А и В — переходная область; справа от линии В — турбулентная область

ких устройств также действительна формула (1-3):

$$\zeta = A/Re + \zeta_{\text{кв}},$$

характеризующая закон сопротивления для широкого диапазона чисел Рейнольдса (где  $\zeta_{\text{кв}}$  — коэффициент сопротивления в квадратичной области; А — коэффициент, зависящий от вида запорного устройства).

9. Для регулирующего клапана (при  $D_0 = 0,05$  м) Э. С. Арзуманов и Р. Е. Везирян [9-5, 9-6] рекомендуют следующие формулы расчета коэффициента сопротивления:

1) для углового односедельного клапана при  $1,7 \leq h/D_r \leq 30$

$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho w_h^2 / 2} = \frac{4,1h/D_r + 23}{Re_h} + (1 - F_h/F_0)^2 + 0,18^{*1};$$

при полном открытии клапана ( $h/D_r \leq 1,7$ )

$$\zeta \cong 30/Re_h + (1 - F_h/F_0)^2 + 0,18;$$

2) для двухседельного клапана при  $4,0 < h/D \leq 6,0$

$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho w_h^2 / 2} = \frac{0,5h/D_r + 27}{Re_h} + (1 - F_h/F_0)^2 + 4,7(F_h/F_0)^2;$$

\*1 Величины с индексом  $h$  при  $w$ ,  $Re$ ,  $F$  и  $\Pi$  относятся к проходному сечению клапана.

при полном открытии клапана

$$\zeta \approx 30 / \text{Re}_h + (1 - F_h / F_0)^2 + 4,7 (F_h / F_0)^2,$$

где

$$\text{Re}_h = w_h R_r / \nu = w_h D_r / (4\nu); \quad D_r = 4F_h / \Pi_h.$$

10. Относительная глубина погружения плунжера  $h/D_r$  (глубина канала в дроссельном устройстве — см. диаграмму 9-21) для различных типоразмеров клапанов различна и зависит от степени открытия регулирующего клапана  $\bar{H} = H/H_{\max}$ , где  $H$  и  $H_{\max}$  — соответственно текущее и максимальное значение хода плунжера [9-5].

Величина  $h$  принимается равной высоте седла  $h_c$  для случая, когда профилированная часть плунжера при полном открытии клапана ( $\bar{H} = 1,0$ ) выходит полностью из седла, или при промежуточных открытиях, когда профилированная часть плунжера располагается у верхней кромки седла.

11. Наиболее совершенную конструкцию запорного органа применительно к величине гидравлического сопротивления имеет прямоточный клапан. Коэффициент сопротивления такого клапана в зависимости от степени подъема регулирующего органа  $h/D_0$  при  $\text{Re} = w_0 D_r / \nu \geq 3 \cdot 10^5$  может быть определен по формулам Г. А. Мурина [9-22]:

при  $D_0 = 38$  мм

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1,28 + \frac{0,084}{(h/D_0)^2};$$

при  $D_0 = 200$  мм

$$\zeta \approx \frac{0,51}{(h/D_0)^2};$$

при полном открытии клапана при  $D_0 = 25 \div 200$  мм

$$\zeta = 5,2 / D_0^{0,5}.$$

12. Коэффициент сопротивления дискового затвора в трубе круглого сечения может быть вычислен для всего диапазона чисел Рейнольдса по формулам [9-5, 9-6]:

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{A}{\text{Re}} + \left(1 - \frac{50}{\text{Re}}\right) \zeta_{\text{за}}, \quad (9-1)$$

где

$$A = 120 \cdot \frac{1 + 0,5 \bar{D}_n (1 + \sin \delta)}{(1 - \bar{D}_n^2 \sin^2 \delta)^2}, \quad (9-2)$$

$\delta$  — угол открытия клапана, °;  $\bar{D}_n = D_n / D_0$ ;  $D_n$  — диаметр диска, м;  $\text{Re} = w_0 D_0 / \nu$ ; при  $\text{Re} \leq 50$  величина  $(1 - 50/\text{Re})$  принимается равной нулю.

При  $\delta > 20^\circ$

$$\zeta_{\text{за}} = \left( \frac{1,56}{1 - \bar{D}_n \sin \delta} - 1 \right)^2. \quad (9-3)$$

13. При изменении  $\delta$  от 0 до  $30^\circ$  на коэффициент сопротивления дискового затвора влияют его форма и размеры (относительная толщина  $b/D_0$ , состояние его кромок и т. п.). В этих пределах действительные значения  $\zeta$  получаются больше, чем по (9-3). В указанных пределах  $\delta$  нарушается также стабильность характеристик приводов затвора. Поэтому рабочий диапазон применения дисковых затворов, используемых в схемах автоматического регулирования, рекомендуется ограничивать пределами изменения  $\delta$  от  $30$  до  $90^\circ$ , при которых практически пропускная способность не зависит от конструктивных особенностей затвора.

14. Для определения коэффициента сопротивления дисковых затворов в прямоугольной трубе при малых числах Рейнольдса можно также пользоваться (9-1), принимая с определенной точностью значения  $A$  по (9-2) для круглого поперечного сечения.

15. Коэффициент сопротивления клапанов некоторых типов можно определить по формулам, предложенным Бахом [9-37]:

а) для тарельчатого клапана без нижнего направления при  $0,1 < h/D_0 < 0,25$  и  $0,1 < b_r/D_0 < 0,25$

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 0,15 + 4 \frac{b_r}{D_0} + \frac{0,155}{(h/D_0)^2},$$

где  $b_r$  — ширина закрайки тарелки, м;

б) для тарельчатого клапана с нижним направлением при  $0,125 < h/D_0 < 0,25$  и  $0,1 < b_r/D_0 < 0,25$

$$\zeta = (0,8 \div 1,6) (0,15 + 4b_r/D_0) + \frac{1,73}{(h/D_0)^2 (\pi - iS_n/D_0)^2},$$

где  $S_n$  — ширина лапки направляющей (см. диаграмму 9-24);  $i$  — число направляющих ребер;

в) для конусного клапана с плоской нижней поверхностью при  $0,1 < h/D_0 < 0,25$  и  $b_r/D_0 = 0,1$

$$\zeta = 2,6 - \frac{0,8}{h/D_0} + \frac{0,14}{(h/D_0)^2};$$

г) для конусного клапана с конусообразной опорной поверхностью при  $0,125 < h/D_0 < 0,4$

$$\zeta = 0,6 + \frac{0,15}{(h/D_0)^2};$$

д) для шарового клапана с шаровой опорной поверхностью при  $0,1 < h/D_0 < 0,25$

$$\zeta = 2,7 - \frac{0,8}{h/D_0} + \frac{0,14}{(h/D_0)^2}.$$

16. В некоторых случаях, например в рукавных фильтрах с обратной продувкой (ФРО), газовый поток из общего раздающего коллектора (подводящего участка, см. диаграмму 9-27) поступает на фильтрацию в секции.

Очищенный газ из секций через выпускные клапаны тарельчатого типа направляется в собирающий коллектор (выпускной канал) и выводится из аппарата. При необходимости регенерации какой-либо секции ее отсекают от основного потока с помощью выпускного клапана и соединяют с продувочным коллектором открытием продувочного клапана.

Значения коэффициентов сопротивления тарельчатого клапана в условиях его работы по указанным на диаграмме 9-27 схемам, полученные на основании экспериментальных исследований В. С. Корягина и др. [9-16], приведены на той же диаграмме.

17. Так как движение газа через запорные устройства сопровождается большими потерями давления, то значительно меняется и плотность газа. Это следует учитывать при определении сопротивления устройства по формуле [9-11]

$$\Delta p = k_{сж} \zeta \rho_{вх} w_{0вх}^2 / 2,$$

где  $w_{0вх}$  — средняя скорость потока перед запорным устройством при давлении  $p_0$ , м/с;  $\rho_{вх}$  — плотность газа перед запорным устройством, кг/м<sup>3</sup>;  $k_{сж}$  — поправка на сжимаемость газа, зависящая от отношения давления  $p_0$  перед запорным устройством и давления  $p_1$  за ним:

$$p_1/p_0 = 1 - \Delta p/p_0.$$

Тогда поправки:

$$k_{сж} \approx 1,0 \text{ при } p_1/p_0 > 0,9 \text{ или } \Delta p < 0,1 p_0;$$

$$k_{сж} = \frac{\Delta p}{p_0} \cdot \frac{k-1}{k \left[ (p_1/p_0)^{2/k} - (p_1/p_0)^{k-1} \right]}$$

при  $(p_1/p_0)_{крит} < p_1/p_0 < 0,9$  или  $1 - (p_1/p_0)_{крит} > \Delta p/p_0 > 0,1$  или приближенно [9-7]

$$k_{сж} = \frac{1}{(1 - 0,46 \Delta p/p_0)^2},$$

где  $(p_1/p_0)_{крит}$  — критическое отношение давлений за запорным устройством и перед ним, при котором скорость потока в узком сечении становится равной местной скорости

звука; для воздуха и двухатомного газа  $(p_1/p_0)_{крит} = 0,53$  и  $1 - (p_1/p_0)_{крит} = 0,47$ .

Подсчет  $\Delta p$ ,  $p_1/p_0$  и  $k_{сж}$  проводится методом последовательного приближения.

18. Коэффициент сопротивления конусного клапана, устанавливаемого на водосбросных трубах, не зависит от горизонта нижнего бьефа  $h_0$  (рис. 9-3, а), т. е. он одинаков как при истечении в окружающую среду, так и при истечении под уровень [9-25]. При установке конусного клапана в специальной камере, обеспечивающей надежное гашение кинетической энергии потока в нижнем бьефе (рис. 9-3, б), коэффициент сопротивления клапана несколько меняется (см. диаграмму 9-9).

19. Суммарный коэффициент сопротивления запорной арматуры, помещенной одна за другой или за фасонными частями, получается меньше, чем сумма единичных коэффициентов сопротивления этих элементов, получаемых при их изолированной работе (при отсутствии их взаимного влияния).

Степень взаимного влияния фасонных частей зависит от относительного расстояния  $l_x/D_0$  между ними. Чем больше  $l_x/D_0$ , тем меньше влияние этого параметра. Практически это влияние исчезает при  $l_x/D_0 = 30 \rightarrow 40$ .

20. Взаимное влияние запорной арматуры (устройства) при полном их открытии можно учесть по формулам [9-26]:

при  $Re < 160$

$$\zeta_{1+2} = 31,2/Re^{0,785} (\zeta_{1кв} + \zeta_{2кв}) (2 - \beta);$$

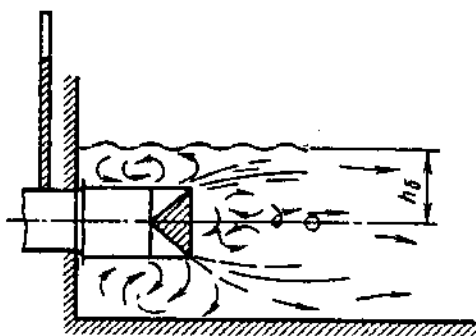
при  $160 \leq Re \leq 500$

$$\zeta_{1+2} = 1,31/Re^{0,159} (\zeta_{1кв} + \zeta_{2кв}) (2 - \beta);$$

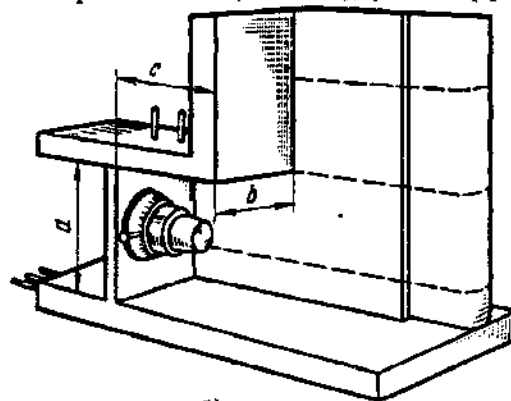
в квадратичной области при  $Re > 500$

$$\zeta_{1+2} = 0,5 (\zeta_{1кв} + \zeta_{2кв}) (2 - \beta),$$

где  $\zeta_{1+2}$  — суммарный коэффициент сопротивления пары запорных устройств при их взаимном влиянии;  $\zeta_{1кв}$  и  $\zeta_{2кв}$  — единичные коэффициенты сопротивления запорных устройств, составляющих пару, в квадратичной области сопротивления ( $Re > 500$ );  $\beta$  — коэффициент, за-



а)



б)

Рис. 9-3. Конусный клапан водосбросной трубы:

а — схема потока; б — клапан



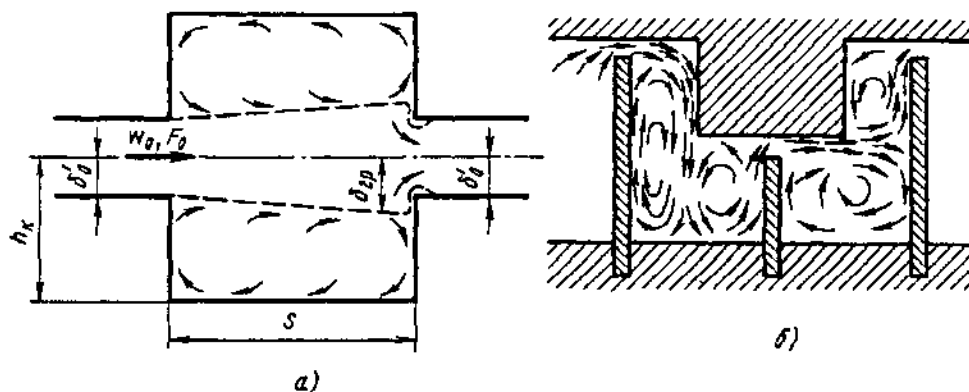


Рис. 9-4. Схема потока в лабиринтах:

а — ячейка простого лабиринта; б — лабиринт с криволинейным перетеканием потока

висящий от относительного расстояния между запорными устройствами.

Коэффициент  $\beta$  для прямоочной запорной арматуры

$$\beta = 22,2 \cdot 10^{-5} (l_x / D_0)^2 - 26,7 \cdot 10^{-3} l_x / D_0 + 0,8;$$

для остальных типов запорных устройств

$$\beta = 4,17 \cdot 10^{-5} (l_x / D_0)^2 - 5 \cdot 10^{-3} l_x / D_0 + 0,15.$$

21. В лабиринтном уплотнении с односторонним расположением промежуточных ножей на одном уровне поток перетекает прямолинейно. При входе в первый зазор (рис. 9-4, а) поток сжимается так же, как в случае входа в прямой канал, заделанный заподлицо в стенку, или как при перетекании через отверстие в тонкой стенке. Входя в камеру лабиринта, струя расширяется, и благодаря турбулентному перемешиванию масса ее увеличивается за счет окружающей среды. В том случае, когда относительные размеры камеры (по отношению к зазору) достаточно велики, в конце камеры из струи выделяется ядро постоянной массы, которое, сжимаясь, поступает во второй зазор. Присоединенные массы окружающей среды, отделяясь в конце камеры от ядра потока и совершая циркуляционное движение в пространстве камеры, вновь подмешиваются к струе. Так как ядро постоянной массы перед входом во второй зазор обладает большой кинетической энергией, степень сжатия потока на входе будет меньшей, чем при входе в первый зазор.

22. Сопротивление ячейки лабиринта (см. рис. 9-4, б) вызывается потерями на трение в зазоре и потерями энергии в ядре постоянной массы. Последние складываются из двух частей: разности запасов энергии ядра постоянной массы в начале и в конце ячейки и потерь на вход в следующий зазор.

Если размеры камеры относительно малы, а именно так, что

$$h_k / \delta'_0 < \delta_{тр} / \delta'_0,$$

то струя, выходящая из зазора в камеру, заполняет все сечение. В этом случае сопротивление обуславливается потерями на трение в зазоре, потерями на удар при внезапном расширении и потерями на вход в следующий зазор [где  $\delta'_0$  — половина ширины зазора лабиринта с двойным углублением или ширина струи лабиринта с односторонним углублением;  $\delta_{тр}$  — половина ширины свободной струи в конце камеры (или соответственно ширина струи), м;  $h_k$  — высота камеры ячейки лабиринта].

По данным Г. Н. Абрамовича [9-2],

$$\delta_{тр} / \delta'_0 = 2,4 a_{стр} S / \delta'_0 + 1,$$

где  $S$  — длина свободной струи (длина камеры ячейки лабиринта), м;  $a_{стр}$  — коэффициент структуры (турбулентности) потока, принимаемый в данном случае равным 0,1.

23. В лабиринтных уплотнениях с выступающими или со ступенчатым расположением ножей струя при больших (по сравнению с зазором) размерах камер между ножами после сжатия в зазоре направляется к выступу лабиринта (рис. 9-4, б). Здесь она отклоняется на  $90^\circ$  и течет прямо до нижней стенки камеры. Далее, огибая камеру, струя течет вдоль второго канала, направляясь ко второму зазору. В камере лабиринта неподвижные массы окружающего пространства увлекаются протекающей струей, вследствие чего возникает движение этих масс, и при этом образуются вихревые области. Наличие выступов между ножами лабиринта удлиняет путь свободной струи, что еще более способствует полному ее затуханию. Лабиринты с непрямолинейным движением потока более эффективны, так как длина пути струи в них и соответственно сопротивление получают значительно большими, чем в лабиринтах с прямолинейным перетеканием потока.

24. Коэффициент сопротивления лабиринтов с продолговатым зазором вычисляется по формулам автора [9-13, 9-14]:

при  $h_x/\delta'_0 \geq \delta_{тр}/\delta'_0$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w^2/2} = 1 + \zeta' + n_n(a_0 + \zeta' b_1 + \zeta_{тр}),$$

где  $a_0, b_1$  — коэффициенты, зависящие от относительной длины ячейки лабиринта (см. диаграмму 9-28);  $\zeta_{тр} = \lambda/\delta'_0$  — коэффициент сопротивления трения зазора;  $\lambda$  — см. диаграммы 2-1—2-6;  $\zeta'$  — коэффициент, учитывающий влияние формы входной кромки зазора (определяется по диаграммам 3-4 и 3-7 в зависимости от степени закругления или среза кромки входа);

при  $h_x/\delta'_0 < \delta_{тр}/\delta'_0$

$$\zeta = 1 + \zeta' + n_n(a_2 + \zeta' b_2 + \zeta_{тр}),$$

где

$$a_2 = (1 - F_0/F_x)^2, \quad b_2 = 1 - F_0/F_x.$$

25. Структура потока в сложных фасонных частях труб и каналов, в которых на близком расстоянии один за другим расположены резкие повороты, внезапные расширения и сужения, обходы и т. п., а также вход и выход в неограниченное пространство (см. диаграммы 9-29—9-32), во многом аналогична структуре его в изогнутых каналах, диафрагмах и лабиринтных уплотнениях с большими зазорами.

При оценке сопротивления таких сложных фасонных частей необходимо учитывать взаимное влияние отдельных элементов этой фасонной части, значительно повышающее общее сопротивление по сравнению с простой суммой сопротивлений ее отдельных элементов. Это сопротивление увеличивается во многих случаях в 3—5 раз и более.

26. Если сложная фасонная часть служит в качестве лабиринтного уплотнения, сопротивление ее является полезным, так как с увеличением сопротивления увеличивается эффективность ее работы (уменьшается проход воздуха через него). В прочих случаях, например, когда усложнение фасонной части диктуется ограниченностью габаритов установки, сопротивление является вредным, и его следует уменьшить. Потери в таких фасонных частях могут быть значительно снижены расширением отдельных ее поперечных сечений. Эффективно уменьшают сопротивление направляющие лопатки, установленные на поворотах под острыми углами (см. параграф 6-1). Такое мероприятие не требует изменения размеров фасонной части. Сопротивление заметно снижается также при закруглении поворотов.

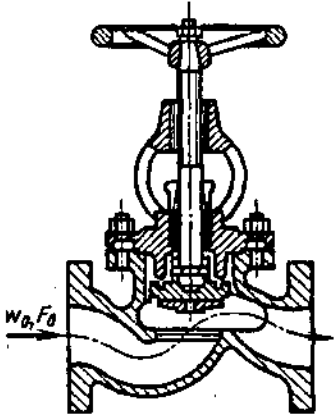
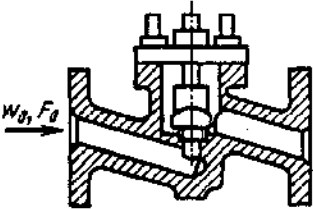
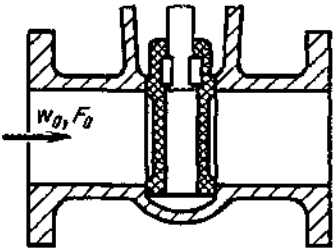
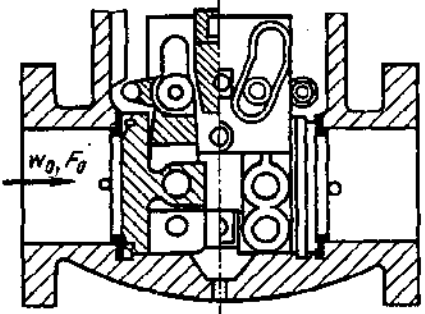
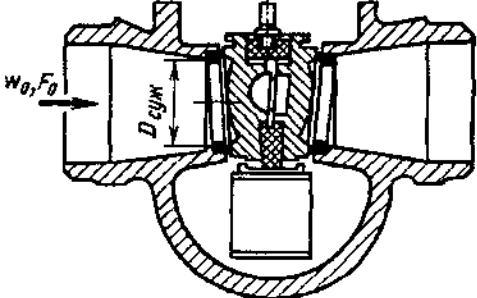
Для препятствий неправильных форм, устанавливаемых в потоке, полезно применять обтекатели.

## 9-2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Клапаны и задвижки при полном открытии в сети:  $Re = w_0 D_c / \nu > 10^4$   
[9-26, 9-35, 9-37]

Диаграмма  
9-1

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

<p style="text-align: center;"><math>Re = w_0 D_0 / \nu</math> Клапан типа «Рэй», <math>\zeta = 3,4</math></p> 	<p style="text-align: center;">Клапан штампованный, <math>\zeta = 7,8</math></p> 
<p style="text-align: center;"><math>Re &gt; 10^4</math> Задвижка клинкетная, <math>\zeta = 0,2</math></p> 	<p style="text-align: center;">Задвижка с рычажным затвором, <math>\zeta = 0,75</math></p> 
<p style="text-align: center;"><math>Re &gt; 10^4</math> Задвижка с распорным грибком и выдвигной трубой,</p> 	

Клапаны и задвижки при полном открытии в сети: $Re = w_0 D_r / \nu > 10^4$ [9-26, 9-35, 9-37]	Диаграмма 9-1
--	------------------

$D_0 / D_{суж}$	1,0	1,2	1,4	1,8
$\zeta$	0,1	0,3	0,7	2,2

При  $Re < 10^4$  для всех клапанов

$$\zeta_{Re} = \frac{530 (\zeta)^{1.25} \cdot 1}{Re}$$

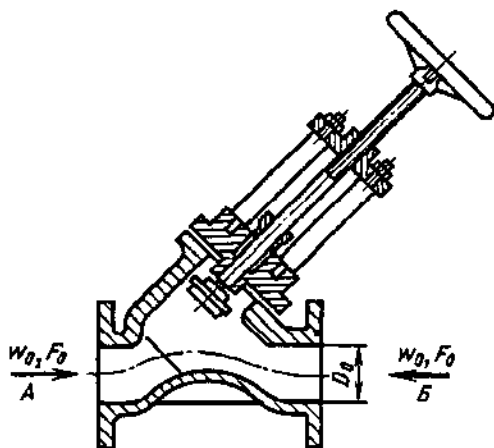
При двух последовательно установленных клапанах (задвижках) суммарный коэффициент сопротивления [9-26]

$$\zeta_{1+2} = 0,5 (\zeta_1 + \zeta_2) (2 - \beta),$$

где  $\zeta_1$  — см.  $\zeta$  первого запорного устройства;  $\zeta_2$  — см.  $\zeta$  второго запорного устройства;  $\beta = 4,2 \cdot 10^{-5} (l/D_0)^2 - 5 \cdot 10^{-3} l/D_0 + 0,15$  ( $l$  — расстояние между двумя запорными устройствами).

\*<sup>1</sup> См. сноску на диаграмме 3-1.

Клапан «Косва» при полном открытии <sup>1</sup> ; $Re = w_0 D_0 / \nu \geq 10^4$ [9-34, 9-37]	Диаграмма 9-2
--	------------------



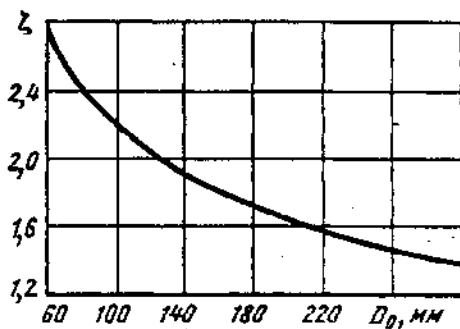
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(D_0)$$

С суженным на 30% сечением седла (по стрелке А)

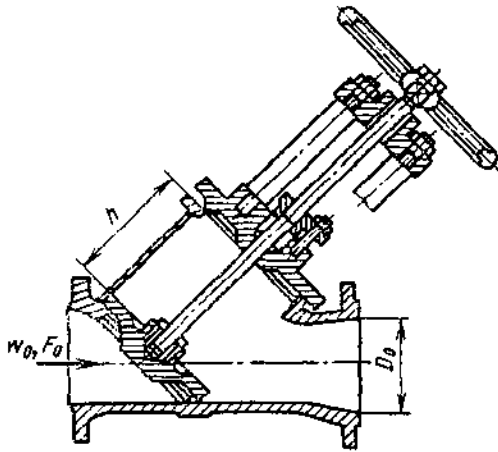
$D_0$ , мм	60	80	100	150	200	250	300	350
$\zeta$	2,70	2,40	2,20	1,86	1,65	1,50	1,40	1,30

С полным сечением седла

$D_0$		$\zeta$ (течение по стрелке А)	$\zeta$ (течение по стрелке Б)
мм	в дюймах		
25	1	1,80	1,70
32	1 1/4	2,00	1,90
40	1 1/2	1,70	1,60



<sup>1</sup> Для двух последовательно установленных клапанов  $\zeta$  см. диаграмму 9-1.



1.  $Re = w_0 D_0 / \nu \geq 3 \cdot 10^5$

Неполное открытие:

а)  $D_0 = 38$  мм и  $0,2 < h/D_0 < 0,8$

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1,28 + \frac{0,084}{(h/D_0)^2} \text{ см. график а;}$$

б)  $D_0 = 200$  мм и  $0,2 < h/D_0 < 1,0$

$$\zeta = 0,51 / \left(\frac{h}{D_0}\right)^2 \text{ см. график а.}$$

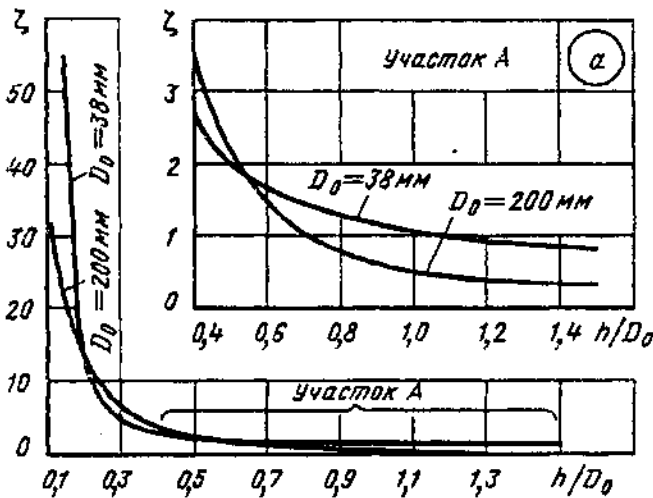
Полное открытие для диаметров  $D_0 = 25 \div 250$  мм:

$$\zeta \approx 5,2 / \sqrt{D_0} \text{ см. график б.}$$

2.  $Re < 3 \cdot 10^5$

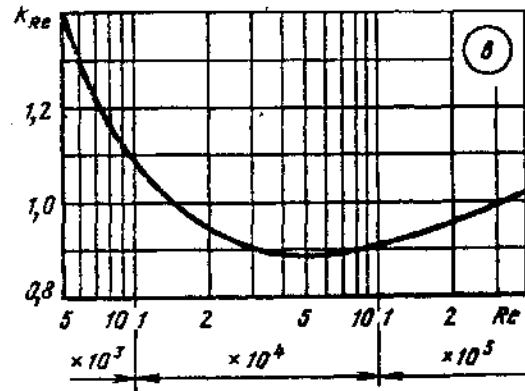
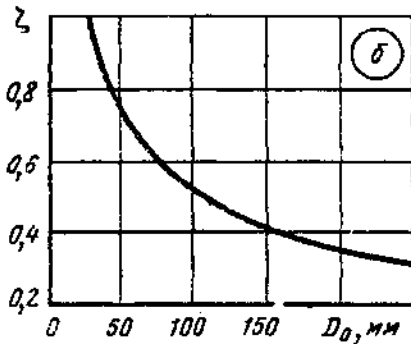
$$\zeta_{Re} = k_{Re} \zeta,$$

где  $k_{Re}$  см. график в



Значения  $\zeta$

$D_0$ , мм	$h/D_0$									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
38	12,0	4,40	2,60	2,00	1,70	1,50	1,30	1,11	0,95	0,85
200	13,0	5,80	3,20	2,00	1,40	1,00	0,80	0,50	0,40	0,36



$D_0$ , мм	25	38	50	65	75	100	125	150	200	250
$\zeta$	1,04	0,85	0,73	0,65	0,60	0,50	0,46	0,42	0,36	0,32

Re	$5 \cdot 10^3$	$10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
$k_{Re}$	1,40	1,07	0,94	0,88	0,91	0,96	1,0

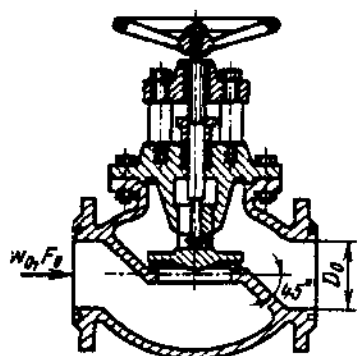
<sup>1</sup> Для двух последовательно установленных клапанов  $\zeta$  см. диаграмму 9-1.

Клапан (стандартный) с делительными стенками при полном открытии<sup>1</sup>;

$$Re = \frac{w_0 D_0}{\nu} \geq 10^4 \quad [9-34, 9-37]$$

Диаграмма

9-4



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(D_0) \text{ см. таблицу или по формуле*}$$

$$\zeta \equiv \sum_{i=0}^{n_1} a_i D_0^i$$

при  $D_0 < 0,08$  м

$$a_0 = 17,73064; a_1 = -685,2598;$$

$$a_2 = 11\,634,4; a_3 = -65\,479,38; n_1 = 3;$$

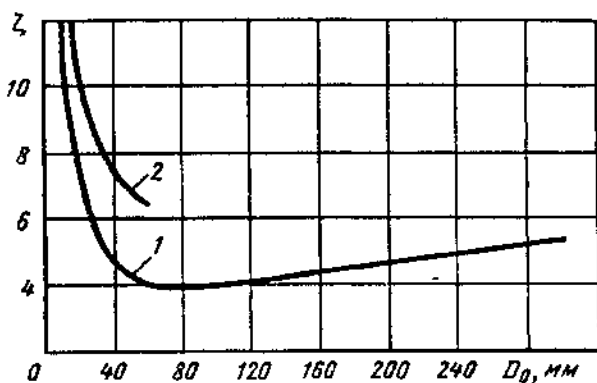
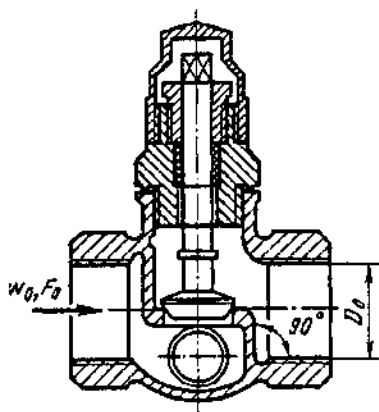
при  $D_0 \geq 0,08$  м

$$a_0 = 3,277272; a_1 = 8,66666;$$

$$a_2 = -6,060605; n_1 = 2$$

1. Делительные стенки под углом 45° (кривая 1)

$D_0$ , мм	13	20	40	80	100	150	200	250	300	350
$\zeta$	10,8	8,00	4,90	4,00	4,10	4,40	4,70	5,10	5,40	5,50



2. Делительные стенки вертикальные (кривая 2)

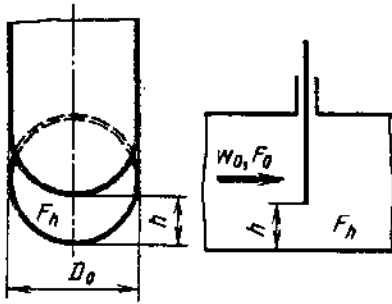
$D_0$ , мм	13	20	25	30	40	50
$\zeta$	15,9	10,5	9,30	8,60	7,60	6,90

<sup>1</sup> См. сноску к диаграмме 9-3.

\* См. сноску на диаграмме 3-1.

Задвижка в прямой трубе (без выемки для клапана);  
 $Re = w_0 D_r / \nu > 10^4$  [9-12, 9-14, 9-35, 9-17]

Диаграмма  
9-5



$$D_r = \frac{4F_0}{\Pi_0}$$

Круглое сечение

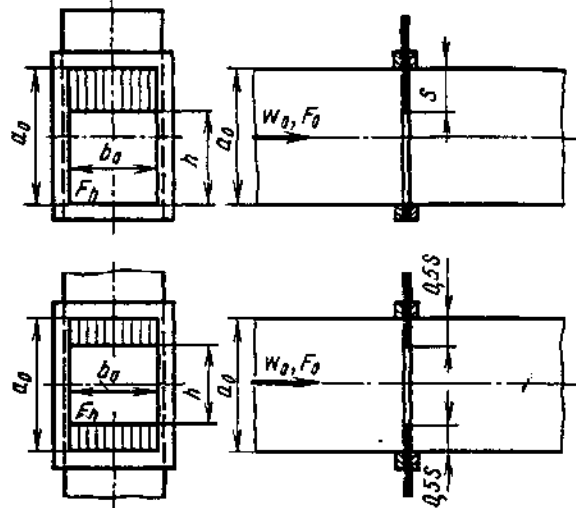
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривые } \zeta = f\left(\frac{h}{D_0} \text{ или } \frac{h}{a_0}\right)$$

или по формуле:

$$\zeta = \exp\left[2,3 \sum_{i=0}^6 a_i (h/D_0)^i\right],$$

где  $a_i$  см. ниже.

При  $0,2 \leq h/D_0 < 0,9$   $a_0 = 7,661175$ ;  $a_1 = -72,63827$ ;  $a_2 = 345,7625$ ;  $a_3 = -897,8331$ ;  $a_4 = 1275,939$ ;  
 $a_5 = -938,8331$ ;  $a_6 = 278,8193$ . При  $h/D_0 \geq 0,9$   $\zeta = 0,6 - 0,6 h/D_0$



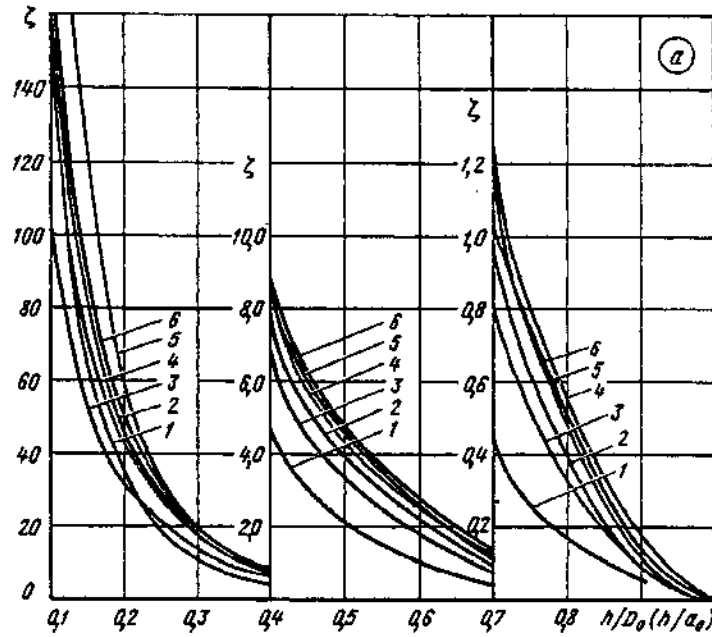
Прямоугольное сечение

Значения  $\zeta$  для односторонних задвижек (график а)

$\frac{a_0}{b_0} (a_0 \times b_0)$	$h/D_0 (h/a_0)$									
	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$F_h/F_0$ для круглого сечения									
	—	—	0,25	0,38	0,50	0,61	0,71	0,81	0,90	0,96
	Задвижка круглого сечения ( $D_0 = 25$ мм)									
Кривая 1	—	—	35,0	10,0	4,60	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06
	Задвижка прямоугольного сечения									
0,5 (25 × 50) Кривая 2	193	—	44,5	17,8	8,12	4,02	2,08	0,95	0,39	0,09
0,5 (150 × 300 мм) Кривая 3	105	51,5	30,6	13,5	6,85	3,34	1,73	0,83	0,32	0,09
1,0 (150 × 150 мм) Кривая 4	155	72,0	42,3	18,5	8,78	4,54	2,43	1,23	0,55	0,17
1,5 (225 × 150 мм) Кривая 5	330	122	58,2	19,6	9,10	4,68	2,66	1,23	0,47	0,11
2,0 (300 × 150 мм) Кривая 6	203	86,5	48,7	17,9	8,78	4,47	2,25	1,12	0,51	0,13

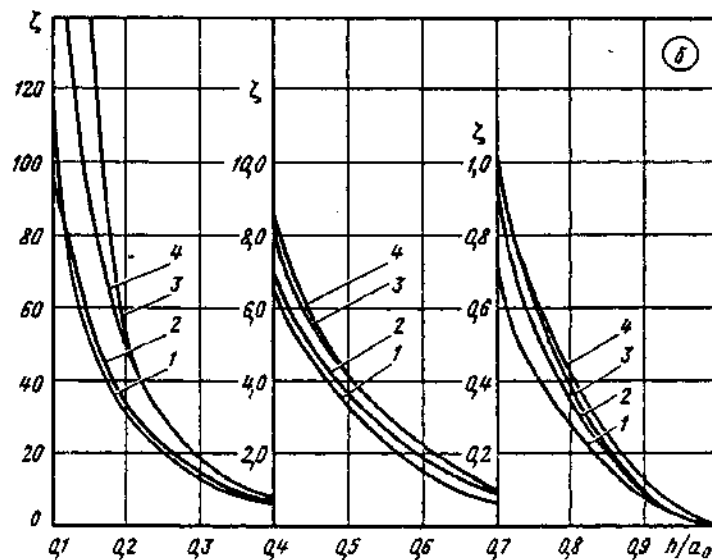
Задвижка в прямой трубе (без выемки для клапана);  
 $Re = w_0 D_1 / \nu > 10^4$  [9-12, 9-14, 9-35, 9-17]

Диаграмма  
 9-5



Значения  $\zeta$  для двусторонней задвижки прямоугольного сечения (график а)

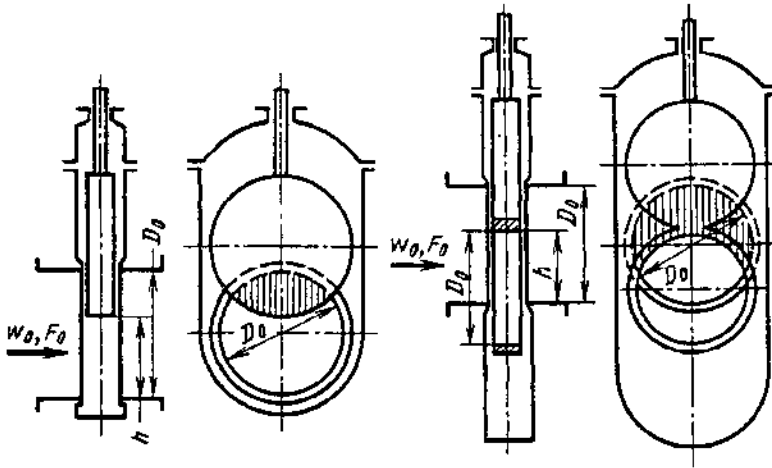
$\frac{a_0}{b_0}$	$a_0 b_0$	$h/a_0$								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,5	150 × 300 мм (кривая 1)	112	30,6	13,1	6,64	3,26	1,52	0,71	0,28	0,06
1,0	150 × 150 мм (кривая 2)	95,3	31,7	14,1	6,95	3,63	1,83	0,91	0,36	0,08
1,5	225 × 150 мм (кривая 3)	287	50,1	17,9	8,31	4,22	2,22	1,02	0,39	0,10
2,0	300 × 160 мм (кривая 4)	215	48,7	18,5	8,48	4,17	2,14	1,02	0,42	0,12





Задвижка (параллельная типа «Лудло» с выемкой для затвора)  
в прямой трубе круглого сечения;  
 $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$  [9-35]

Диаграмма  
9-6



1. Задвижка в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривые } \zeta = f(h/D_0)$$

или по формуле

$$\zeta = \exp \left[ 2,3 \sum_{i=0}^7 a_i \left( \frac{h}{D_0} \right)^i \right],$$

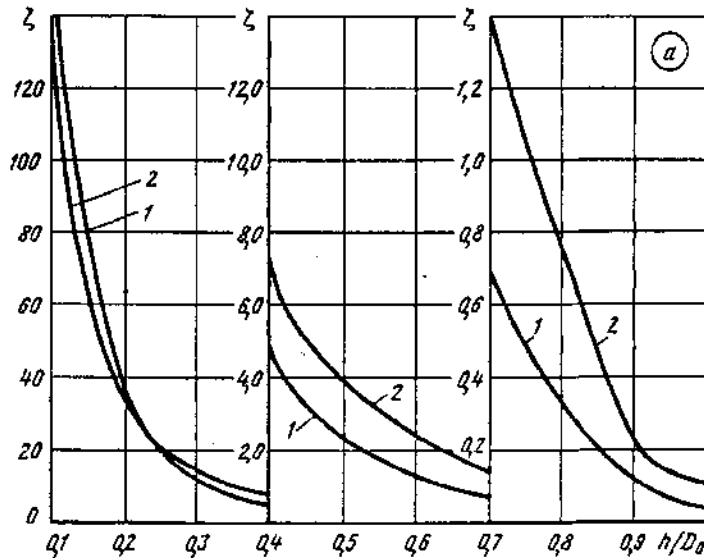
где при  $0,1 \leq h/D_0 \leq 1$   $a_0 = 3,229274$ ;  
 $a_1 = -7,258083$ ;  $a_2 = -44,79518$ ;  
 $a_3 = 337,6749$ ;  $a_4 = -967,6142$ ;  $a_5 =$   
 $= 1404,989$ ;  $a_6 = -1022,797$ ;  $a_7 =$   
 $= 295,2782$

2. Концевая задвижка (приближенно):

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1$$

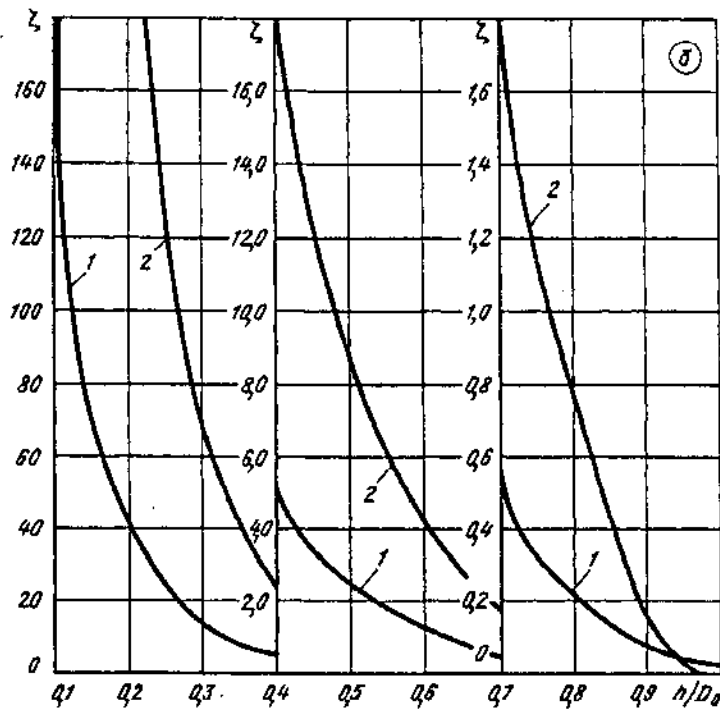
Значения  $\zeta$

Положение задвижки	$h/D_0$										
	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
С выемкой для затвора (график а)											
В сети (за задвижкой прямая труба; кривая 1)	200	77,0	33,0	11,0	4,70	2,35	1,23	0,67	0,31	0,11	0,05
Концевая (задвижка на выходе; кривая 2)	200	64,0	36,0	14,2	7,10	3,85	2,30	1,40	0,75	0,21	0,11
С полным кольцом на затворе (график б)											
В сети (кривая 1)	400	--	43,0	12,8	5,30	2,48	1,19	0,51	0,22	0,08	0,03
Концевая (кривая 2)	3900	--	260	70,0	22,0	8,7	4,00	1,85	0,78	0,15	0



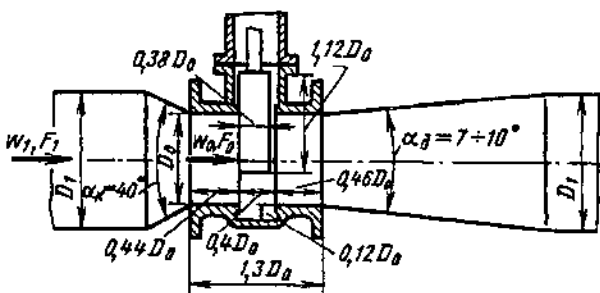
Задвижка (параллельная типа «Лудло» с выемкой для затвора)  
в прямой трубе круглого сечения;  
 $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$  [9-35]

Диаграмма  
9-6



Задвижка (параллельная типа «Лудло» с выемкой для затвора)  
в конфузорно-диффузорном переходе круглого сечения;  
 $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$  [9-14, 9-36]

Диаграмма  
9-7



1. Несимметричный переход

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(h/D_0);$$

$$\zeta_{\text{сум}} = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + \zeta_{\text{пер}},$$

где  $\zeta_{\text{пер}}$  — как  $\zeta$  по диаграмме 5-25

Значения  $\zeta$  для несимметричного перехода\*<sup>1</sup>

$\frac{D_1}{D_0}$	$h/D_0$										
	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
1,25 (кривая 1)	200	77,0	34,0	12,5	6,50	3,65	2,15	1,35	0,71	0,24	0,07
1,5 (кривая 2)	200	77,0	33,0	12,5	6,10	3,15	1,85	1,10	0,58	0,18	0,06

\*<sup>1</sup> Значения  $\zeta$  задвижки в конфузорно-диффузорном переходе не учитывают потери в этих переходах.

Задвижка (параллельная типа «Лудло»)  
в конфузорио-диффузорном переходе круглого сечения;  
 $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$  [9-14, 9-36]

Диаграмма  
9-7

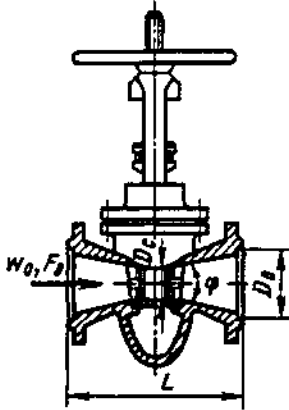
2. Симметричный переход\*<sup>1</sup>. Полное открытие

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2},$$

где  $w_c$  — скорость в узком сечении затвора.

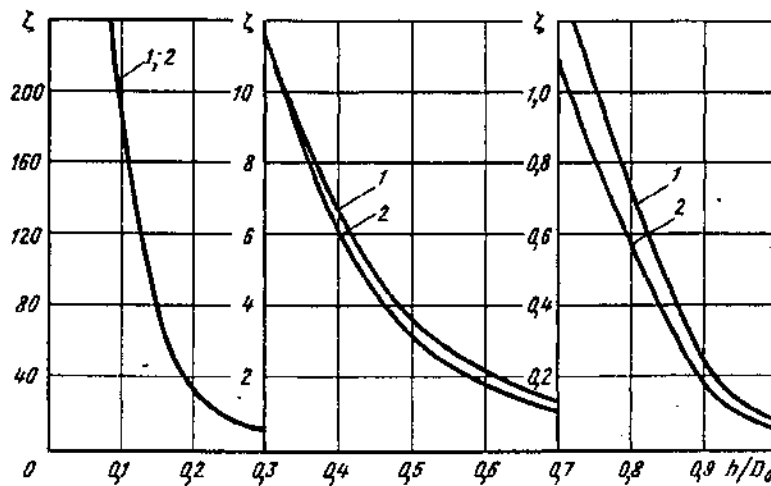
Для случая 1 [9-27]  $\zeta = 7 \operatorname{tg} \varphi [1 - (h/D_0)^2]^2 / (h/D_0)^4$ ; (1)

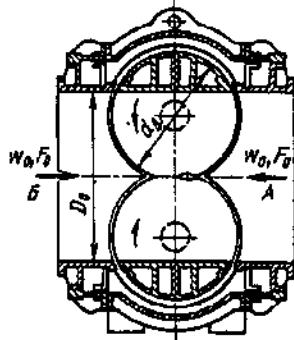
при  $Re < 10^4$  [9-13]  $\zeta_{Re} = \zeta + 530 \zeta^{1,25} / Re$ , где  $\zeta$  по (1)



$D_0$ , мм	300	300	200	250
$\frac{D_c}{D_0}$	0,67	0,67	0,75	0,80
$\frac{L}{D_0}$	2,50	1,68	1,33	1,50
1. $\zeta$ (без направляющей трубки)	0,30	0,36	0,19	0,16
2. $\zeta$ (с направляющей трубкой)	0,26	0,28	0,18	0,15

\*<sup>1</sup> Значения  $\zeta$  задвижки с симметричным переходом учитывают потери сужения и последующего расширения сечения.





1. Затвор в сети

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривые } \zeta = f(\delta).$$

2. Концевой затвор (приближенно)

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1.$$

3. Затвор в переходном участке (приближенно)

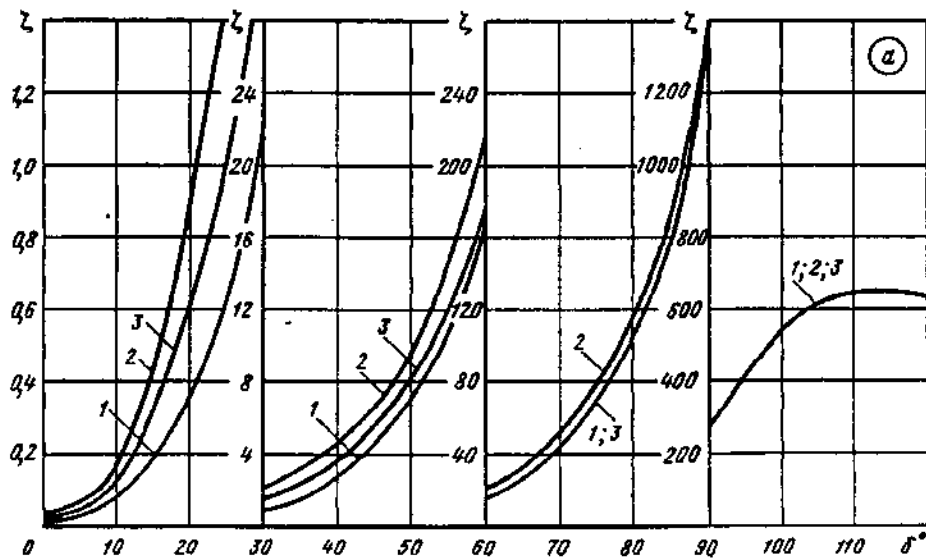
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + \zeta_{\text{пер}},$$

где  $\zeta_{\text{пер}}$  — как  $\zeta$  по диаграммам 5-25 и 5-26

Значения  $\zeta$

$D_1/D_0$	Место установки затвора	$\delta^\circ$											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	115
Прямой поток (направление <i>A—B</i> , график <i>a</i> )													
1,0	В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,02	0,08	0,36	1,08	2,80	6,80	16,9	44,0	108	277	540	620
1,0	Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,03	0,17	0,90	2,13	4,70	9,50	21,6	49,0	112	277	540	620
1,25— 1,5	В конфузорно-диффузорном переходе ( $l_1^* > 0$ ); кривая 3	0,02	0,13	0,60	1,60	3,70	7,5	18,0	44,0	106	277	540	620
Обратный поток (направление <i>B—A</i> , график <i>b</i> )													
1,0	В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,01	0,19	0,70	1,70	3,8	7,70	15,8	35,0	81,0	191	549	820
1,0	Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,03	0,24	1,00	2,60	5,50	10,8	21,5	44,0	92,0	191	540	820

\*  $l_1$  см. схему *a* диаграммы 9-20.





Клапаны (выпускные)  $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$   
[9-35, 9-36]

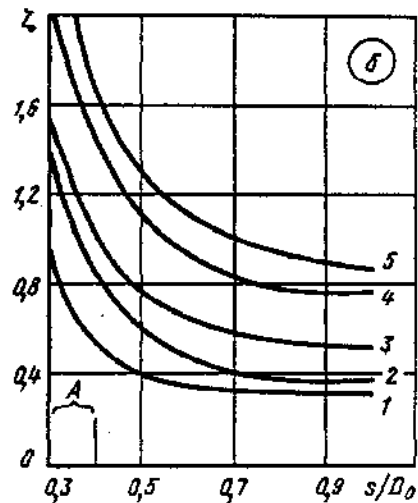
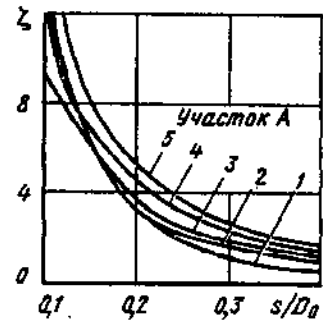
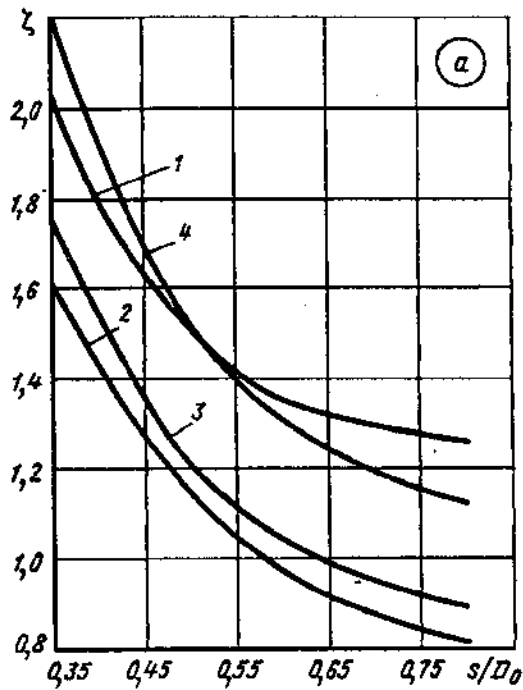
Диаграмма  
9-9

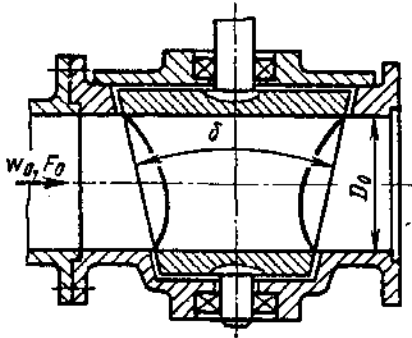
Значения  $\zeta$  (схема 1, график а)

$D_1/D_0$	$s/D_0$				
	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
1,5 (кривая 1)	1,80	1,50	1,35	1,30	1,26
1,75—2,0 (кривая 2)	1,44	1,15	0,97	0,88	0,82
3,0 (кривая 3)	1,58	1,20	1,05	0,95	0,90
$\infty$ (кривая 4)	1,82	1,50	1,30	1,19	1,12

Значения  $\zeta$  (схема 2, график б)

$D_1/D_0$	$s/D_0$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
1,5 (кривая 1)	13,0	3,10	1,04	0,51	0,39	0,33	0,32
1,75 (кривая 2)	13,8	3,08	1,45	0,85	0,35	0,41	0,35
2,0 (кривая 3)	9,42	3,50	1,50	1,01	0,76	0,58	0,51
2,5 (кривая 4)	11,9	4,31	2,17	1,44	1,10	0,84	0,76
3,0 (кривая 5)	16,0	4,92	2,51	1,66	1,28	1,00	0,86





1. Кран в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривую } \zeta = f(\delta).$$

2. Концевой кран (приближенно):

$$\zeta_k \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1.$$

3. Кран в переходном участке (приближенно):

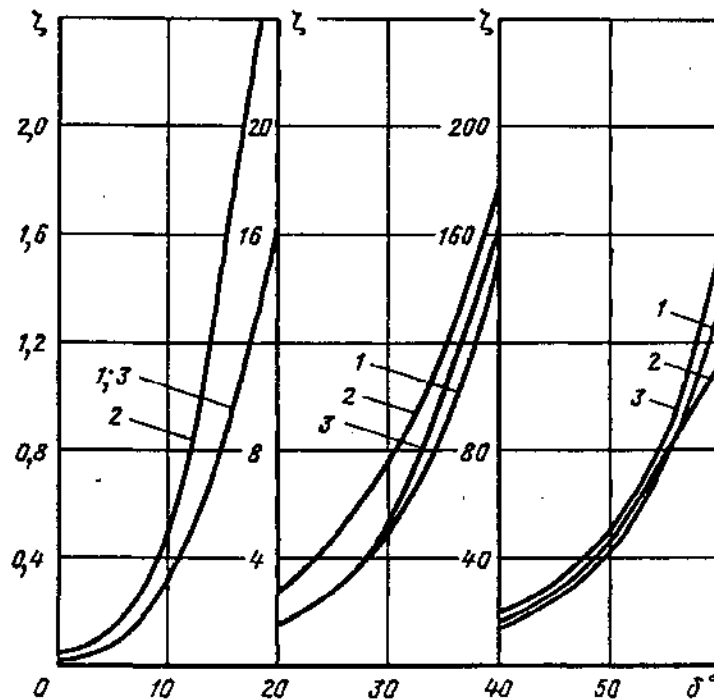
$$\zeta_{\text{сум}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + \zeta_{\text{пер}},$$

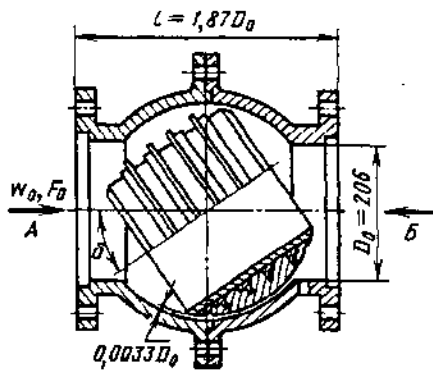
где  $\zeta_{\text{пер}}$  — как  $\zeta$  по диаграммам 5-24 и 5-25

Значения  $\zeta$

$D_1/D_0$	Место установки затвора	$\delta^\circ$									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
<b>Кран в прямой трубе</b>											
1,0	В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,04	0,36	1,60	5,00	15,0	42,5	130	800	2500	6000
1,0	Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,05	0,51	2,75	7,70	17,5	48,5	150	810	2500	6000
<b>Кран в конфузorno-диффузornoм переходе; <math>\alpha_k = 40^\circ</math>; <math>\alpha_n = 7^\circ</math></b>											
1,25— 1,5	В сети; кривая 3	0,04	0,36	1,60	5,20	16,0	45,0	110	250	490	2500

\*  $l_1$  см. схему а диаграммы 9-20.





1. Затвор в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривую } \zeta = f(\delta)$$

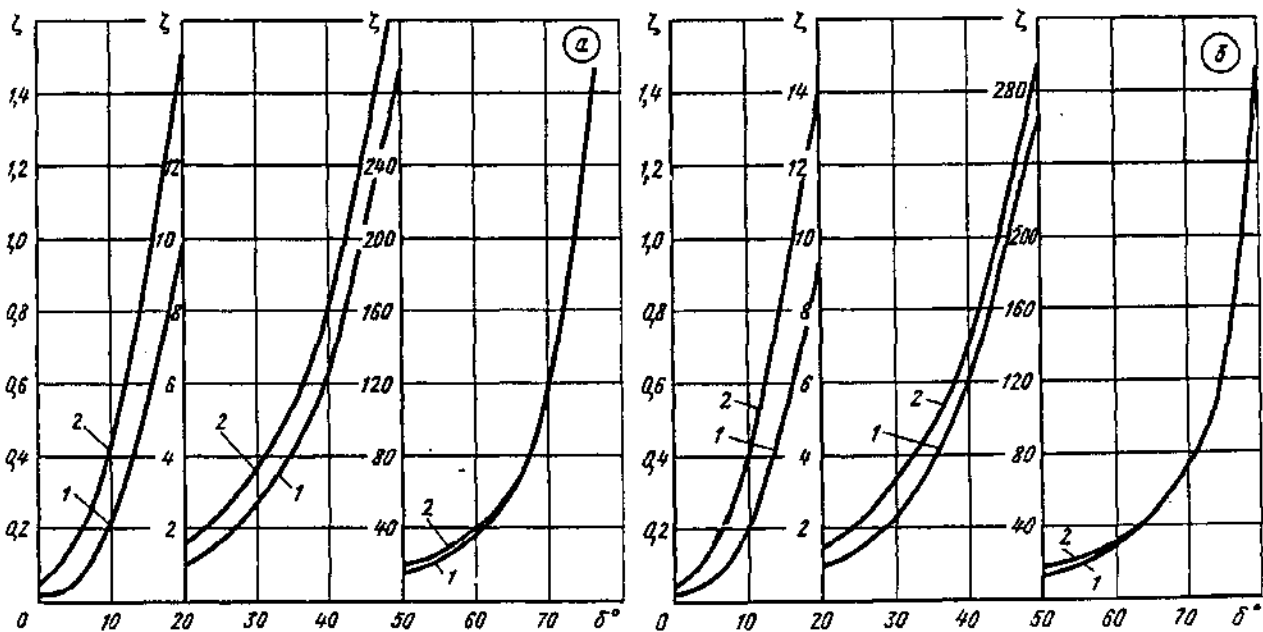
2. Концевой затвор (приблизительно):

$$\zeta_n \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1$$

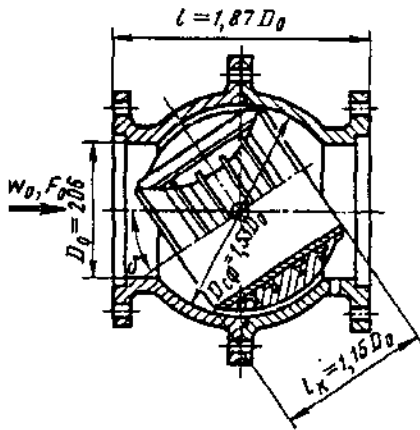
Значения  $\zeta$

Место установки затвора	$\delta^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1 Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	Прямой поток (направление А—Б, график а)									
	0,02	0,23	0,98	2,70	6,40	14,8	35,7	116	815	4450
В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1 Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	Прямой поток (направление Б—А, график б)									
	0,02	0,22	0,93	2,30	6,00	13,5	30,0	74,5	288	425
	0,04	0,41	1,40	3,25	6,95	15,0	31,5	74,5	288	425

\*  $l_1$  см. схему а, диаграммы 9-20.







1. Затвор в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривую } \zeta = f(\delta)$$

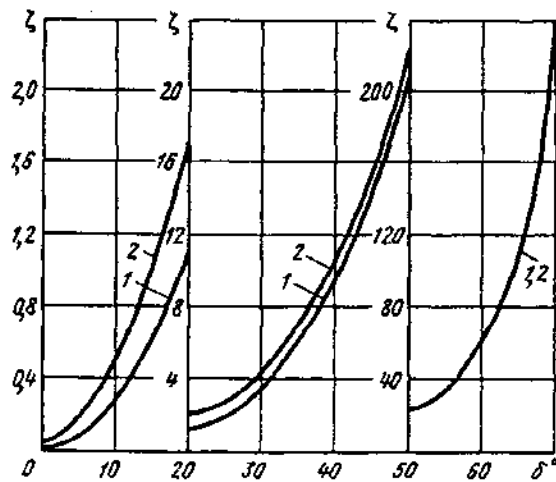
2. Концевой затвор (приблизительно):

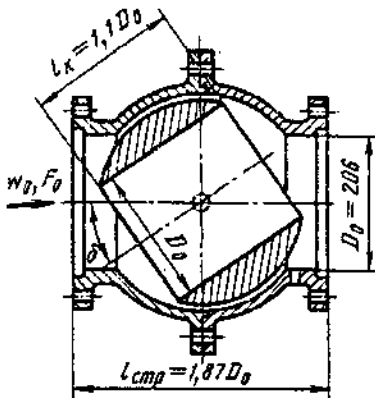
$$\zeta_{\text{к}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1$$

Значения  $\zeta$

Место установки затвора	$\delta^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,02	0,29	1,10	3,50	9,50	21,7	59,0	278	10 000	
Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,04	0,50	1,80	4,30	10,3	22,8	59	278	10 000	

\*  $l_1$  см. схему а диаграммы 9-20.





1. Затвор в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. кривые } \zeta = f(\delta)$$

2. Концевой затвор (приближенно):

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1$$

3. Затвор в переходном участке (приближенно):

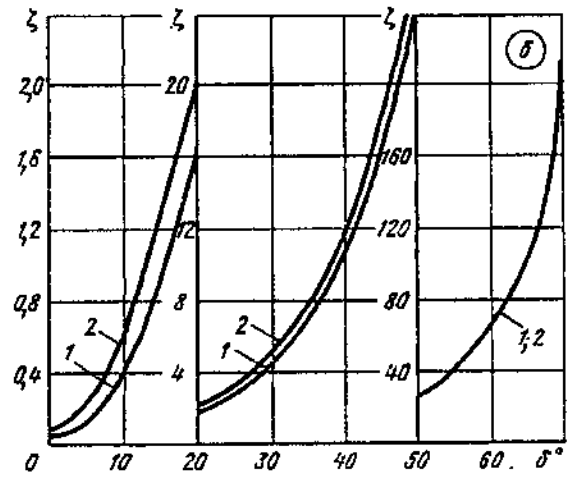
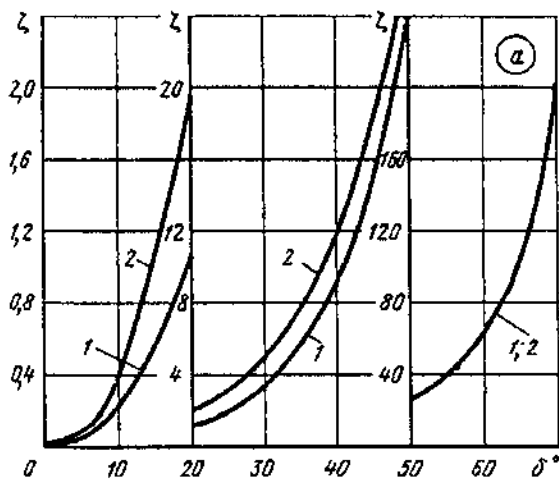
$$\zeta_{\text{сум}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + \zeta_{\text{пер}}$$

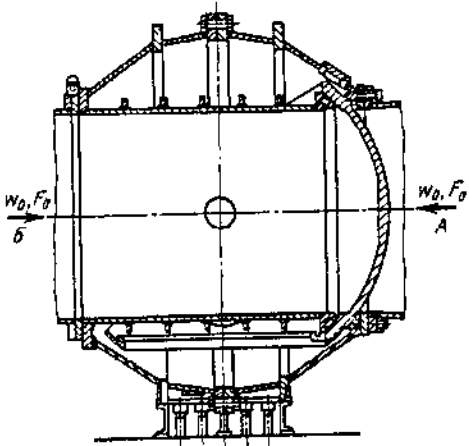
где  $\zeta_{\text{пер}}$  — как  $\zeta$  по диаграммам 5-25 и 5-26

Значения  $\zeta$

$D_1/D_0$ ; место установки затвора	$\delta^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	75	85
1,0; в сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1 1,0; концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	Затвор в прямой трубе (график а)									
	0,02	0,21	1,07	3,35	9,20	24,0	65,0	204	340	624
1,25; в сети; кривая 1 1,5; в сети; кривая 2	Затвор в конфузурно-диффузурном переходе (график б) $\alpha_1 = 40^\circ$ ; $\alpha_2 = 7^\circ$									
	0,04	0,38	1,70	4,35	10,9	25,5	70,0	204	330	624
	0,06	0,57	2,00	5,00	11,5	28,0	70,0	204	330	624

\*  $l_1$  см. верхнюю схему диаграммы 9-20.





1. Затвор в сети:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. таблицу и кривые } \zeta = f(\delta)$$

2. Концевой затвор (приблизенно):

$$\zeta_{\text{п}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1.$$

3. Затвор в переходном участке (приблизенно):

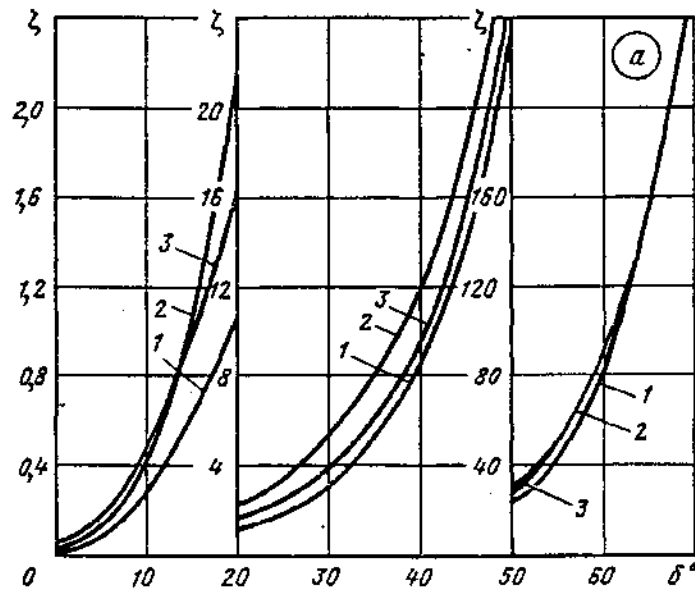
$$\zeta_{\text{сум}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + \zeta_{\text{пер}}$$

где  $\zeta_{\text{пер}}$  — как  $\zeta$  по диаграммам 5-25 и 5-26

Значения  $\zeta$

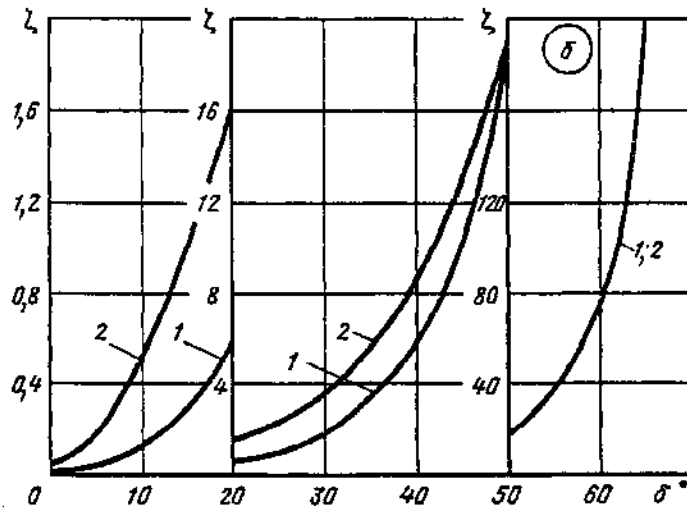
$D_1/D_0$	Место установки затвора	$\delta^\circ$								
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>Прямой поток (направление А—Б, график а)</b>										
1,0	В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,02	0,27	1,10	3,20	8,70	23,5	79,5	272	624
1,0	Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,03	0,44	2,10	5,25	12,0	30,5	91,0	277	624
1,25—	В конфузорно-диффузорном, пере- ходе ( $l_1^* > 0$ ); кривая 3	0,05	0,47	1,64	3,94	9,40	28,3	90,0	277	624
1,50										
<b>Обратный клапан (направление Б—А, график б)</b>										
1,0	В сети ( $l_1^* > 0$ ); кривая 1	0,02	0,12	0,59	1,82	5,62	18,8	79,5	398	773
1,0	Концевой ( $l_1^* = 0$ ); кривая 2	0,04	0,53	1,60	3,42	8,65	18,8	73,5	398	773

\* $l_1$  см. верхнюю схему диаграммы 9-20.



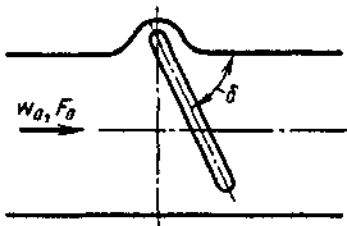
Затвор (сегментный);  $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$   
[9-35, 9-36]

Диаграмма  
9-14



Затвор («захлопка») в сети;  $Re = w_0 D_{r1} / \nu > 10^4$   
[9-7]

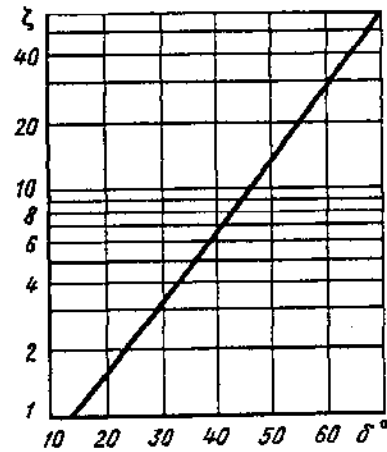
Диаграмма  
9-15



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx 0,35 \exp(0,07448 \delta)$$

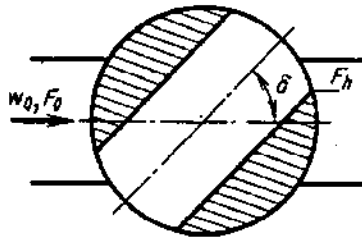
по кривой  $\zeta = f(\delta)$

$\delta^\circ$	20	30	40	50	60	70	75
$\zeta$	1,7	3,2	6,6	14	30	62	90



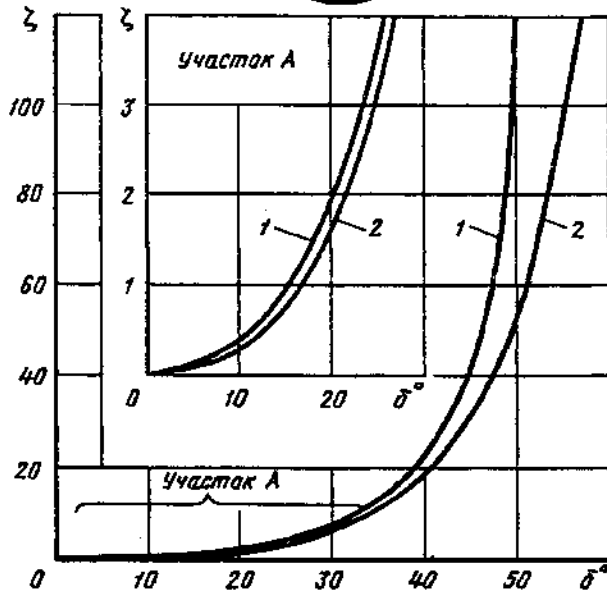
Кран в сети (цилиндрический);  $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$   
[9-47]

Диаграмма  
9-16



$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

см. кривые  $\zeta = f(\delta)$



1. Цилиндрическая труба

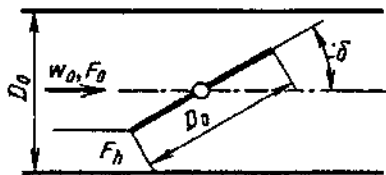
$\delta^\circ$	5	10	20	30	40	50	55	67
$\frac{F_h}{F_0}$	0,93	0,85	0,69	0,52	0,35	0,19	0,11	0
$\frac{F_0}{\zeta}$	0,05	0,31	1,84	6,15	20,7	95,3	275	$\infty$

2. Прямоугольная труба

$\delta^\circ$	5	10	20	30	40	50	60	82
$\frac{F_h}{F_0}$	0,93	0,85	0,69	0,53	0,38	0,25	0,14	0
$\frac{F_0}{\zeta}$	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206	$\infty$

Затвор (плоский дисковый) в трубе круглого сечения  
при различных  $Re = w_0 D_0 / \nu$  [9-5]

Диаграмма  
9-17



$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx \frac{120}{Re} \frac{1 + 0,5 \bar{D}_a (1 + \sin \delta)}{(1 - \bar{D}_a^2 \sin \delta)^2} + \left(1 - \frac{50}{Re}\right) \left(\frac{1,56}{1 - \bar{D}_a^2 \sin \delta} - 1\right)^2 = \frac{A}{Re} + \left(1 - \frac{50}{Re}\right) \zeta_{\text{зап}}$$

$$\text{где } A \approx 120 \left[ \frac{1 + 0,5 \bar{D}_a (1 + \sin \delta)}{(1 - \bar{D}_a^2 \sin \delta)^2} \right];$$

$$Re = w_0 D_0 / \nu;$$

при  $\delta > 25^\circ$ :

$$\zeta_{\text{зап}} = \left( \frac{1,56}{1 - \bar{D}_a^2 \sin \delta} - 1 \right)^2;$$

для всех  $\delta$ :  $\zeta_{\text{зап}} = f(\delta)$  см. график; при  $Re \leq 50$  величина  $1 - 50/Re$  принимается равной нулю

Кривая 1:  
 $D_0 = 25 \div 40$  мм;  
 $\bar{D}_a = D_a / D_0 = 0,98$ ;  
 $\bar{f} = F_h / F_0 \approx 0,92$   
(при  $\delta = 0^\circ$ ).

Кривая 2:  
 $\bar{D}_a = 1,0$ ;

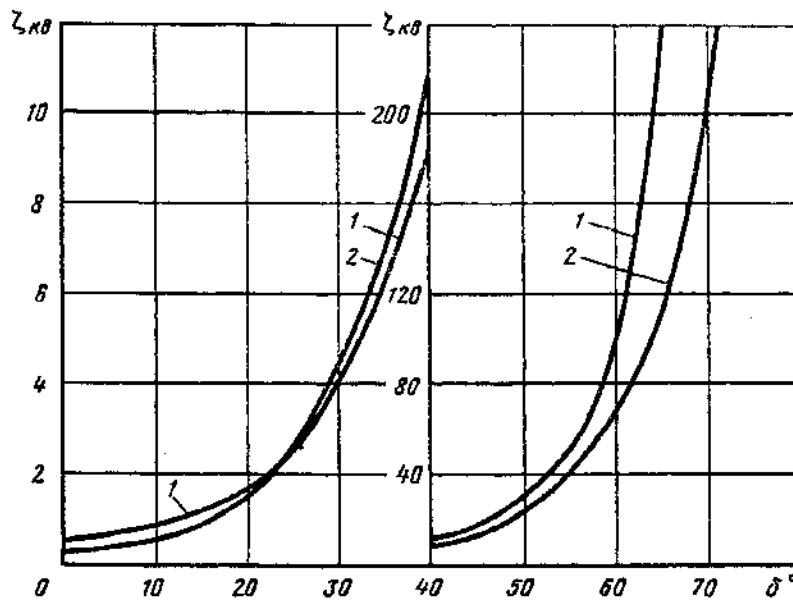
$\bar{f} \approx 0,99$  (при  $\delta = 0^\circ$ )

Затвор (плоский дисковый) в трубе круглого сечения при различных  $Re = w_0 D_0 / \nu$  [9-5]

Диаграмма 9-17

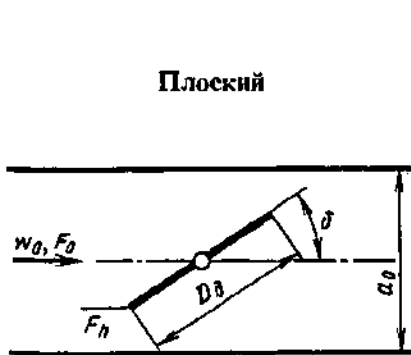
Значения  $\zeta_{кв}$

Кривая	$\delta^\circ$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	75	
1	0,60	0,85	1,70	4,00	9,40	24,0	67,0	215	400	
2	—	0,52	1,54	4,50	11,0	29,0	105	625	—	



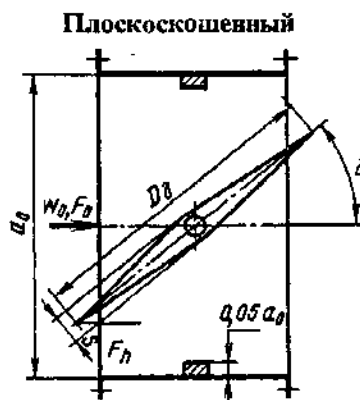
Затвор (одностворчатый) в трубе прямоугольного сечения любые  $Re = w_0 D_c / \nu$  [9-6, 9-28, 9-35]

Диаграмма 9-18



$$\bar{f} = F_h / F_0 \approx 0,99 \text{ (при } \delta = 0^\circ);$$

$$\bar{D}_x = D^2 / a_0 = 1,0$$



$$\bar{f} = F_h / F_0 = 0,725 \text{ (при } \delta = 0^\circ);$$

$$\bar{D}_x = 1,0$$

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx \frac{120}{Re} \times$$

$$\times \frac{1 + 0,5(1 + \sin \delta)}{(1 - \sin \delta)^2} +$$

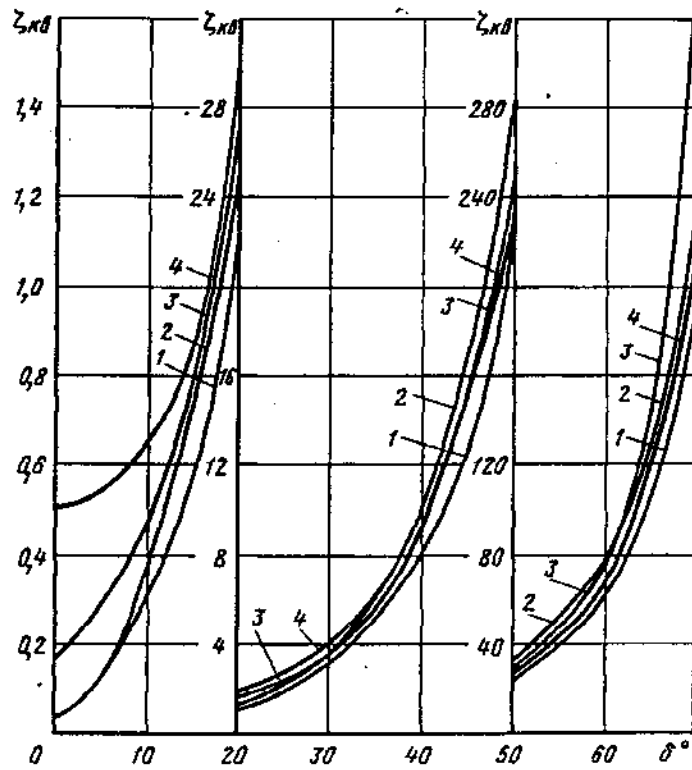
$$+ (1 - 50/Re) \zeta_{кв}$$

при  $Re \leq 50$  величина  $1 - 50/Re$  принимается равной нулю;  $\zeta_{кв} = f(\delta)$  см. график

Затвор (одностворчатый) в трубе прямоугольного сечения любые $Re = w_0 D_r / \nu$ [9-6, 9-28, 9-35]	Диаграмма 9-18
--	-------------------

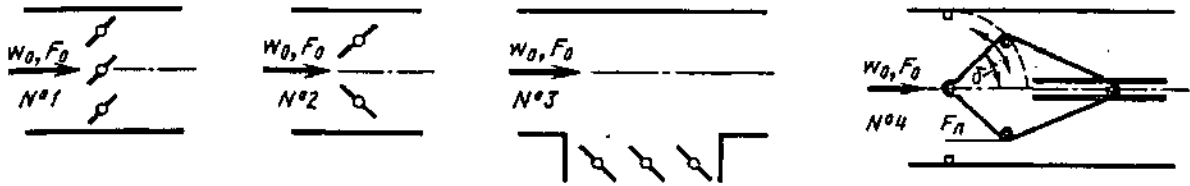
Значения  $\zeta_{\Sigma}$

$a_0/b_0$	$a_0$	$\delta^\circ$									
		0	10	20	30	40	50	60	65	70	
<b>Клапан плоский, тонкостенный</b>											
0,5-1	150-300 мм; кривая 1	0,04	0,30	1,10	3,00	8,0	23,0	60	100	190	
1,5-2	150-300 мм; кривая 2	0,04	0,35	1,25	3,60	10,0	29,0	80,0	—	230	
0,5	25-40 мм; кривая 3	—	0,45	1,34	3,54	9,3	25,0	77,0	158	368	
<b>Клапан плоскоскошенный</b>											
0,5-1	200-400 мм; кривая 4	0,50	0,65	1,60	4,00	9,4	24,0	67,0	120	215	



Затворы (параллельно- и непараллельно-створчатые, тонкостенные) в трубе квадратного сечения; любые  $Re = w_0 D_r / \nu$  [9-6, 9-29, 9-35]

Диаграмма 9-19

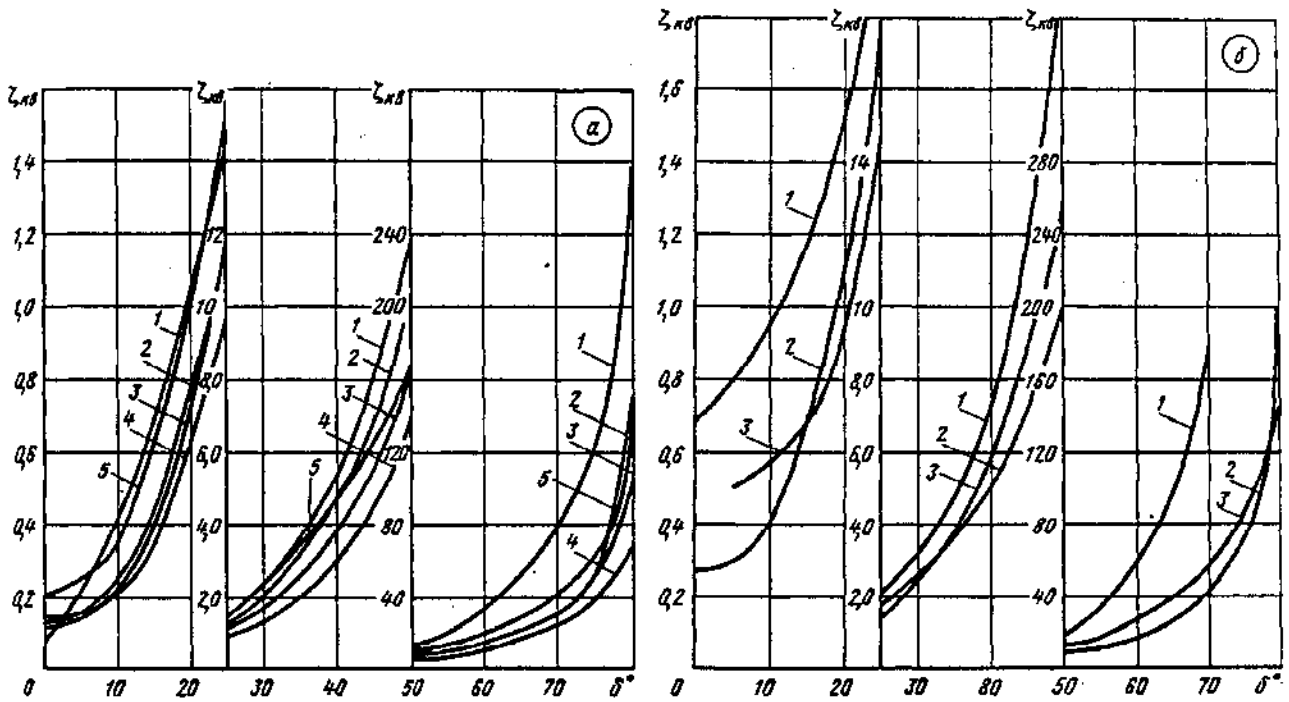


$$\bar{f} = F_x / F_0 \approx 0,99 \quad (\text{при } \delta = 0^\circ);$$

$$\bar{f} = 0,725 \quad (\text{при } \delta = 0^\circ)$$

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx \frac{120}{Re} \cdot \frac{1 + 0,5(1 + \sin \delta)}{(1 - \sin \delta)^2} + \left(1 - \frac{50}{Re}\right) \zeta_{\text{кр}};$$

при  $Re \leq 50$  величина  $1 - 50/Re$  принимается равной нулю;  $\zeta_{\text{кр}} = f(\delta)$  см. график



Значения  $\zeta_{\text{кр}}$

Количество створок (№ кривой)	$\delta^\circ$								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>Параллельно-створчатые затворы (схема 1, график а)</b>									
2 (кривая 1)	0,07	0,40	1,10	2,20	5,50	11,5	30,6	80,0	300
3 (кривая 2)	0,14	0,25	0,80	2,00	4,50	10,0	20,0	40,0	140
4 (кривая 3)	0,12	0,22	0,73	1,70	4,00	8,00	14,0	30,0	110
5 (кривая 4)	0,15	0,20	0,65	1,50	3,00	7,00	13,0	25,0	70,0
6 (кривая 5)	0,20	0,35	1,00	2,30	4,80	8,50	16,0	35,0	150
<b>Непараллельно-створчатые затворы (схема 2, график б)</b>									
2 (кривая 1)	0,70	0,95	1,50	3,00	7,50	20,0	55,0	180	800

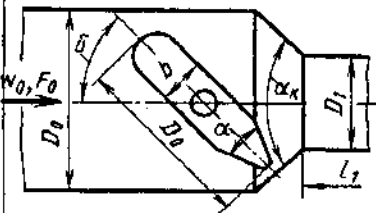
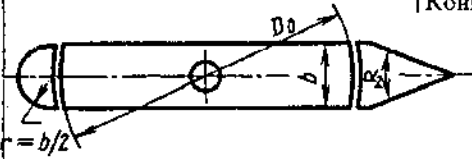
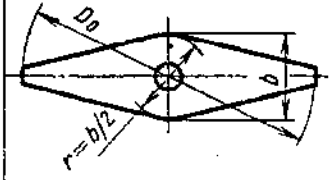


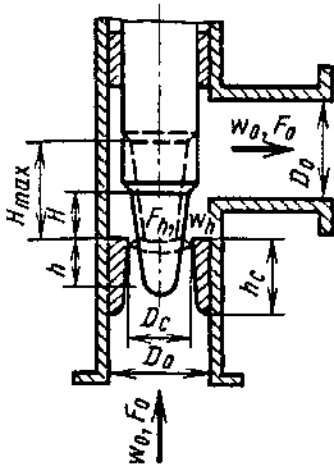
Затворы (параллельно- и непараллельно-створчатые, тонкостенные) в трубе квадратного сечения; любые $Re = w_0 D_T / \nu$ [9-6, 9-29, 9-35]	Диаграмма 9-19
---	----------------

Количество створок (№ кривой)	$\delta^\circ$								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Параллельно-створчатые затворы на боковом ответвлении (схема 3, график б)									
3 (кривая 2)	0,28	0,40	1,10	2,50	5,00	10,0	18,0	42,0	200
Обтекаемые затворы (схема 4, график б)									
2 (кривая 3)	—	0,57	0,92	2,50	5,80	12,5	28,0	58,0	130

Затворы дисковые различной формы в трубе круглого сечения при полном открытии ( $\delta=0$ ); $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^5$ [9-36]	Диаграмма 9-20
--	----------------

Для концевых затворов  $\zeta_{пл} = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta + 1$  (приблизительно)

Характеристика затвора (оптимальная) и его схема	Значения $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$						
	$D_0/D_1$ ; место установки затвора	$b/D_0$					
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Несимметричный $\alpha = 40^\circ$ ; $\alpha_r = 40^\circ$ 	1,0; в сети	0,06	0,098	0,175	0,315	0,525	0,800
	1,4—1,8; в сети ( $l_1 > 0$ )	—	0,082—0,085	0,090—0,100	0,110—0,125	0,180—0,200	0,200—0,250
	1,35; концевой ( $l_1 = 0$ )	—	0,085	—	0,195	—	0,275
	1,0; концевой ( $l_1 = 0$ )	—	—	—	0,405	—	—
Плоский с неподвижными обтекателями $\alpha_2 = 20^\circ$ ; $D_0/D_1 = 1,0$ 	В сети ( $l_1 > 0$ )	0,05	0,07	0,09	0,13	0,17	0,23
	Концевой ( $l_1 = 0$ )	—	0,100	—	0,150	—	0,135
Плоскоскошенный $D_0/D_1 = 1,0$ 	В сети ( $l_1 > 0$ )	0,08	0,15	0,33	0,53	0,70	—



$$D_r = 4F_h / \Pi \Delta; \\ Re_h = w_h D_r / (4\nu)$$

1. Угловой односедельный клапан при  $1,7 \leq h/D_r \leq 30$ :

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{A_1}{Re_h} + \zeta_{1\text{кв}},$$

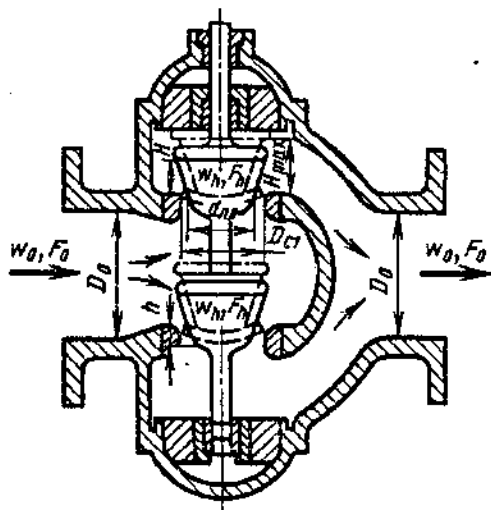
где

$$A_1 = 4,1h/D_r + 23; \quad \zeta_{1\text{кв}} = (1 - F_h/F_0)^2 + 0,18;$$

$$\zeta_0 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta \left( \frac{F_0}{F_h} \right)^2 = \frac{A_1}{Re_h} \left( \frac{F_0}{F_h} \right)^2 + \zeta_{01\text{кв}},$$

где  $\zeta_{01\text{кв}} = \zeta_{1\text{кв}} (F_0/F_h)^2$  см. кривую  $\zeta_{01\text{кв}} = f(F_h/F_0)$ ; при полном открытии клапана  $h/D_r \leq 1,7$ :

$$\zeta = 30/Re_h + \zeta_{1\text{кв}}; \quad \zeta_0 = 30/Re_h (F_0/F_h)^2 + \zeta_{01\text{кв}}.$$



2. Двухседельный клапан при  $4,0 \leq h/D_r \leq 60$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{A_2}{Re_h} + \zeta_{2\text{кв}},$$

где

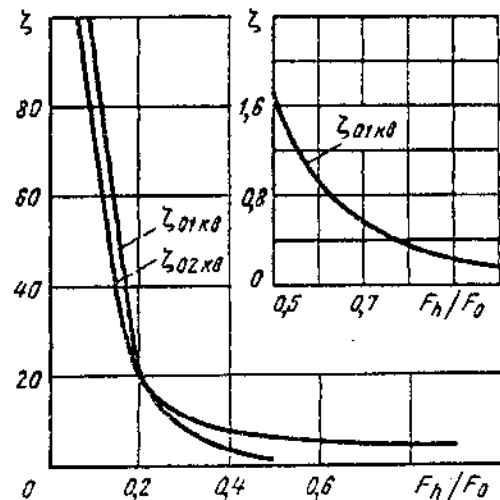
$$A_2 = 0,5h/D_r + 27; \quad \zeta_{2\text{кв}} = (1 - F_h/F_0)^2 + 4,7(F_h/F_0)^2;$$

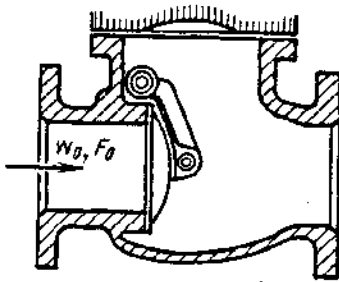
$$\zeta_0 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta \left( \frac{F_0}{F_h} \right)^2 = \frac{A_2}{Re_h} \left( \frac{F_0}{F_h} \right)^2 + \zeta_{02\text{кв}},$$

где  $\zeta_{02\text{кв}} = \zeta_{2\text{кв}} (F_0/F_h)^2$  см. кривую  $\zeta_{02\text{кв}} = f(F_h/F_0)$ ; при полном открытии клапана  $h/D_r \leq 4,0$ :

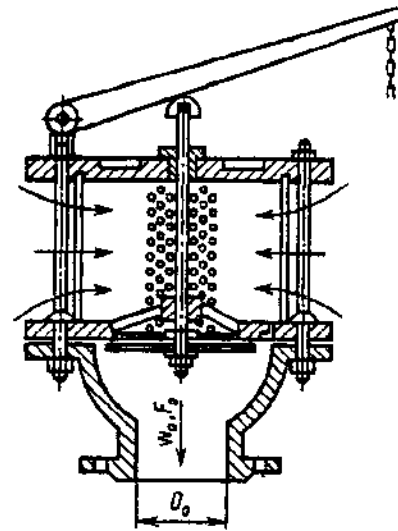
$$\zeta = 30/Re_h + \zeta_{2\text{кв}}; \quad \zeta_0 = 30/Re_h (F_0/F_h)^2 + \zeta_{02\text{кв}}$$

$F_h/F_0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{01\text{кв}}$	99,0	20,5	7,50	3,40	1,72	0,95	0,55	0,34	0,24	0,18
$\zeta_{02\text{кв}}$	86,0	21,0	10,5	7,20	5,70	5,20	4,90	4,75	4,70	4,70

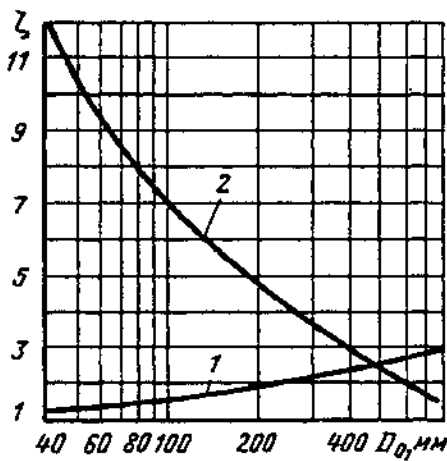




1. Обратный затвор



2. Всасывающий клапан с сеткой



а)  $Re \geq 10^4$

$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(D_0)$  см. график, таблицу или по формулам ( $D_0$  в м):

$$\text{схема 1} - \zeta = 1,0755 + 5,161422 D_0 - 6,714641 D_0^2 + 4,034111 D_0^3; \quad (1)$$

$$\text{схема 2} - \zeta = \sum_{i=0}^7 a_i D_0^i, \quad (2)$$

где  $a_0 = 22,1298$ ;  $a_1 = -382,4438$ ;  $a_2 = 3920,882$ ;  $a_3 = -22160,76$ ;  $a_4 = 70762,35$ ;  $a_5 = -126777,8$ ;  $a_6 = 118352,6$ ;  $a_7 = -44643,31$

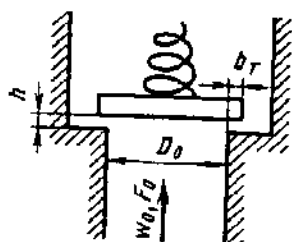
Значения  $\zeta$

Схема	$D_0, \text{ мм}$						
	40	70	100	200	300	500	750
1	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9
2	1,2	8,5	7,0	4,7	3,7	2,5	1,6

б)  $Re < 10^4$

$$\zeta_{Re} = \zeta + 530 \zeta^{1,25} / Re,$$

где  $\zeta$  по формулам (1) и (2).



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \alpha_0 + \beta_0,$$

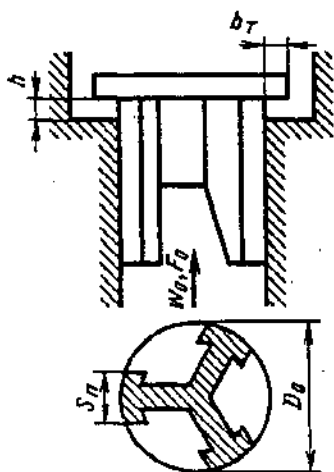
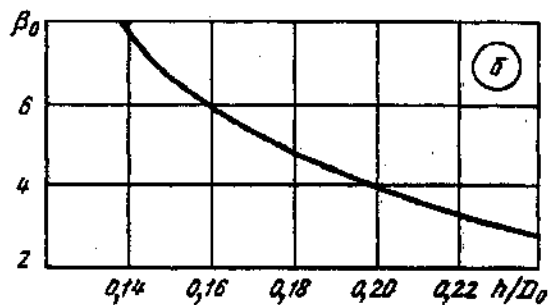
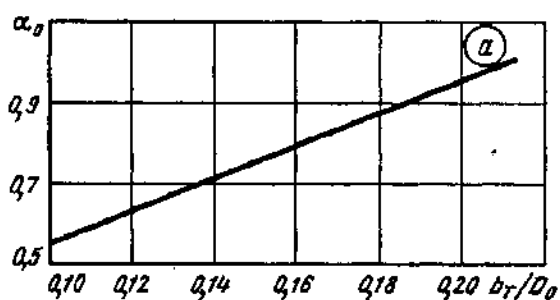
где  $\alpha_0 = 0,55 + 4 \left( \frac{b_r}{D_0} - 0,1 \right)$  см. график а;  $\beta_0 = \frac{0,155}{(h/D_0)^2}$  см. график б.

Формула верна в пределах

$$0,1 < h/D_0 < 0,25; \quad 0,1 < b_r/D_0 < 0,25$$

$b_r/D_0$	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25
$\alpha_0$	0,55	0,63	0,71	0,79	0,87	0,95	1,03	1,11	1,15

$h/D_0$	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25
$\beta_0$	15,5	10,8	7,90	6,05	4,78	3,87	3,20	2,69	2,48



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \gamma_0 \alpha_0 + \frac{\beta_1}{(\pi - i S_n / D_0)},$$

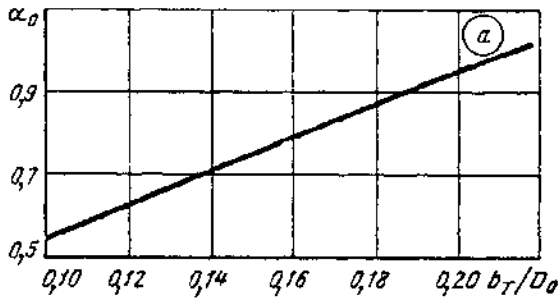
где  $\alpha_0 = 0,55 + 4 \left( \frac{b_r}{D_0} - 0,1 \right)$  см. график а;  $\gamma_0$  см. график б;  $\beta_1 = 1,73 \left( \frac{h}{D_0} \right)^{-2}$  см. график в;  $i$  — число ребер  $F_n$  — истинная площадь прохода.

Формула верна в пределах

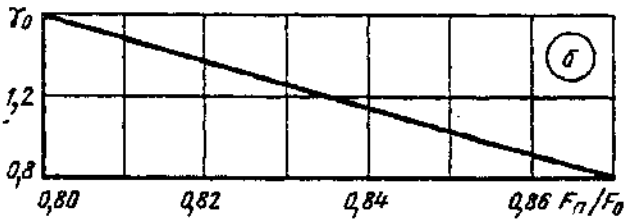
$$0,125 < h/D_0 < 0,25; \quad 0,10 < b_r/D_0 < 0,25$$

Клапан (тарельчатый) с нижними направляющими [9-30, 9-37]

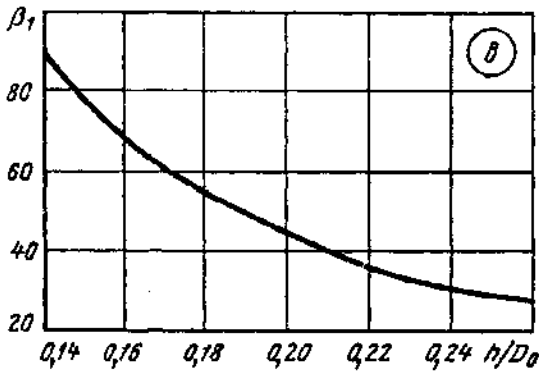
Диаграмма 9-24



$b_T/D_0$	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25
$\alpha_0$	0,55	0,63	0,71	0,79	0,87	0,95	1,03	1,11	1,15



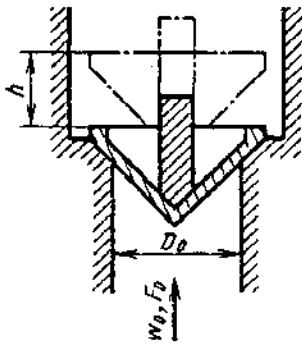
$F_n/F_0$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\gamma_0$	1,60	1,48	1,36	1,23	1,14	1,02	0,92	0,80



$h/D_0$	0,125	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25
$\beta_1$	111	88,4	67,5	53,5	43,3	35,8	30,0	27,7

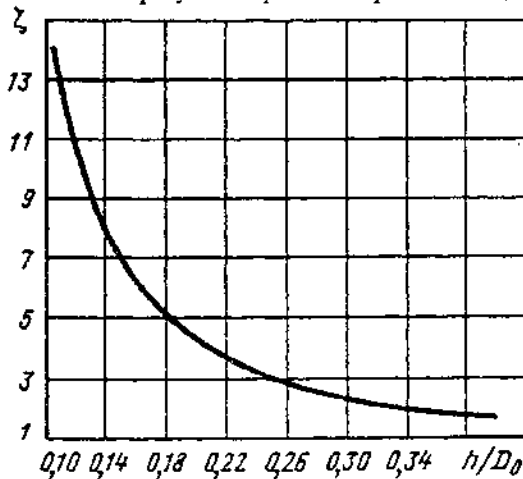
Клапан (конусный) с конусообразной поверхностью [9-30, 9-37]

Диаграмма 9-25

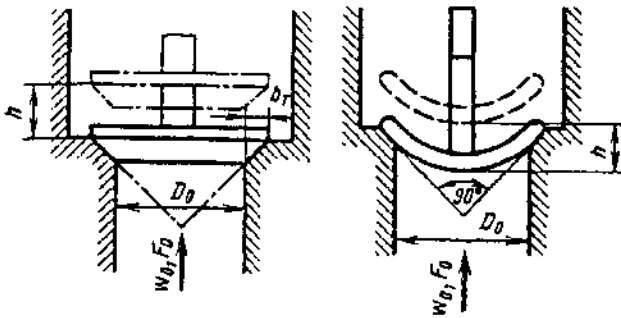


$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 0,6 + \frac{0,15}{(h/D_0)^2} = f\left(\frac{h}{D_0}\right) \text{ см. график}$$

Формула верна в пределах  $0,125 < h/D_0 < 0,4$



$h/D_0$	$\zeta$
0,10	15,6
0,15	7,27
0,20	4,35
0,25	3,00
0,30	2,27
0,35	1,82
0,40	1,54



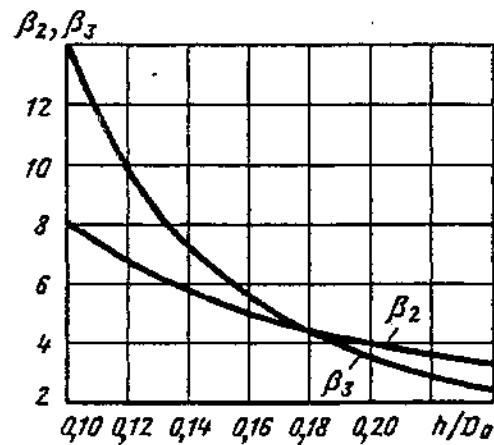
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 2,7 - \beta_2 + \beta_3,$$

$$\text{где } \beta_2 = \frac{0,8}{h/D_0} = f_1(h/D_0); \beta_3 = \frac{0,14}{(h/D_0)^2} = f_2(h/D_0).$$

Формула верна в пределах  
 $0,1 < h/D_0 < 0,25; b^*/D_0 = 0,1$

1. Клапан конусный      2. Клапан шаровой

$h/D_0$	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25
$\beta_2$	8,00	6,66	5,71	5,00	4,44	4,00	3,63	3,33	3,20
$\beta_3$	14,0	9,73	7,15	5,46	4,32	3,50	2,90	2,43	2,24



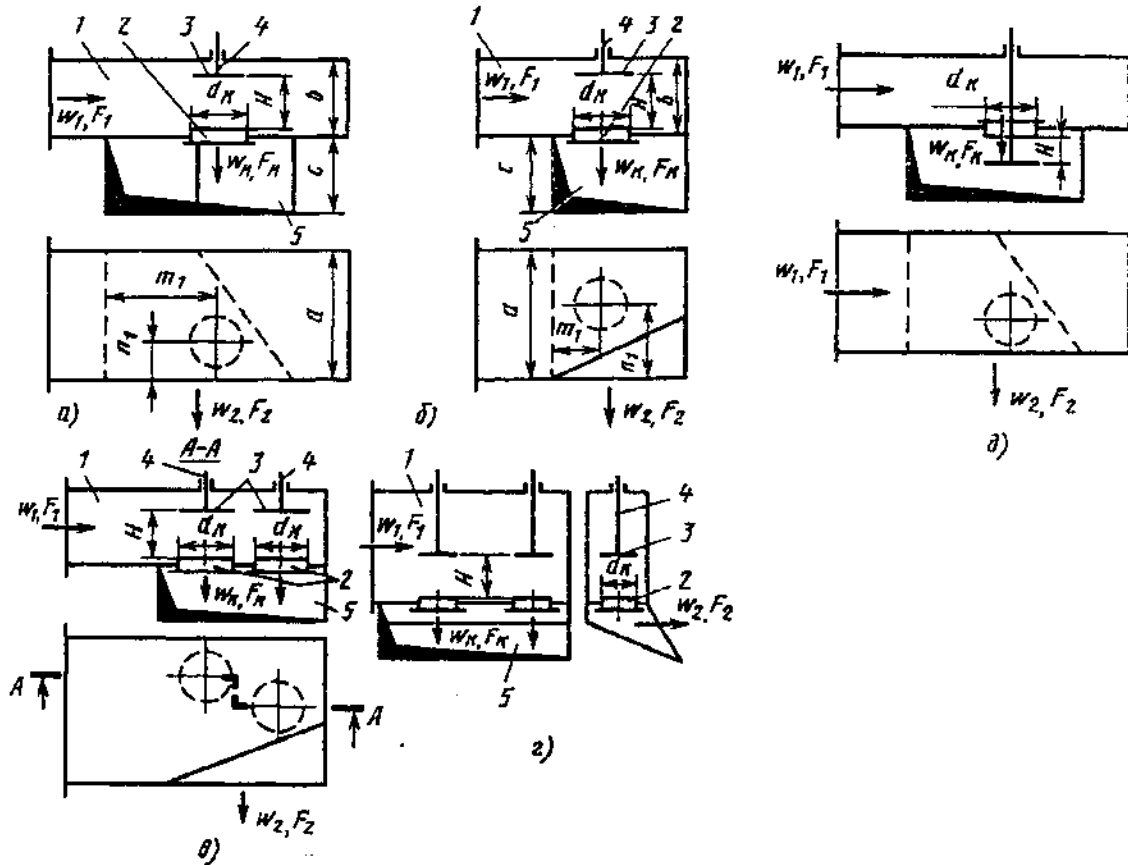
При  $0,15 < H/d_x < 0,6$

$$\zeta_x \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_x^2 / 2} \approx 0,122 (H/d_x)^{-2} + 0,195 (H/d_x)^{-1} + c; \text{ см. кривые 1—4;}$$

$$\zeta_x \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_x^2 / 2} \approx 0,075 (H/d_x)^{-2} + 0,286 (H/d_x)^{-1} + c; \text{ см. кривую 5}$$

Клапан тарельчатый в сложных условиях;  
 $Re \geq 10^4$  [9-16]

Диаграмма  
 9-27

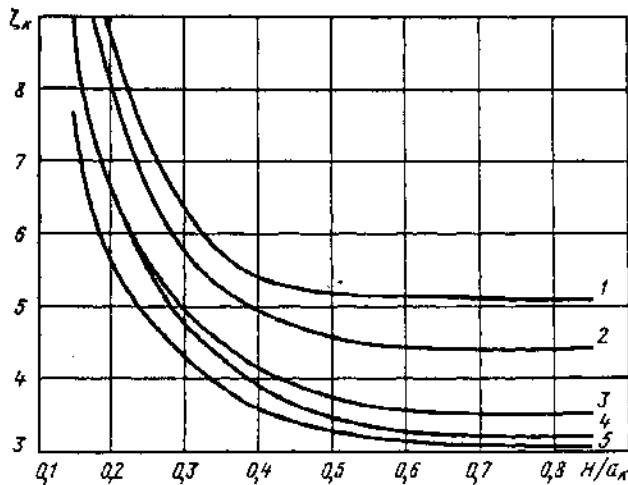


а—г—клапан открыт в направлении объема с высоким давлением; д—клапан открыт в направлении объема с низким давлением.

а—продувочный клапан;  $b=0,9 \div 2,0$ ;  $c=1,1 \div 3,3$ ;  $a=2,5 \div 2,8$ ;  $m_1=1,2 \div 2,0$ ;  $n_1=0,6 \div 1,7$ ; б—выпускной клапан:  $b=1,1 \div 2,0$ ;  $c=0,8 \div 3,5$ ;  $a=2,2$ ;  $m_1=0,7$ ;  $n_1=1,4$ ; в—выпускные клапаны; г—впускные клапаны.

1—подводящий участок; 2—седло; 3—тарелка клапана; 4—подвижный шток; 5—выпускной канал

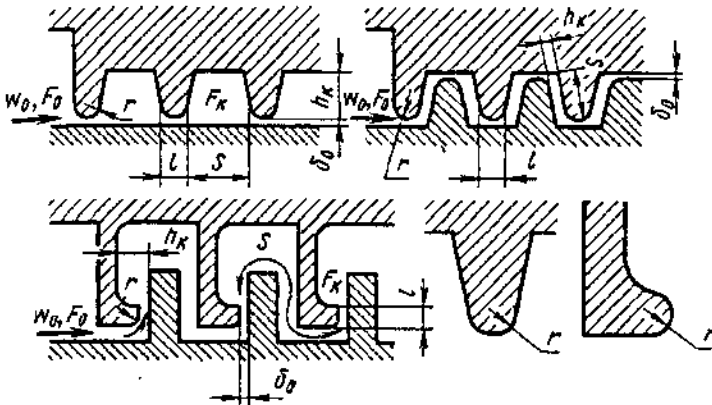
Значения  $\zeta_x$



№ кривой	Схема	$H/d_k$				
		$c_1$	0,15	0,2	0,3	0,4
1	г	4,41	—	8,85	6,35	5,40
2	в	3,71	—	8,00	5,80	5,00
3	а	2,81	8,50	6,05	5,00	4,15
4	б	2,56	8,50	6,05	4,75	3,90
5	д	2,42	7,60	5,65	4,30	3,60

№ кривой	Схема	$H/d_k$			
		0,5	0,6	0,7	0,8
1	г	5,20	5,15	5,12	5,10
2	в	4,60	4,45	4,45	4,45
3	а	3,75	3,50	3,50	3,50
4	б	3,50	3,25	3,20	3,20
5	д	3,35	3,15	3,05	3,05



$$h_k/\delta_0 \geq \delta_{rp}/\delta_0;$$

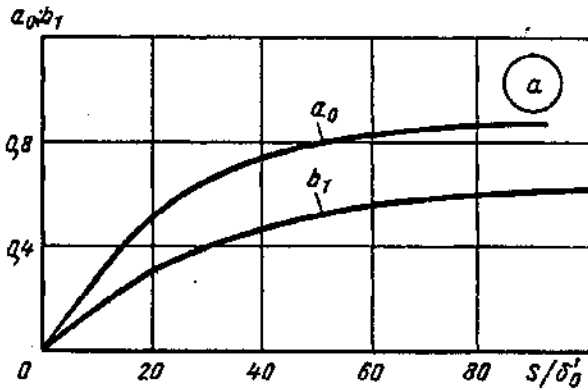
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = 1 + \zeta' + n_* (a_0 + \zeta' b_1 + \zeta_r^p);$$

$$\frac{h^*}{\delta_0} < \frac{\delta_{rp}}{\delta_0}; \quad \zeta = 1 + \zeta' + n_* (a_2 + \zeta' b_2 + \zeta_r^p),$$

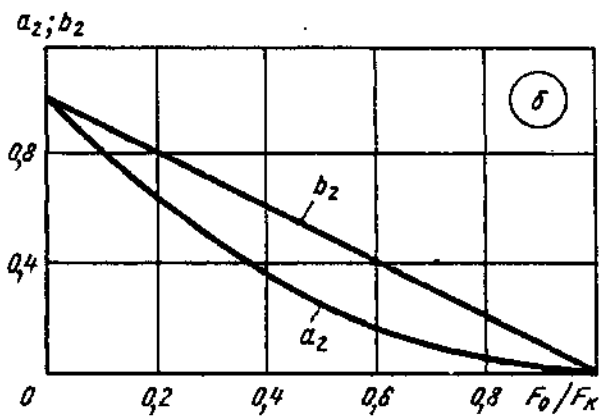
где

$$\delta_{rp}/\delta_0 = 0,24 S/\delta_0 + 1; \quad a_0 = f_1(S/\delta_0)$$

и  $b_1 = f_2(S/\delta_0)$  см. график а;  $a_2 = (1 - F_0/F^*)^2$  и  $b_2 = 1 - F_0/F^*$  см. график б;  $\zeta'$  определяется, как  $\zeta = f(r/D_0)$ , по диаграмме 3-4; при  $r/\delta_0 = 0$   $\zeta' = 0,5$ ;  $\zeta_r^p = \lambda \cdot l/D^*$ ;  $\lambda$  см. диаграммы 2-1-2-6;  $n_*$ —число ячеек лабиринта;  $D^*$ —гидравлический диаметр зазора;  $F_0$ —площадь сечения зазора;  $F^*$ —площадь поперечного сечения камеры



$S/\delta_0$	$a_0$	$b_1$
0	0	0
5	0,15	0,08
10	0,28	0,16
20	0,53	0,31
30	0,65	0,40
40	0,73	0,47
50	0,78	0,52
60	0,82	0,55
70	0,84	0,58
80	0,87	0,59
90	0,87	0,61
100	0,87	0,63



$F_0/F^* = \frac{\delta_0'}{h_k}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$a_2$	1,0	0,81	0,64	0,49	0,36	0,25
$b_2$	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
$F_0/F^* = \frac{\delta_0'}{h^*}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$a_2$	0,16	0,09	0,04	0,01	0	
$b_2$	0,40	0,30	0,20	0,10	0	



Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой через колено 90° (данные автора)

Диаграмма 9-29

Характеристика колена	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$
Со срезанным входным (выходным) участком без лопаток		$\zeta_{\text{вх}} \approx 4,8;$ $\zeta_{\text{вых}} \approx 3,7$
То же, но с лопатками		$\zeta_{\text{вх}} \approx 2,8;$ $\zeta_{\text{вых}} \approx 2,3$
С входным (выходным) участком длиной $l_0 = a_0$ , без лопаток		$\zeta_{\text{вх}} \approx 4,3;$ $\zeta_{\text{вых}} \approx 3,7$
То же с лопатками		$\zeta_{\text{вх}} \approx 2,3;$ $\zeta_{\text{вых}} \approx 1,7$

Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой через удлиненное колено 180° (данные автора)

Диаграмма 9-30

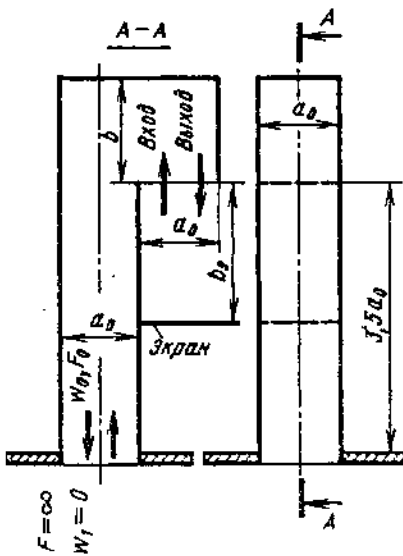
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = f\left(\frac{b}{a_0}\right)$$

Значения  $\zeta$  с экраном;  $b/a_0 = 1,0$  (см. график а)

Направление потока	$b/a_0$							
	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,6
Вход (кривая 1)	7,3	4,6	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4
Выход (кривая 2)	13	7,6	6,8	6,6	6,3	6,1	6,0	5,9

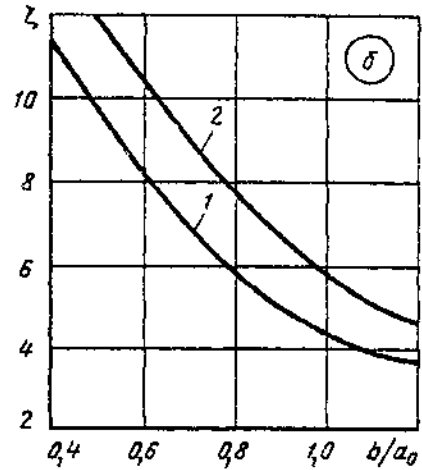
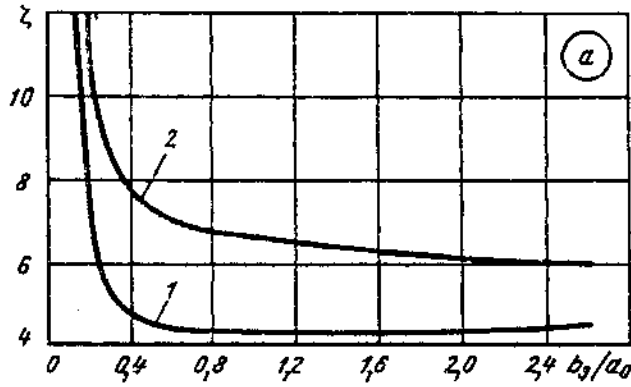
Значения  $\zeta$  без экрана (см. график б)

Направление потока	$b/a_0$					
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Вход (кривая 1)	9,5	8,0	5,8	4,4	3,6	3,2
Выход (кривая 2)	12,0	10,1	7,4	5,7	4,6	4,1



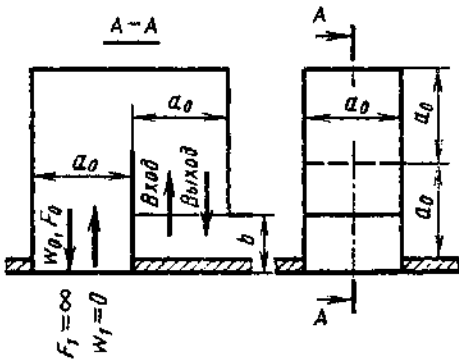
Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой через удлиненное колено 180° (данные автора)

Диаграмма 9-30



Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой через различные колена (данные автора)

Диаграмма 9-31

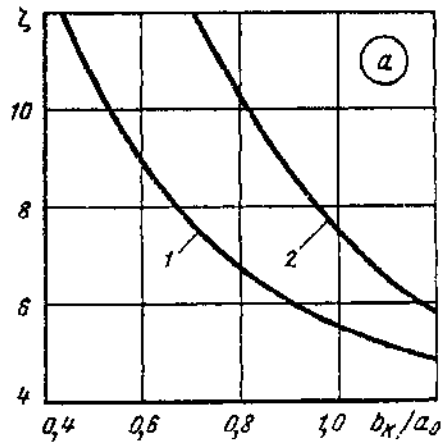
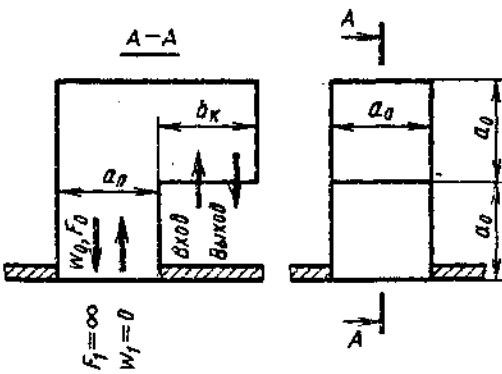


$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f\left(\frac{b}{a_0}\right) \text{ см. графики}$$

а. Значения  $\zeta$

Направление потока	$b_e/a_0$					
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Вход (кривая 1)	11,0	9,0	6,7	5,5	4,9	4,5
Выход (кривая 2)	17,2	14,5	10,2	7,4	5,8	5,1

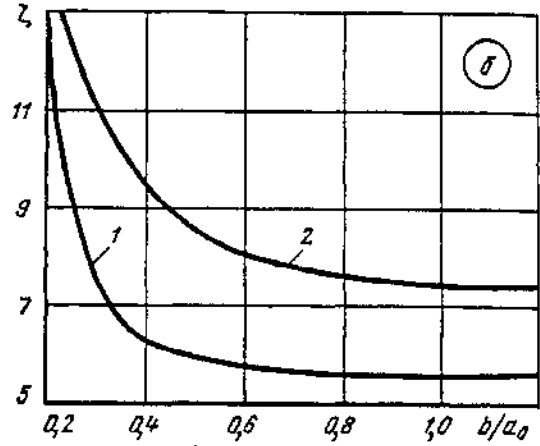
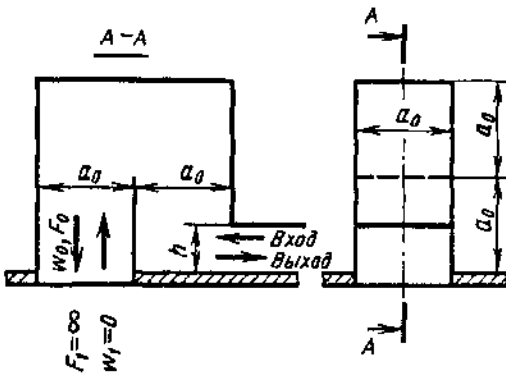
а) Короткое колено 180°



б) Колпак с трехсторонним входом (выходом)

Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой через различные колена (данные автора)

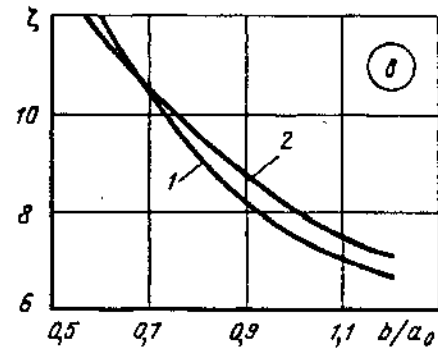
Диаграмма 9-31



в) Колпак с прямым участком на входе (выходе)

б. Значения ζ

Направление потока	b/a <sub>0</sub>					
	0,18	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Вход (кривая 1)	13,3	12,4	6,2	5,7	5,8	5,5
Выход (кривая 2)	14,2	13,9	9,4	8,0	7,6	7,5



в. Значения ζ

Направление потока	b/a <sub>0</sub>					
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Вход (кривая 1)	13,5	12,0	9,0	7,4	6,6	5,9
Выход (кривая 2)	13,0	11,7	9,5	8,0	7,1	6,3

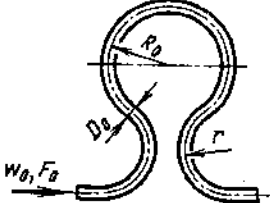
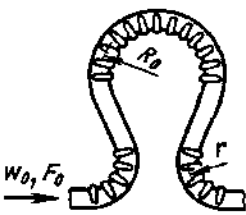
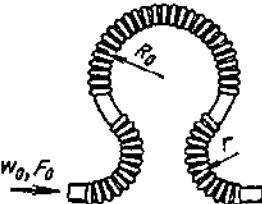
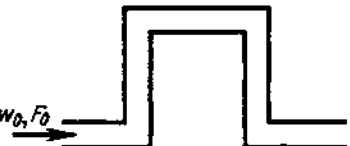
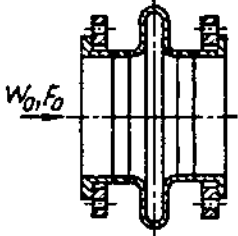
Компенсаторы [9-34]

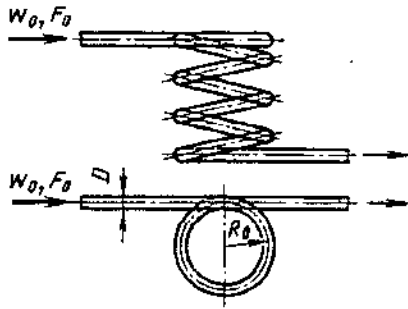
Диаграмма 9-32

Наименование компенсатора	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
Сальниковый		$\zeta = 0,2$

Компенсаторы [9-34]

Диаграмма  
9-32

Наименование компенсатора	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$														
Лирообразный, гладкий $R_0/d=6; r/d \approx 5$		$\zeta = 1,6 + 2D_0$ ( $D_0$ в м) <table border="1" data-bbox="1007 571 1423 786"> <tr> <td><math>D_0</math>, мм</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>1,7</td> <td>1,8</td> <td>2,0</td> <td>2,2</td> <td>2,4</td> <td>2,6</td> </tr> </table>	$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500	$\zeta$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500										
$\zeta$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6										
Лирообразный с фальцами $R_0/d=6; r/d \approx 6$		$\zeta \approx 1,9 + 3D_0$ ( $D_0$ в м) <table border="1" data-bbox="1007 862 1423 1070"> <tr> <td><math>D_0</math>, мм</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>2,1</td> <td>2,2</td> <td>2,5</td> <td>2,8</td> <td>3,1</td> <td>3,5</td> </tr> </table>	$D_0$ , мм	80	100	200	300	400	500	$\zeta$	2,1	2,2	2,5	2,8	3,1	3,5
$D_0$ , мм	80	100	200	300	400	500										
$\zeta$	2,1	2,2	2,5	2,8	3,1	3,5										
Лирообразный, из волнистой трубы $R_0/d=5; r/d \approx 3$		$\zeta \approx 2,875 + 4,25D_0$ ( $D_0$ в м) <table border="1" data-bbox="1007 1153 1423 1368"> <tr> <td><math>D_0</math>, мм</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>3,1</td> <td>3,3</td> <td>3,7</td> <td>4,2</td> <td>4,6</td> <td>5,0</td> </tr> </table>	$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500	$\zeta$	3,1	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0
$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500										
$\zeta$	3,1	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0										
П-образный		$\zeta = 1,9 + 2D_0$ ( $D_0$ в м) <table border="1" data-bbox="1007 1444 1423 1666"> <tr> <td><math>D_0</math>, мм</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>2,0</td> <td>2,1</td> <td>2,3</td> <td>2,5</td> <td>2,7</td> <td>2,9</td> </tr> </table>	$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500	$\zeta$	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
$D_0$ , мм	50	100	200	300	400	500										
$\zeta$	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9										
Волнистый (многоволновой), сальниковый, линзовый, угловой, осевой		$\zeta = 0,3$														



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. диаграмму 6-2}$$

**СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ ПОТОКОМ  
В ТРУБЕ (КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
УЧАСТКОВ С ВЫСТУПАМИ, РАСПОРКАМИ, ФЕРМАМИ  
И ДРУГИМИ ТЕЛАМИ)**

**10-1. ПОЯСНЕНИЯ  
И ПРАКТИЧЕСКИЕ  
РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Сопротивление участков труб и каналов, в которых помещены тела, обтекаемые потоком, складывается из сопротивления собственно участка  $\zeta_{\text{уч}}$  (для прямого участка это сопротивление трения) и сопротивления тела  $\zeta$ :

$$\zeta_{\text{сум}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{\text{уч}} + \zeta. \quad (10-1)$$

2. Мощность, требуемая на преодоление сил сопротивления тела, обтекаемого потоком в трубе, выражается через силу лобового сопротивления  $P_d$  этого тела [10-3]

$$\Delta N = P_d w_{\text{мест}} \quad (10-2)$$

Сила лобового сопротивления

$$P_d = c_x S_m \rho w_{\text{мест}}^2 / 2, \quad (10-3)$$

где

$$w_{\text{мест}} = w / (1 - \tau S_m / F_0); \quad (10-4)$$

$c_x$  — коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела, числа Рейнольдса  $Re' = w_0 d_m / \nu$  и других параметров и определяемый по данным диаграмм 10-1 — 10-15;  $S_m$ ,  $d_m$  — соответственно миделева площадь ( $m^2$ ) и диаметр или наибольшая сторона ( $m$ ) миделева сечения тела;  $w_{\text{мест}}$  — местная скорость потока [в живом сечении ( $F_0 - S_m$ )], т. е. скорость в сечении трубы за вычетом миделевой площади тела, м/с;  $w$  — скорость в данной точке сечения перед телом, м/с;  $\tau$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и сужение поперечного сечения трубы; для тел обтекаемой формы  $\tau \leq 1,0$ ; для других тел  $\tau > 1,0$  [10-3].

На диаграммах раздела 10 значения  $\tau$  взяты приближенно с учетом результатов опытов, описанных в [10-3, 10-4].

3. Указанная в п. 2 мощность может быть выражена через коэффициент местного гидравлического сопротивления участка трубы, в котором помещено тело:

$$\Delta N = \zeta \frac{\rho w_0^2}{2} w_0 F_0. \quad (10-5)$$

Совместное решение уравнений (10-1) — (10-3) выявляет связь между коэффициентом местного сопротивления  $\zeta$  и коэффициентом лобового сопротивления  $c_x$  тела:

$$\zeta = c_x S_m / F_0 (w_{\text{мест}} / w_0)^3. \quad (10-6)$$

4. В общем случае скорость течения в трубе распределена неравномерно по сечению; поэтому сопротивление тела зависит и от места расположения его в сечении.

Для случая стабилизированного ламинарного течения профиль скоростей выражается формулой

$$w/w_0 = k_1 [1 - (2y/D_0)^2], \quad (10-7)$$

где для пространственного обтекания (круг, прямоугольник при  $a_0/b_0 = 0,5 - 2,0$ )  $k_1 = 2$ , а для плоского обтекания (плоская или кольцевая щель)  $k_1 = 3/2$ ;  $y$  — расстояние между осями (центрами) тела и трубы (рис. 10-1, а и б); в случае кольцевого сечения трубы — расстояние между осью тела и средней окружностью кольца (рис. 10-1, в) в метрах.

На основании (10-4), (10-6) и (10-7) получим

$$\begin{aligned} \zeta &\equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_x \frac{S_m / F_0 k_1^3 [1 - (2y/D_0)^2]^3}{(1 - \tau S_m / F_0)^3} = \\ &= k_2 \frac{c_x S_m / F_0 [1 - (2y/D_0)^2]^3}{(1 - \tau S_m / F_0)^3}. \end{aligned}$$

5. Для случая стабилизированного турбулентного течения профиль скоростей может быть выражен приближенно степенной функцией

$$\frac{w}{w_0} = k_1 (1 - 2y/D_0)^{1/n}, \quad (10-8)$$

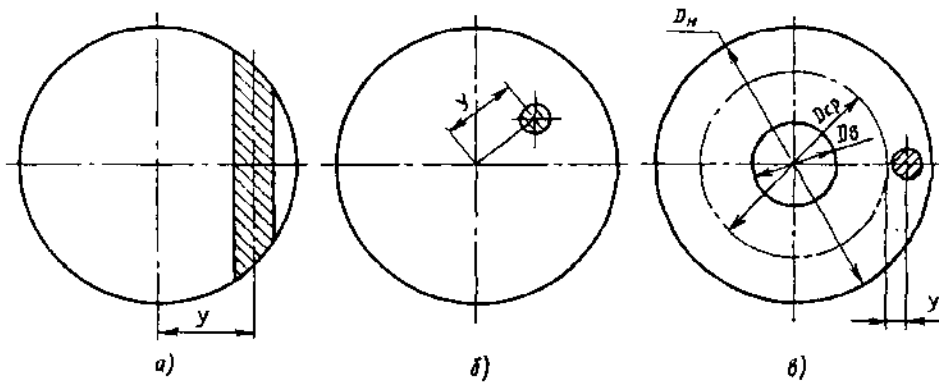


Рис. 10-1. Схема расположения тела:

а и б—соответственно при плоскопараллельном и пространственном обтекании в трубе; в—при пространственном обтекании в кольцевой трубе

где для пространственного течения [10-14, 10-15]

$$k_1 = (2m + 1)(m + 1)/(2m^2);$$

для плоского течения

$$k_1 = (m + 1)/m,$$

где  $m$ —показатель степени, который в общем случае может меняться в широких пределах (см. четвертый раздел).

Согласно (10-4), (10-6) и (10-8)

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \frac{c_x S_m/F_0 k_1^3 (1 - 2y/D_0)^{3/m}}{(1 - \tau S_m/F_0)^3} = k_2 \frac{c_x S_m/F_0 (1 - 2y/D_0)^{3/m}}{(1 - \tau S_m/F_0)^3}.$$

6. Для турбулентного течения в прямой трубе значения  $m$  и  $k_1$  приведены в табл. 10-1 в зависимости от числа  $Re' = w_0 d_m / \nu$ . В частности, когда  $Re' = 6 \cdot 10^5$ ,  $m = 9$  и  $k_1 = 1,17$ ,  $k_2 = k_1^3 = 1,6$ .

10-1. Значения  $m$  и  $k_1$

Кoeffициенты	Re					
	$4 \cdot 10^3$		$2,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$
$m$	5	6	7	8	9	10
$k_1$	1,32	1,26	1,23	1,20	1,17	1,15

Последнее значение  $k_2$  верно для тел с очень малым отношением площадей мидельса сечения тела и трубы  $S_m/F_0$  при пространственном обтекании. С увеличением  $S_m/F_0$  значение  $k_2$  уменьшается, приближаясь к единице. На соответствующих диаграммах настоящего раздела значения  $k_2$  взяты приближенно с учетом указанных обстоятельств и результатов опытов [10-4].

7. Лобовое сопротивление продолговатого тела обуславливается двумя факторами: сопротивлением трения и сопротивлением

формы. Последнее является результатом отрыва потока от поверхности тела и вызванного этим вихреобразованием. Соотношение между сопротивлением трения и сопротивлением формы тела, как и величины этих составляющих сопротивлений, зависит от конфигурации тела и положения его в потоке (угла атаки, угла скольжения), шероховатости его поверхности, числа Рейнольдса, степени и масштаба турбулентности набегающего потока\*1. Для тел плохообтекаемой формы сопротивление трения весьма мало по сравнению с общим лобовым сопротивлением. Для удобообтекаемых тел значение сопротивления трения соизмеримо с сопротивлением формы.

8. Зависимость коэффициента лобового сопротивления таких тел, как шар, цилиндр и т. п., от числа Рейнольдса очень сложна (см. диаграмму 10-1 и график а диаграммы 10-7). Наибольшее значение  $c_x$  имеет место при очень малых числах  $Re'$ . По мере увеличения числа Рейнольдса коэффициент лобового сопротивления уменьшается, достигая при определенном значении  $Re'$  (порядка  $2 - 5 \cdot 10^3$ ) первого минимума. При дальнейшем увеличении  $Re'$  наблюдается небольшое возрастание  $c_x$  до некоторого постоянного значения, которое сохраняется примерно до  $Re' = 10^5 \div 2 \cdot 10^5$ . После того как  $Re'$  достигнет этого значения (критического числа Рейнольдса), происходит резкое падение коэффициента  $c_x$  до второго минимума, который соответствует  $Re' = 3 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ . Затем наступает следующее незначительное возрастание  $c_x$ . Но начиная примерно со значения  $Re' = 10^6$  коэффициент лобового сопротивления принимает почти постоянное значение.

9. Сложный характер зависимости коэффициента лобового сопротивления цилиндричес-

\*1 Влияние сжимаемости потока (числа Маха) на лобовое сопротивление различных тел здесь не рассматривается. Этот вопрос подробно освещается в [10-10, 10-24, 10-34].

ких (сферических) препятствий от числа Рейнольдса обуславливается сильно изменяющейся картиной обтекания этих препятствий с ростом числа  $Re'$ , начиная с очень малых его значений ( $Re' \ll 1$ ) до очень больших ( $Re' = 10^6 \div 10^7$ ).

Наиболее существенным при этом является переход от стационарного характера обтекания препятствия к пульсирующему, наблюдающемуся для цилиндрических тел в диапазоне  $Re' = 30 \div 50$  и для сферических тел в диапазоне  $Re' = 130 \div 200$ . По мере роста числа  $Re'$  весьма важным является образование и развитие ближнего аэродинамического следа, а затем пограничного слоя тела.

10. В диапазоне малых и умеренных чисел Рейнольдса ( $Re' \leq 40 \div 50$ ) формы обтекания рассматриваемых типов препятствий (рис. 10-2) последовательно сменяют одна другую:

а)  $Re' \ll 1$ ; при самых малых значениях числа Рейнольдса инерция потока пренебрежимо мала; поэтому он обтекает препятствие идеально плавно и симметрично с наветренной (лобовой) и подветренной (хвостовой) стороны (рис. 10-2, а);

б)  $0,05 < Re' < (5 \div 10)$  для цилиндра и  $Re' < (10 \div 24)$  для шара; в этом случае начинает проявляться влияние сил инерции. Наблюдается несколько большая изогнутость линий тока, и они приближаются к поверхности тела с наветренной стороны. В результате возникает асимметрия линий тока с наветренной и подветренной стороны препятствия.

За препятствием образуется обширная параболообразная заторможенная зона (не-

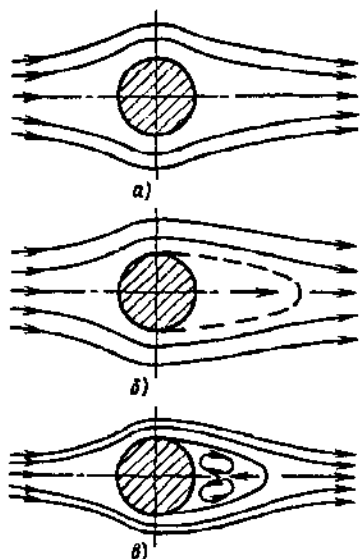


Рис. 10-2. Спектры потока в следе за сферическим телом при различных режимах обтекания в пределах малых и умеренных чисел Рейнольдса:

а —  $Re' \leq 1$ ; б —  $0,05 < Re' < (5 \div 10)$ ; в —  $(5 \div 10) < Re' < (40 \div 50)$

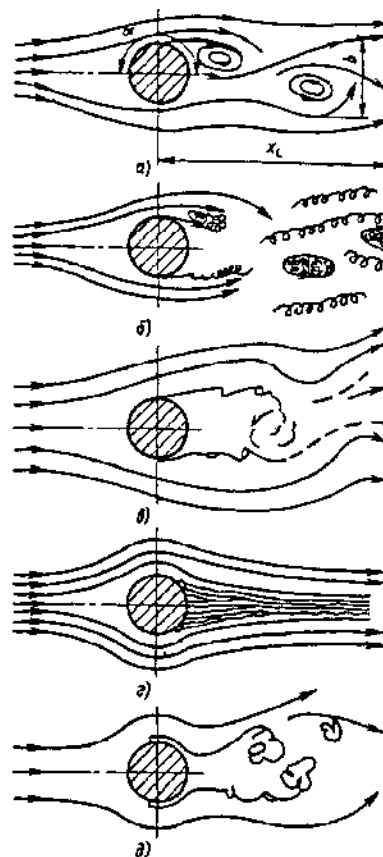


Рис. 10-3. Спектры потока в следе за сферическим телом при различных режимах обтекания при  $Re' > 50$ :

а —  $(40 \div 50) < Re' < (150 \div 200)$ ; б —  $(150 \div 200) < Re' < 1500$ ; в —  $1500 < Re' < 2 \cdot 10^5$ ; г —  $2 \cdot 10^5 < Re' < 3,5 \cdot 10^6$ ; д —  $3,5 \cdot 10^6 < Re' < 8 \cdot 10^6$

циркуляционный след, рис. 10-2, б), в каждой точке которой скорость потока заметно ниже, чем в симметричной точке менее заторможенной лобовой зоны, образующейся перед препятствием. С увеличением числа Рейнольдса асимметрия линий тока возрастает, а длина и ширина заторможенной зоны сокращаются; в)  $(5 \div 10) < Re' < (40 \div 50)$  для цилиндра и  $Re' < 130$  для шара; за цилиндром появляется пара противоположно направленных вихрей (рис. 10-2, в), образующих стационарный рециркуляционный ближний след [за шаром при  $Re' > (10 \div 24)$  возникает один тороидальный вихревой след]. Скорость потока в каждом вихре растет от центра к периферии по линейному закону. С увеличением числа Рейнольдса протяженность ближнего следа непрерывно увеличивается до момента потери устойчивости.

Для чисел Рейнольдса, превосходящих  $Re' \approx 50$  (для цилиндра), показательные пять форм обтекания (рис. 10-3), см. пп. 11—15.

11.  $(40 \div 50) < Re' < (150 \div 200)$ . В начале этого диапазона чисел Рейнольдса более резко, чем до сих пор, изменяется схема обтекания: удлиняющиеся вихри ближнего следа теряют устойчивость и начинают отрываться от



цилиндра попеременно с каждой стороны, уносясь потоком (вихревая дорожка Кармана, рис. 10-3, а); с этого момента обтекание цилиндра принимает пульсирующий характер, так как при каждом отрыве вихря изменяется давление потока на тело.

Угол  $\alpha$ , при котором начинается отрыв потока, растет с увеличением числа Рейнольдса и в рассматриваемом диапазоне  $Re'$  составляет  $115-130^\circ$ . Длина следа  $x_L$  при  $Re' = 50$  равна  $2,5d_m$  и далее возрастает пропорционально значению  $Re'$ ; ширина следа  $b \approx 0,85 + 1,05d_m$ . Скорость обратного течения в следе на границе раздела вихрей возрастает приблизительно с 10 до 30—50% скорости набегающего потока на цилиндр.

Боковые границы следа неустойчивы, на них возникают хаотически движущиеся вихри, вызывающие в дальнейшем все возрастающее турбулентное перемешивание смежных слоев потока и обмен массами с внешним потоком.

Ближний след шарообразных и других трехмерных тел вращения характеризуется тем, что в нем образуется не пара, а один тороидальный вихрь, отрывающийся спиральными нитями. Длина этого вихря меньше, чем для цилиндра, а частота его отрыва вдвое больше.

12.  $(150 + 200) < Re' < 1500$ . Заторможенная область перед препятствием постепенно уменьшается и становится малой по сравнению с его размером.

В итоге на лобовой стороне препятствия остается лишь тонкая пленка заторможенного потока, образующая раздваивающийся по обе стороны ламинарный пограничный слой (рис. 10-3, б). Дойдя до некоторой точки близ миделева сечения тела ( $\alpha \approx 80^\circ$ ), пограничный слой отрывается от его поверхности и располагается уже по внешней границе ближнего следа. Достигнув конечной точки следа, он воссоединяется с таким же оторвавшимся пограничным слоем второй стороны тела. Причиной отрыва пограничного слоя является возрастание давления вдоль поверхности тела.

В результате такого явления донное давление растет. Одновременно в ближнем следе возникает нерегулярное течение, развивающееся в ясно выраженное турбулентное течение далее по каналу.

13.  $1500 < Re' < 2 \cdot 10^5$ . Возникающая за телом турбулентность начинает проявляться с все более и более близкого к телу расстояния.

Вследствие этого точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный перемещается ближе к кормовой части цилиндра (шара).

Процесс перехода, не сопровождающийся процессом отрыва вихрей, начинается синусоидальными колебаниями, которые с ростом числа Рейнольдса усиливаются до точки перехода. Донное давление при этом значи-

тельно уменьшается, особенно в области  $Re' = 2 \cdot 10^3 + 10^4$ . Скорость на внешней границе оторвавшейся (свободной) струи увеличивается, а расстояние до точки воссоединения, наоборот, уменьшается. Переход к турбулентному течению при этом происходит весьма близко от точки отрыва пограничного слоя от тела.

В результате вблизи кормовой части тела возникают весьма интенсивные пульсации скорости, превосходящие по амплитуде осредненную скорость течения в тех же точках следа уже при  $Re' \approx 8 \cdot 10^3$ .

При  $Re' > 5 \cdot 10^3$  за цилиндром наступает полное турбулентное перемешивание (рис. 10-3, в).

14.  $2 \cdot 10^5 < Re' < 3,5 \cdot 10^6$ . В этом критическом диапазоне чисел Рейнольдса в пограничном слое начинается переход от ламинарного режима течения к турбулентному. Отрыв пограничного слоя возникает еще при ламинарном режиме течения, приблизительно в том же месте на лобовой стороне цилиндра, что и при меньших числах  $Re'$ . За этим отрывом следуют смена режима течения и второй, уже турбулентный («пузырчатый») отрыв на кормовой стороне цилиндра. Регулярность и определенность отрыва пограничного слоя меньше, чем при меньших и больших числах Рейнольдса. Донное давление резко повышается, а зона действия отрыва сужается ( $\alpha = 110 + 120^\circ$ , рис. 10-3, г). В результате при  $Re' \approx 5 \cdot 10^5$  происходит указанное выше скачкообразное кризисное снижение лобового сопротивления цилиндра. Для шара такое кризисное сопротивление соответствует  $Re' \approx 3 \cdot 10^5$ .

15.  $3,5 \cdot 10^6 < Re' < 8 \cdot 10^6$ . Отрыв вихрей снова становится регулярным, однако теперь он появляется при турбулентном пограничном слое (рис. 10-3, д).

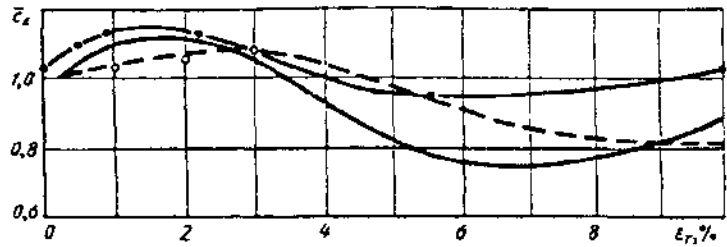
Предполагается, что все дальнейшие изменения, связанные с увеличением числа Рейнольдса и сопровождающиеся сдвигом точки перехода режима течения к переходной точке застоя, будут относительно слабы.

16. Описанные в пп. 10—15 характерные диапазоны чисел Рейнольдса для различных форм обтекания цилиндра (шара) верны лишь при условии обтекания тела ламинарным или слаботурбулизованным потоком ( $\epsilon_r < 0,01\%$ ,

где  $\epsilon_r = \sqrt{w'^2}/w_0$  — степень турбулентности потока;  $w'$  — продольная пульсационная скорость потока, м/с).

Повышение степени турбулентности набегающего потока при каждом режиме обтекания приближает точку перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный к кормовой части тела и тем самым смещает характерный диапазон чисел Рейнольдса, и в частности критическую область, в которой на-

Рис. 10-4. Зависимость относительного коэффициента лобового сопротивления  $\bar{c}_x$  кубического и призматического тела от степени турбулентности набегающего потока [10-10]



блюдается резкое снижение коэффициента  $c_x$  при меньших значениях  $Re'$  (см. график б) диаграммы 10-7).

17. На положение точки перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный влияет и состояние обтекаемой поверхности (ее шероховатость  $\bar{\Delta}$ ). Влияние различных неровностей поверхности состоит в том, что они возмущают ламинарное течение, перемещают точку перехода вперед (к лобовой части тела) и увеличивают участок с турбулентным пограничным слоем.

Для цилиндра (шара) кризис сопротивления наступает тем раньше, т. е. при тем меньшем числе Рейнольдса, чем больше шероховатость. Вместе с тем, чем выше  $\bar{\Delta}$ , тем больше значения  $c_{x\min}$  и  $c_x$  в закризисной области (см. диаграмму 10-2).

18. Начальная турбулентность набегающего потока существенным образом влияет и на лобовое сопротивление плохообтекаемых тел (с острыми кромками — особенно при  $\epsilon_r \leq 10\%$ ).

Для кубических и призматических тел, а также для плоской пластинки, установленной нормально к потоку, зависимости  $c_x$  или, что то же,  $\bar{c}_x = c_{x\epsilon_r > 0} / c_{x\epsilon_r = 0}$  от  $\epsilon_r$  качественно одинаковы и носят кризисный характер по числу  $\epsilon_r$  [10-7—10-10], что также связано с изменением характера обтекания. При небольшом увеличении интенсивности турбулентности набегающего потока коэффициент сопротивления  $\bar{c}_x$  увеличивается (рис. 10-4), что связано с расширением зоны отрыва за телом. С дальнейшим ростом интенсивности турбулентности зона отрыва стабилизируется или несколько сужается вследствие передачи в нее энергии основного потока, что приводит к постоянству или уменьшению лобового сопротивления по сравнению с сопротивлением при малотурбулентном набегающем потоке.

19. Коэффициент лобового сопротивления цилиндра при  $Re' \leq 0,5$  можно вычислить по формуле Лемба [10-23]:

$$c_x = \frac{8\pi}{(2,002 - \ln Re') Re'}$$

При  $Re' > 0,5$  величина  $c_x$  определяется по диаграмме 10-1.

20. Коэффициент лобового сопротивления шара при  $Re' < 0,5$  можно вычислить по формуле Стокса:

$$c_x = 24/Re',$$

а в диапазоне  $0,5 \leq Re' \leq 1,0$  — по формуле Озеена

$$c_x = 24/Re' + 4,5.$$

В диапазоне  $0,1 < Re' < 10^3$  практически хорошее совпадение с опытом (при  $Re' = 3 \div 400$  ошибка  $< 2\%$ ) дает эмпирическая формула Л. С. Клячко [10-18]\*<sup>1</sup>

$$c_x = 24/Re' + 4/(Re')^{1/3}.$$

21. Влияние степени турбулентности на коэффициент сопротивления шара может быть учтено по формуле Клеймена и Говина [10-17]

$$c_x = \frac{3990}{(\lg Re')^{6,1}} - 4,47 \cdot 10^3 / (Re'^{1,8} \epsilon_r^{0,97}),$$

справедливой в диапазоне  $400/\epsilon_r < Re' < 3 \cdot 10^4$  при  $\epsilon_r = 0,07 \div 0,35$  и условии малости масштаба турбулентности по сравнению с диаметром шара. До  $Re' = 8 \cdot 10^4$  близкое совпадение с опытом дает формула, предложенная А. Р. Хенвенном и Д. М. Ляховым [10-37],

$$c_x = A \exp [(n_1 + k_1 \ln Re') \ln Re'],$$

где  $A = 26,555$ ;  $n_1 = -0,91528$ ;  $k_1 = 0,049274$ .

22. Для определения коэффициента лобового сопротивления частиц любой изометрической формы (формы правильного многогранника)

\*<sup>1</sup> Удовлетворительное совпадение с опытом (со средней погрешностью  $\pm 10\%$ , а в интервале  $10 < Re' < 10^2$  — до 36,9%) обеспечивает формула Г. А. Адамова [10-1] для всего диапазона чисел Рейнольдса, вплоть до наступления кризиса сопротивления:

$$c_x = 24 [1 + (0,0167 Re')^{1/n}]^n / Re' \text{ — для тел любых форм;}$$

$$c_x = 24 [1 + 0,065 (Re')^{3/2}]^{3/2} / Re' \text{ — для сферических тел.}$$

В диапазоне  $0,1 < Re' < 20$  близкое совпадение с опытом обеспечивает формула [10-54]:

$$c_x = 24/Re' + 1,66,$$

а в диапазоне  $0,5 < Re' < 10^3$  — формула Румфа [10-60]:

$$c_x = 21/Re' + 6/\sqrt{Re'} + 0,28.$$

Аналогичные формулы приводятся и в других работах, например в работе Танака [10-63].

при всех режимах обтекания И. А. Вахрушев [10-6] рекомендует обобщенную формулу

$$c_x = \left( \frac{28,47}{Re' \lg(15,38/\varphi)} + \frac{4,565\varphi}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491\varphi}{\sqrt{Re'}} \right) \times \\ \times \{1 - \text{th}[0,01282 Re'(\varphi - 0,9805)]\} + \\ + 2,86(\varphi - 0,8531) \text{th}[0,01282 Re'(\varphi - 0,9805)] + \\ + (7,76 - 2,86\varphi - 4,88/\varphi) \times \\ \times \text{th}[0,00104 Re'(\varphi - 0,9038)], \quad (10-9)$$

где  $\varphi$  — коэффициент несферичности частиц, равный отношению площади поверхности частицы к площади поверхности шара, равновеликого ей по объему; в качестве определяющего размера частиц, входящего в число Рейнольда, принимается диаметр равновеликого шара:  $Re' = w_0 d_0 / \nu$ .

23. При  $\varphi = 1$  (шар) формула (10-9) принимает вид

$$c_x = \left( \frac{24}{Re'} + \frac{4,565}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491}{\sqrt{Re'}} \right) \times \\ \times [1 - \text{th}(0,00025 Re')] + 0,42 \text{th}(0,00025 Re') + \\ + 0,02 \text{th}(0,0001 Re').$$

Эта формула верна для всего диапазона чисел  $Re'$  практически от 0 до  $Re'_{кр}$ .

В интервале  $0 < Re' \leq \frac{53,5}{\varphi - 0,9732}$  с точностью до 10% можно пользоваться формулой

$$c_x = \frac{28,47}{Re' \lg(15,38/\varphi)} + \frac{4,565\varphi}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491\varphi}{\sqrt{Re'}}.$$

Для шара этот интервал составляет  $0 < Re' \leq 2000$ .

24. В интервале  $Re' \geq \frac{150}{\varphi - 0,9732}$  с точностью до 5% можно пользоваться формулой

$$c_x = 2,86(\varphi - 0,8531) \text{th}[0,01282 Re'(\varphi - \\ - 0,9805)] + (7,76 - 2,86\varphi - 4,88/\varphi) \times \\ \times \text{th}[0,00104 Re'(\varphi - 0,9038)].$$

25. Влияние степени турбулентности на коэффициент лобового сопротивления цилиндра может быть учтено приближенно

$$c_{x_{\varepsilon_r} > 0} = \bar{c}_x c_{x_{\varepsilon_r} \approx 0}$$

где  $c_x = f_1(Re')$  и  $\bar{c}_x = f_2(Re')$  принимаются по соответствующим графикам диаграммы 10-1.

Величина  $\bar{c}_x$  определена по кривым  $c_x = f_1(Re')$ , полученным при  $\bar{t} = t/d_m = 7,7$  и различных  $\varepsilon_r$  %, и по кривой  $c_x = f(1/\bar{t})$  [10-7—10-10].

26. Коэффициент лобового сопротивления цилиндра и других удлиненных тел зависит от удлинения  $\bar{t} = t/d_m$ ; при этом с увеличением

$\bar{t}$  коэффициент лобового сопротивления возрастает.

27. Коэффициент лобового сопротивления плоской пластинки, установленной поперек потока, при  $Re' = w_0 D_0 / \nu$  и  $(w_0 a_0 / \nu) > 1000$  практически постоянен и составляет  $c_x = 1,12 \div 1,16$ .

Для прямоугольной пластинки коэффициент лобового сопротивления зависит от соотношения сторон  $d_m/l_1$  и меняется от  $c_x = 1,12 \div 1,16$  (при  $d_m/l_1 = 1$ ) до  $c_x \approx 2,0$  (при  $d_m/l_1 \rightarrow 0$ ).

При наличии отверстия в круглой пластинке  $c_x$  изменяется примерно параболически от 1,12—1,16 (при  $d = 0,2D_0$ ) до 1,78 (при  $d = 0,8D_0$ ).

28. Если в одном сечении трубы расположено несколько тел (комплект тел в общем случае разных форм и размеров), то суммарный коэффициент местного сопротивления этих тел подсчитывается по формуле автора [10-3], верной при  $S_m/F_0 < 0,3$  и  $Re > 10^4$ :

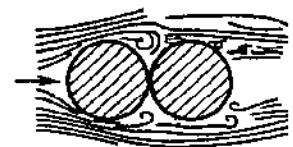
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_2 \sum_{i=1}^{n_r} c_{xi} \frac{S_{mi}/F_0 (1 - 2y/D_0)^{3/m}}{\left(1 - \sum_{i=1}^{n_r} \tau_i S_{mi}/F_0\right)^3},$$

где  $i$  — порядковый номер тела данного комплекта;  $n_r$  — общее число тел в комплекте.

29. Лобовое сопротивление двух тел (шаров, цилиндров, пластинок и др.), устанавливаемых одно за другим по потоку, отличается от простой суммы лобовых сопротивлений этих тел, взятых изолированно одно от другого; при этом коэффициент сопротивления каждого тела (или их суммарный коэффициент сопротивления) зависит от относительного расстояния (продольного калибра)  $T = l_2/d_m$  между ними.

30. Если два цилиндра установлены по потоку вплотную один к другому, то второй цилиндр погружается полностью в вихревую зону, создаваемую передним цилиндром (рис. 10-5); поэтому он не может вызывать лобового сопротивления. При этом разрежение, существующее за первым цилиндром, больше разрежения за вторым цилиндром. Это приводит к тому, что разность давлений, получаемая у второго цилиндра, создает силу, направленную против потока, вследствие чего  $c_x$  второго цилиндра получается отрицательным, а суммарный коэффициент лобового сопротивления обоих цилиндров понижается. С увеличением относительного расстояния между цилиндрами эффект подсосывания заднего цилиндра к переднему ослабляется.

Рис. 10-5. Схема потока при обтекании двух цилиндров, установленных вплотную друг к другу



Но поскольку задний цилиндр остается в аэродинамической «тени», т. е. в заторможенной и сильно турбулизированной зоне первого цилиндра, его коэффициент лобового сопротивления при дальнейшем увеличении  $\Gamma$  продолжает оставаться ниже  $c_x$  изолированного цилиндра, медленно приближаясь к этому значению.

Пониженное значение  $c_x$  получается не только для цилиндров, но и для любых тел, находящихся в аэродинамической «тени» впереди стоящих тел.

31. Среднее значение коэффициента  $c_{x\text{ср}}$  лобового сопротивления и соответственно коэффициент  $\zeta_1$  местного гидравлического сопротивления, отнесенного к одному телу продольного ряда, возрастают с уменьшением числа  $n_r$  этих тел в ряду, начиная примерно с  $n_r = 5$ . При  $n_r > 6 \div 50$  устанавливаются практически постоянные средние значения  $c_{x\text{ср}}$  и  $\zeta_1$ , соответствующие данному относительному расстоянию  $l_2/d_m$  между телами продольного ряда (см. графики диаграмм 10-12 и 10-13).

32. Для цилиндров, установленных по диаметру трубы в одном продольном ряду значение  $\zeta_1$  может быть вычислено по формулам, предложенным П. И. Быстровым и В. С. Михайловым [10-5] и приведенным на диаграмме 10-13.

33. При размещении в трубе комплектов тел, каждый из которых расположен продольными рядами, коэффициент  $\lambda_m$  местного сопротивления этого комплекта на участке в один калибр (за калибр принимается гидравлический диаметр сечения трубы) вычисляется по формуле автора [10-3], верной примерно при  $S_{m1}/F_0 < 0,3$  и  $Re' > 10^4$ :

$$\lambda_m \equiv \frac{\Delta p}{(\rho w_0^2/2) \cdot (L/D_r)} = k_2 \sum_{i=1}^{n_p} c_{x1i} \frac{l}{(d_{m1}/D_r) l_i} \times \frac{S_{m1i}/F_0 (1-2y/D_0)^{3/m}}{\left(1 - \sum_{i=1}^{n_p} \tau_i S_{m1i}/F_0\right)^3},$$

где  $i$  — порядковый номер тела данного комплекта или, что то же, порядковый номер продольного ряда тел;  $n_p$  — общее число продольных рядов;  $c_{x1i}$  — коэффициент лобового сопротивления одиночного тела  $i$ -го продольного ряда, определяемого в зависимости от формы профиля тела, числа Рейнольдса  $Re'$  и других параметров (см. диаграммы десятого раздела).

34. Коэффициент гидравлического сопротивления комплекта тел на рассчитываемом участке  $L$  трубы

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \lambda_m \frac{L}{D_r}.$$

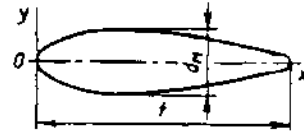


Рис. 10-6. Профиль удобообтекаемого тела

Коэффициент сопротивления трения прямого участка трубы

$$\zeta_{\text{уч}} = \zeta_{\text{тр}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \lambda_{\text{тр}} \frac{L}{D_r}.$$

Отсюда

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = (\lambda_m + \lambda_{\text{тр}}) \frac{L}{D_r},$$

где  $\lambda_{\text{тр}}$  — коэффициент сопротивления трения, определяемый как  $\lambda$ , по диаграммам 2-1—2-6.

35. Важным фактором, влияющим на коэффициент лобового сопротивления тела, является форма его профиля. Чем более обтекаемую форму имеет тело, тем меньше отрыв потока и вихреобразование, а следовательно, меньше его лобовое сопротивление. Поэтому там, где это только возможно, следует использовать тела обтекаемой формы. Удобообтекаемая форма профиля тела характеризуется плавно закругленной передней частью и более длинной клинообразной задней частью (рис. 10-6).

Чем резче за миделевым сечением тела сужается профиль (и соответственно замедляется поток), тем раньше вверх по потоку наступит отрыв его и тем интенсивнее вихреобразование за телом. Удачно подобрав профиль хвостовой части тела, можно значительно отодвинуть начало отрыва потока к задней кромке тела или совсем избежать отрыва.

36. Для построения некоторых профилей тел удобообтекаемой формы в табл. 10-2 приводятся значения их безразмерных координат (см. рис. 10-6).

37. К телам удобообтекаемых форм относятся и эллиптические цилиндры, а также круговые цилиндры, снабженные задними обтекателями. Для таких тел коэффициент лобового сопротивления получается выше, чем для тел, профилированных по данным табл. 10-2. Однако ввиду большей простоты построения такие тела часто применяются на практике.

38. Лобовое сопротивление плохообтекаемых тел (рис. 10-7) может быть существенно снижено (на 40% [10-32]) путем устройства на хвостовой части тела выемок (рис. 10-7, модель 2). Одной из причин такого снижения сопротивления может быть разрушение развивающихся в оторвавшемся пограничном слое

10-2. Координаты  $2y/d_m$  удобообтекаемых профилей

Профиль	$x/l$											
	0	0,05	0,10	0,20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0	0,528	0,720	0,917	0,987	1,00	0,960	0,860	0,737	0,568	0,340	0
	$r=0,08^{*1}$	0,490	0,750	0,960	1,00	0,980	0,930	0,840	0,720	0,560	0,370	$r=0,10$
3	0	0,530	0,720	0,940	1,00	0,995	0,940	0,860	0,910	0,520	0,300	0

\*1  $r$  — радиус закругления лобовой и хвостовой части профиля.

вихрей возмущениями потока, создаваемыми выемками.

39. Лобовое сопротивление плохобтекаемых тел (табл. 10-3) значительно снижается при устройстве плавных обтекателей впереди и позади тела, а также при установке соответствующих экранов перед телом или даже за ним [10-28].

40. Коэффициент лобового сопротивления системы тел (стержней) в виде фермы или другого подобного устройства зависит от формы поперечного сечения стержней, способа связи стержней в узлах, направления набегающего потока, а также от числа Рейнольдса. Влияние направления набегающего потока для такой системы получается сложнее, чем для одиночного тела, так как при этом меняется ориентировка задних элементов системы относительно аэродинамической «тени», расположенных впереди элементов системы (рис. 10-8).

41. Коэффициент местного сопротивления фермы, помещенной в трубе,

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = (1 + 1,15) c_{x\alpha}^* \frac{S_m / F_0}{(1 - S_m / F_0)^3},$$

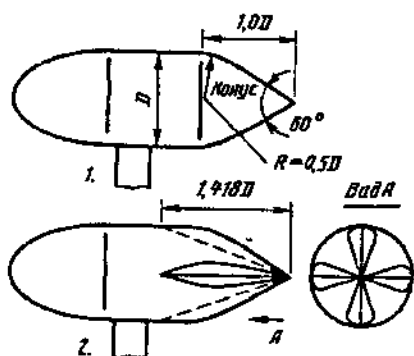


Рис. 10-7. Схема плохобтекаемых тел вращения [10-32]:

1 — без выемок; 2 — с выемками через  $90^\circ$ , представляющими собой двугранный угол  $90^\circ$

где  $S_m / F_0$  — степень заполнения элементами фермы поперечного сечения трубы;  $S_m$  — суммарная миделева площадь всех элементов фермы.

Коэффициент лобового сопротивления фермы при данном числе Рейнольдса  $Re' = w_0 d_m / \nu$  и данном угле направления набегающего потока  $\alpha$  [10-36]

$$c_{x\alpha}^* = c_{x\alpha} c_{x0}^* / c_{x0},$$

где  $c_{x0}$ ,  $c_{x0}^*$  и  $c_{x\alpha}$  — коэффициенты лобового сопротивления фермы соответственно при  $\alpha = 0$  и  $Re' = Re'_1$ , при  $\alpha = 0$  и искомом числе  $Re$  и при искомом  $\alpha$  и числе  $Re'_1$ , при котором получена зависимость  $c_{x\alpha} = f(\alpha)$ .

42. В практике расчетов шахтных стволов и выработок было принято оперировать размерным коэффициентом аэродинамического сопротивления, выражающимся через  $\lambda$  (в  $\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ ):

$$\alpha_{ш} = \frac{\rho}{2g} \cdot \frac{\lambda}{4}.$$

Сопротивление участка ствола (выработки) выражается через коэффициент  $\alpha_{ш}$  (в Па):

$$\Delta p = 9,8 \alpha_{ш} w_0^2 \frac{4L}{D_r} = 9,8 \alpha_{ш} \left( \frac{Q}{F_0} \right)^2 \frac{\Pi_0}{F_0} L.$$

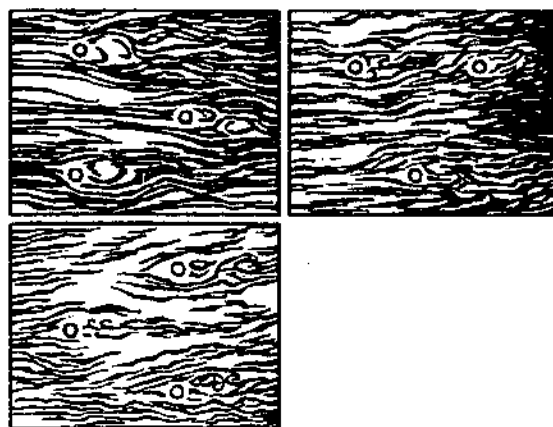
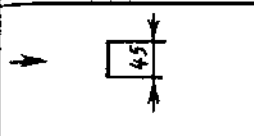
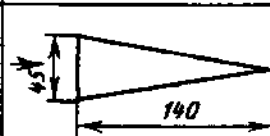
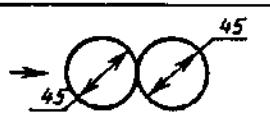
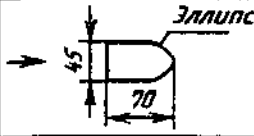
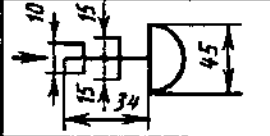
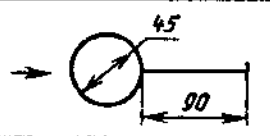
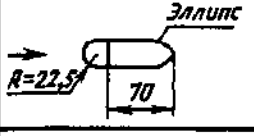
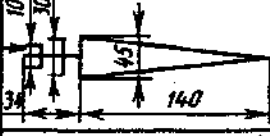
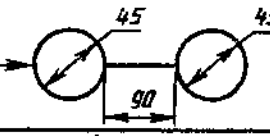
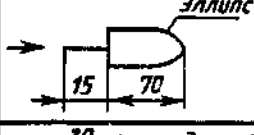
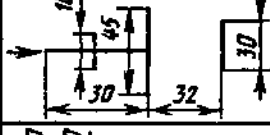
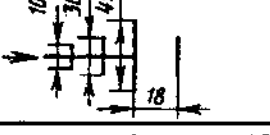
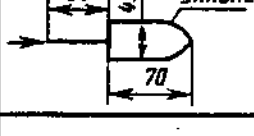
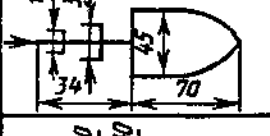
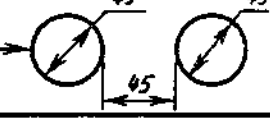
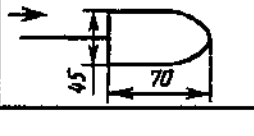
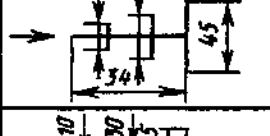
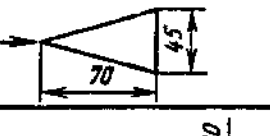
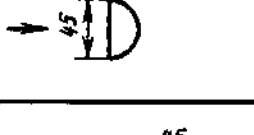
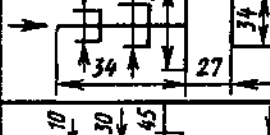
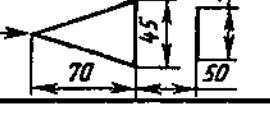
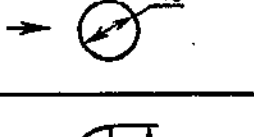

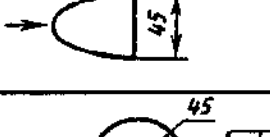
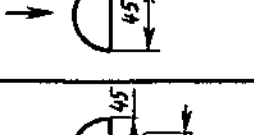
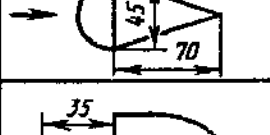
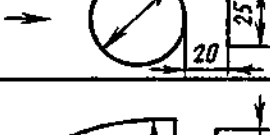

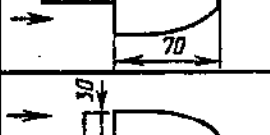
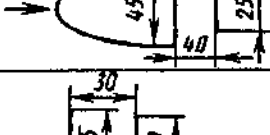
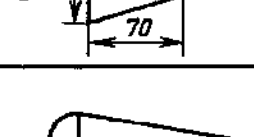
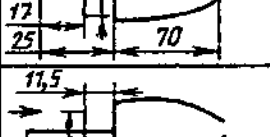
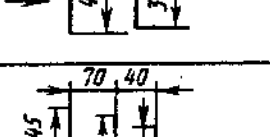
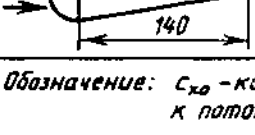
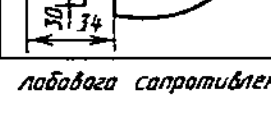
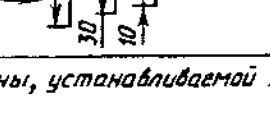


Рис. 10-8. Спектр потока при обтекании стоек фермы [10-36]

10-3. Коэффициенты снижения лобового сопротивления плоскообтекаемых тел

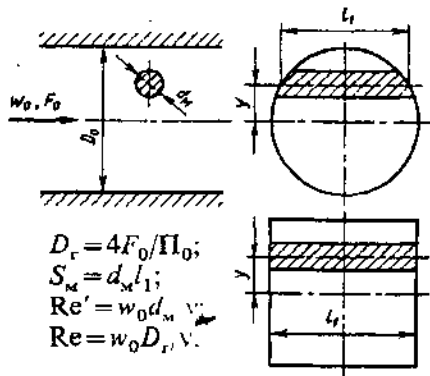
Форма тела	$\bar{c}_x = c_x / c_{x0}$	Форма тела	$\bar{c}_x = c_x / c_{x0}$	Форма тела	$\bar{c}_x = c_x / c_{x0}$
	1,0		0,65		0,25
	0,85		0,46		0,33
	0,19		0,26		0,56
	0,78		0,53		0,43
	0,63		0,27		0,34
	0,67		0,46		0,43
	1,16		0,40		0,35
	0,34		0,39		0,31
	0,47		0,29		0,30
	0,30		0,62		0,27
	1,07		0,37		0,75
	0,11		0,36		0,80

Обозначение:  $c_{x0}$  - коэффициент лобового сопротивления пластины, устанавливаемой нормально к потоку.

## 10-2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цилиндр (круговой, гладкий) в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_M/F_0 < 0,3$ ; [10-10, 10-48, 10-58]

Диаграмма  
10-1



при  $Re' > 5 \cdot 10^5$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = c_x \frac{S_M/F_0}{(1 - 0,5 S_M/F_0)^3} (1 - 2y/D_0)^{1/3},$$

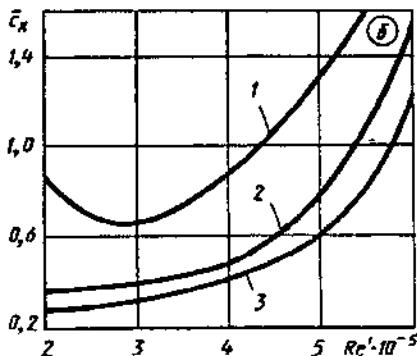
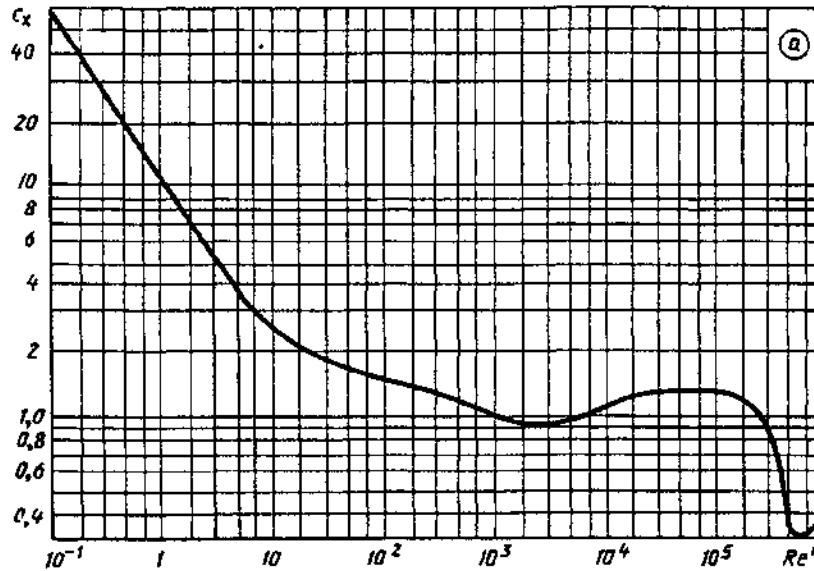
где при  $\varepsilon_r \leq 0,01\%$   $c_x = f(Re')$  см. график а; при  $\varepsilon_r > 0$

$$c_{x\varepsilon_r > 0} = \bar{c}_x c_x; \quad \bar{c}_x = \frac{c_{x\varepsilon_r > 0,01}}{c_{x\varepsilon_r \leq 0,01}}$$

см. кривые  $\bar{c}_x = f_2(Re')$  графика б;  $\varepsilon_r = \sqrt{\bar{w}^2}/w_0$  — степень турбулентности.

При  $Re' \geq 2 \cdot 10^4$   $\zeta = c_{x0} S_M F_0 (1 - 2y/D_0)^{1/3}$ , где  $c_{x0}$  см. график в;  $\varepsilon_r \approx 0,01\%$

Re'	0,1	0,5	1,0	5	10	5 · 10	10 <sup>2</sup>	5 · 10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	5 · 10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	2 · 10 <sup>4</sup>
c <sub>x</sub>	59,0	22,5	10,0	4,50	2,65	1,65	1,50	1,20	1,00	0,90	1,05	1,20
Re'	5 · 10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	2 · 10 <sup>5</sup>	3 · 10 <sup>5</sup>	4 · 10 <sup>5</sup>	5 · 10 <sup>5</sup>	6 · 10 <sup>5</sup>	7 · 10 <sup>5</sup>	8 · 10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>		
c <sub>x</sub>	1,25	1,25	1,20	1,10	0,80	0,60	0,32	0,30	0,32	0,35		

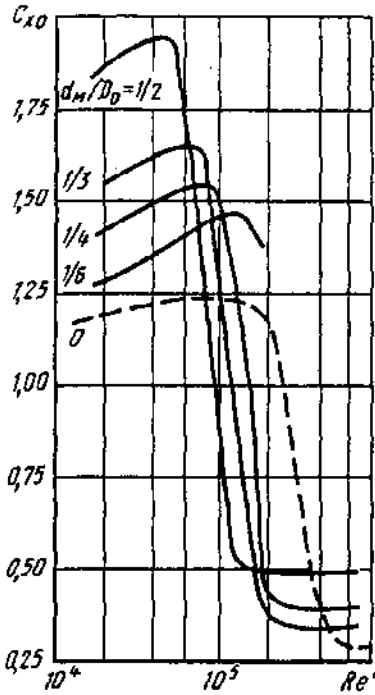


Значения  $\bar{c}_x$

№ кривой ( $\varepsilon_r$ , %)	Re' · 10 <sup>-5</sup>									
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
1 (0,3)	0,84	0,69	0,67	0,74	0,88	1,08	1,30	1,64	2,80	
2 (0,8)	0,36	0,38	0,40	0,42	0,48	0,59	0,80	1,10	1,57	
3 (5,5)	0,28	0,29	0,32	0,36	0,42	0,50	0,62	0,81	1,25	

Цилиндр (круговой, гладкий) в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_m/F_0 < 0,3$ ; [10-10, 10-48, 10-58]

Диаграмма  
 10-1

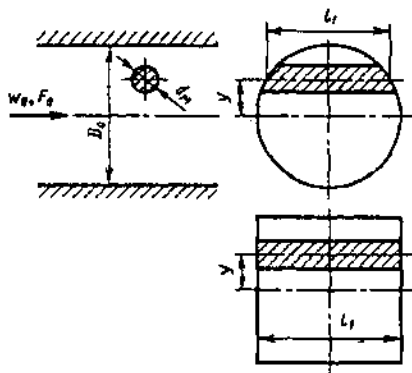


Значения  $c_{x0}$  ( $\epsilon_r \approx 0,01\%$ ) [10-58]

$d_m/D_0$	$S_m/F_0$	$Re' \cdot 10^{-5}$							
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6
0,50	0,25	1,95	1,92	1,75	1,38	0,88	0,50	0,50	0,50
0,33	0,111	1,54	1,60	1,63	1,62	1,32	0,35	0,34	0,34
0,25	0,0625	1,41	1,49	1,52	1,53	1,50	0,40	0,38	0,38
0,167	0,028	1,28	1,35	1,39	1,42	1,44	1,35	—	—

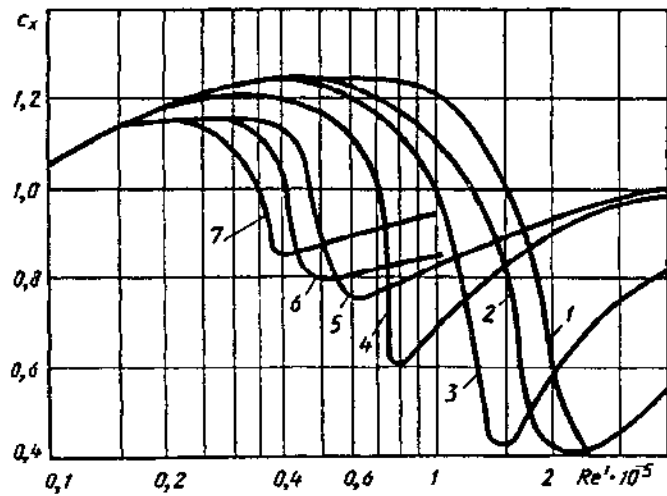
Цилиндр (круговой, шероховатый) в трубе;  
 плоскопараллельное обтекание (начальная турбулентность  
 несколько повышена);  $S_m/F_0 < 0,3$  [10-50]

Диаграмма  
 10-2



$$S_m = d_m l_1;$$

$$Re' = w_0 d_m / \nu$$



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - 0,5 S_m / F_0)^3} (1 - 2y / D_0)^{1/3},$$

где  $c_x = f(Re', \bar{\Delta})$  см. график;

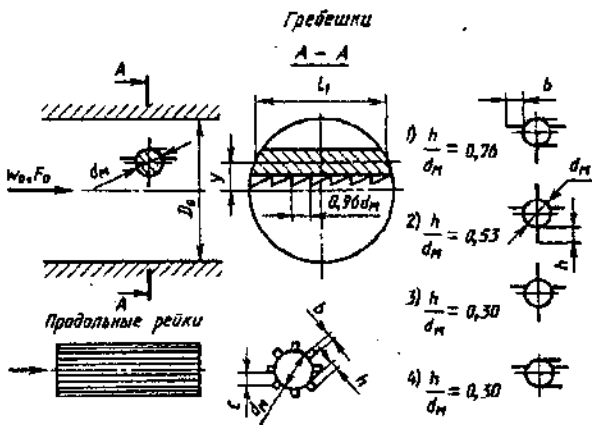


Цилиндр (круговой, шероховатый) в трубе; плоскопараллельное обтекание (начальная турбулентность несколько повышена); $S_m/F_0 < 0,3$ [10-50]	Диаграмма 10-2
--	-------------------

Значения  $c_x$

$\bar{\Delta} \cdot 10^4$	$Re' \cdot 10^{-5}$																	
	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	15	20	40
0 (кривая 1)	1,05	1,18	1,21	1,23	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,23	1,20	1,00	0,60	—
5 (кривая 2)	1,05	1,18	1,20	1,22	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,21	1,18	1,15	1,10	0,80	0,40	0,55
20 (кривая 3)	1,05	1,18	1,21	1,23	1,24	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,15	1,10	1,06	1,00	0,42	0,60	0,82
40 (кривая 4)	1,05	1,18	1,20	1,20	1,20	1,20	1,18	1,17	1,15	1,12	1,07	1,00	0,60	0,65	0,70	0,83	0,90	0,98
70 (кривая 5)	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,13	1,10	0,90	0,80	0,76	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,90	0,98	1,00
90 (кривая 6)	1,05	1,15	1,15	1,15	1,10	1,06	0,83	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	—	—	—
200 (кривая 7)	1,05	1,15	1,15	1,12	1,00	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	—	—	—

Цилиндры (круговые) с гребешками или рейками, помещенные одиночно в трубе; плоскопараллельное обтекание; $S_m/F_0 < 0,3$ [10-8]	Диаграмма 10-3
---	-------------------



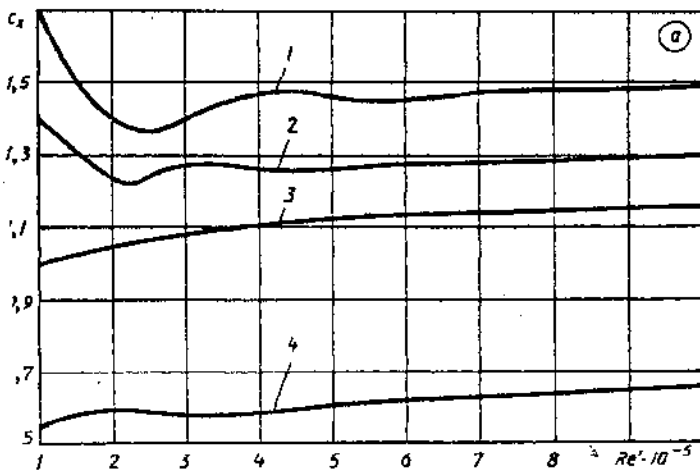
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{S_m / F_0}{(1 - 0,5 S_m / F_0)^3} (1 - 2y / D_0)^{1/3}$$

С гребешками  $c_x = f(Re')$  см. график а;

Значения  $c_x$  при  $\alpha = 0^\circ$ ;  $b/d_m = 1$

№ кривых и гребешков	$Re' \cdot 10^{-5}$				
	1	2	3	4	5
1	1,70	1,40	1,40	1,47	1,46
2	1,40	1,25	1,27	1,26	1,26
3	1,0	1,05	1,08	1,11	1,12
4	0,55	0,59	0,59	0,59	0,61

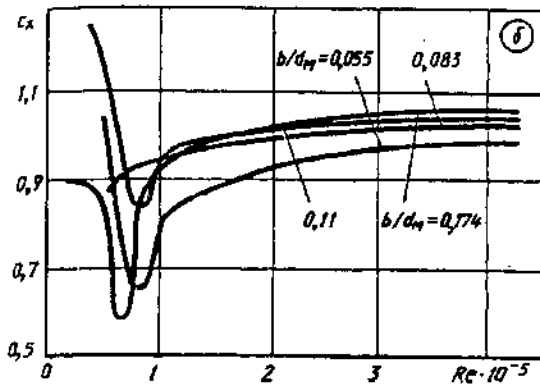
$$S_m = (d_m + h) l_1; Re' = w_0 d_m / \nu$$



№ кривых и гребешков	$Re' \cdot 10^{-5}$			
	6	7	8	10
1	1,45	1,46	1,48	1,48
2	1,28	1,29	1,29	1,29
3	1,13	1,14	1,15	1,16
4	0,62	0,63	0,64	0,65

Цилиндры (круговые) с гребешками или рейками, помещенные одиночно в трубе; плоскопараллельное обтекание;  $S_m/F_0 < 0,3$  [10-8]

Диаграмма 10-3



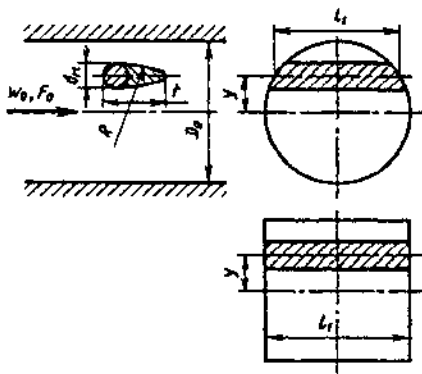
Значения  $c_x$  при  $c/h=0,83$

$h/d_m$	$b/d_m$	$Re' \cdot 10^{-5}$							
		0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2	3	$\geq 4$
0,027	0,055	1,05	0,92	0,66	0,80	0,88	0,93	0,97	0,99
0,041	0,083	0,88	0,90	0,94	0,95	0,98	1,00	1,02	1,03
0,055	0,110	1,15	1,08	0,85	0,94	1,00	1,01	1,04	1,05
0,087	0,174	0,85	0,61	0,70	0,93	0,99	1,01	1,05	1,06

С продольными рейками  $c_x = f(Re')$  см. график б

Распорки в трубе; плоскопараллельное обтекание;  $S_m/F_0 < 0,3$  [10-12, 10-21, 10-22, 10-44, 10-48]

Диаграмма 10-4



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_2 c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - \tau S_m / F_0)^3} (1 - 2y / D_0)^{1/3}$$


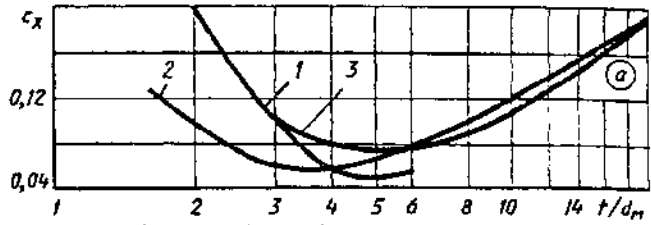
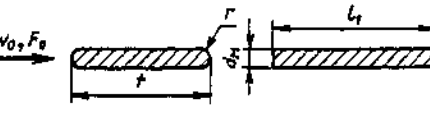
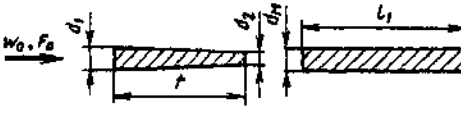
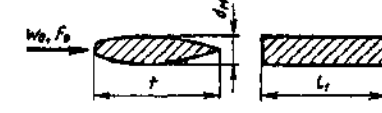
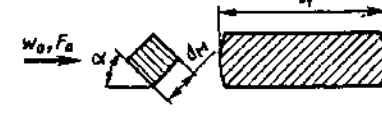
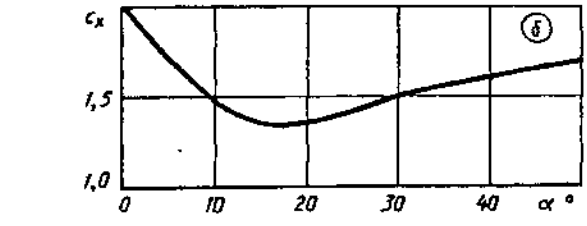
$$S_m = d_m l_1; \quad Re'_m = w_0 d_m / \nu;$$

$$Re'_t = w_0 t / \nu$$

Наименование распорки и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$				
Круговой цилиндр с обтекателем; $Re'_m > 10^6$	Кривая 1 графика а ( $\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$ )				
	$t/d_m$	2	3	3,5	4,0
	$R_0/d_m$	0	4,0	6,0	8,0
$c_x$	0,20	0,10	0,07	0,06	

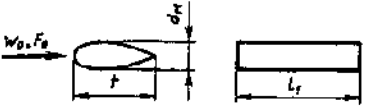

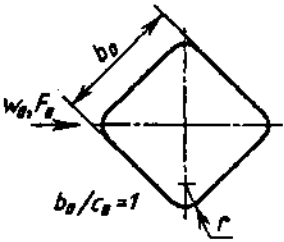
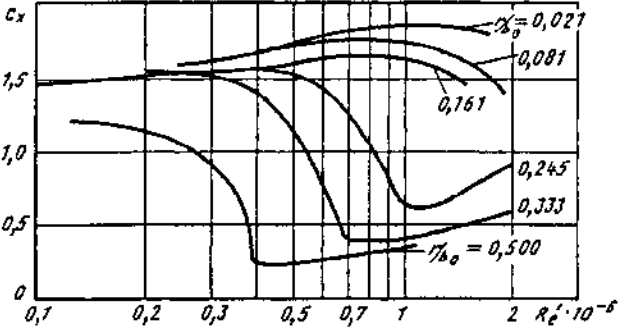
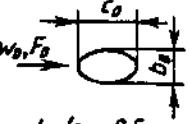
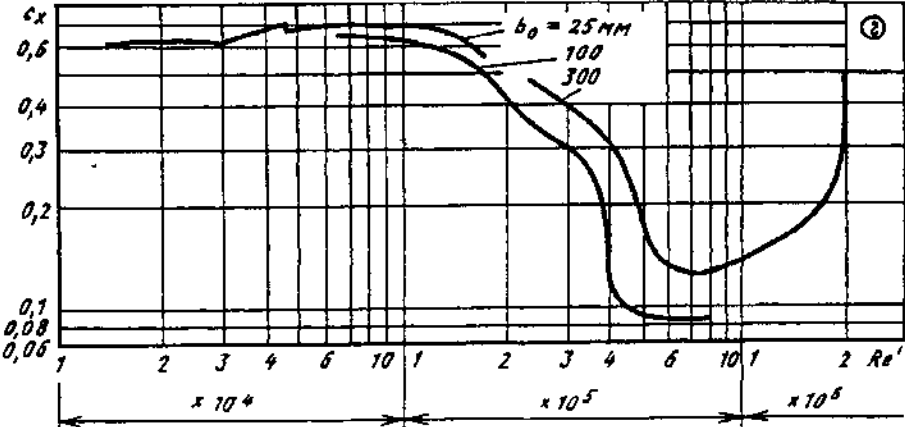
Распорки в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_m/F_0 < 0,3$  [10-12, 10-21, 10-22, 10-44, 10-48]

Диаграмма  
 10-4

Наименование распорки и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$																					
Профилированная распорка, $Re'_m > 10^6$ 	 Кривая 2 графика а ( $\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$ ) <table border="1" data-bbox="678 772 1404 873"> <tr> <td><math>t/d_m</math></td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td><math>c_x</math></td> <td>0,09</td> <td>0,06</td> <td>0,06</td> <td>0,07</td> <td>0,08</td> <td>0,10</td> <td>0,14</td> <td>0,16</td> <td>0,19</td> </tr> </table>		$t/d_m$	2	3	4	5	6	8	12	14	20	$c_x$	0,09	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,14	0,16	0,19
$t/d_m$	2	3	4	5	6	8	12	14	20													
$c_x$	0,09	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,14	0,16	0,19													
Пластина с закругленными краями; $r/d_m = 0,5$ 	$Re'_m$	$5 \cdot 10^5$ $2 \cdot 10^6$	$\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$																			
Клинообразная пластина; $d_1/t = 0,0417$ ; $d_2/t = 0,025$ 	$Re'_l$	$5 \cdot 10^5$ $2 \cdot 10^6$		$\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$																		
Профили различной длины; $Re'_m \approx 10^6$ 	Кривая 3 графика а ( $\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$ )																					
Квадратный брус: $Re' \approx 10^6$ 																						
	$\alpha^\circ$	0	10	20	30	40	50	$\tau \approx 0,5$ ; $k_2 = 1,0$														
	$c_x$	2,00	1,43	1,35	1,50	1,52	1,54															

Распорки в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_{\text{м}}/F_0 < 0,3$  [10-12, 10-21, 10-22, 10-44, 10-48]

Диаграмма  
 10-4

Наименование распорки и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$		
Профилированная стальная труба (каплеобразный профиль); $Re'_{\text{м}} > 5 \cdot 10^4$ 	$t/d_{\text{м}}$	3,0	5,0
	$c_x$	0,1	0,2
	$\tau = 0,5; k_2 = 1,0$		
Профилированная проволока; $Re'_{\text{м}} = 3 \cdot 10^3 \div 10^4$ 	$c_x = 0,3 \div 0,4;$ $\tau \approx 0,5$ $k_2 \approx 1,0$		
 $b_0/c_0 = 1$			
 $b_0/c_0 = 0,5$			

Распорки в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_w/F_0 < 0,3$  [10-12, 10-21, 10-22, 10-44, 10-48]

Диаграмма  
 10-4

$$Re'_w = w_0 d_w / \nu = 10^5$$

Схема распорки	$c_0/b_0$	$r/b_0$	$c_x$	$\tau$	$k_z$	Схема распорки	$c_0/b_0$	$r/b_0$	$c_x$	$\tau$	$k_z$
	1:2 1:2 1:2	—	1,6	~0,5	~1,0		2:1 2:1 2:1 2:1 2:1 2:1	0,042 0,042 0,042 0,167 0,333 0,333	1,1 1,1 1,1	0,5 0,5 0,5	1,0 1,0 1,0
	2:1 2:1 2:1	—	0,6	0,5	1,0		1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,021 0,021 0,021 0,083 0,250 0,250	1,2 1,3 1,1	0,5 0,5 0,5	1,0 1,0 1,0
	1:2 1:2 1:2 1:2 1:2	0,021 0,021 0,021 0,083 0,250 0,250	2,5 1,9 1,6	~0,8 ~0,8 0,5	~1,0 ~1,0 1,0		1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,021 0,021 0,021 0,083 0,250 0,250	2,0 1,2 1,8	~0,5 0,5 ~1,0 ~1,0	~1,0 1,0 ~1,0 ~1,0
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,021 0,021 0,021 0,167 0,333 0,333	2,0 1,2 1,0	~0,5 0,5 0,5	~1,0 1,0 1,0		—	0,37	0,75	~0,5	~1,0
	2:1 2:1 2:1 2:1 2:1	0,042 0,042 0,042 0,167 0,500 0,500	1,4 0,7 0,4	0,5 0,5 0,5	1,0 1,0 1,0		2	—	~0,5	~0,5	~1,0
	1:2 1:2 1:2 1:2 1:2	0,021 0,021 0,021 0,083 0,167 0,167	1,8 1,7 1,7	~1,0 ~1,0 ~1,0	~1,1 ~1,1 ~1,1		0,5	—	1,6—1,7	~0,5	~1,0
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		1,5	0,10	0,5—0,6	0,5	1,0
	1:2 1:2 1:2 1:2 1:2	0,021 0,021 0,021 0,083 0,167 0,167	1,8 1,7 1,7	~1,0 ~1,0 ~1,0	~1,1 ~1,1 ~1,1		0,67	0,16	1,5	~1,0	~1,1
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		0,67	—	1,5	~1,0	~1,1
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		1,85	—	1,0	0,5	1,0
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		1,00	—	1,3—1,45	0,5	1,0
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		0,50	—	1,6	~1,0	~1,1
	1:1 1:1 1:1 1:1 1:1	0,015 0,015 0,015 0,118 0,235 0,235	1,5 1,5 1,5	~0,5 ~0,5 ~0,5	~1,0 ~1,0 ~1,0		0,29	—	1,85	~1,0	~1,1

Распорки в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_M/F_0 < 0,3$  [10-12, 10-21, 10-22, 10-44, 10-48]

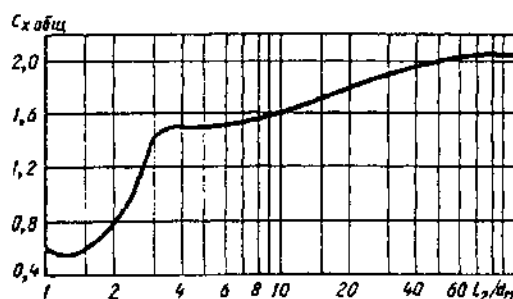
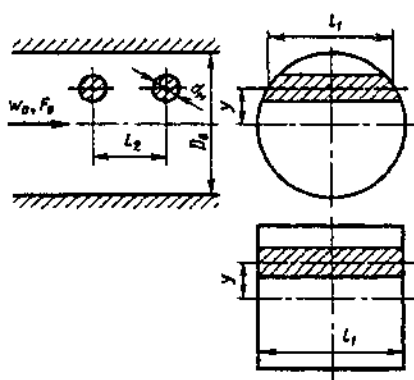
Диаграмма  
 10-4

Схема распорки	$c_0/b_0$	$r/b_0$	$c_x$	$\tau$	$k_2$	Схема распорки	$c_0/b_0$	$r/b_0$	$c_x$	$\tau$	$k_2$
	1,85	—	1,8	~1,0	~1,1		4	—	~0,28	0,5	1,0
	1,00	—	2,0	~1,0	~1,1		8	—	~0,2	0,5	1,0
	0,5	—	2,1	~1,0	~1,1		1	—	1,2--1,3	0,5	1,0
	0,29	—	2,0--2,1	~1,0	~1,1		1	—	2,3	0,5	1,0

Пара круговых цилиндров в трубе; плоскопараллельное обтекание;  
 $Re' = w_0 d_M / \nu > 10^5$ ;  $S_M/F_0 < 0,3$  [10-21, 10-22]

Диаграмма  
 10-5

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_{x \text{ общ}} \frac{S_M / F_0}{(1 - 0,5 S_M / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3}$$

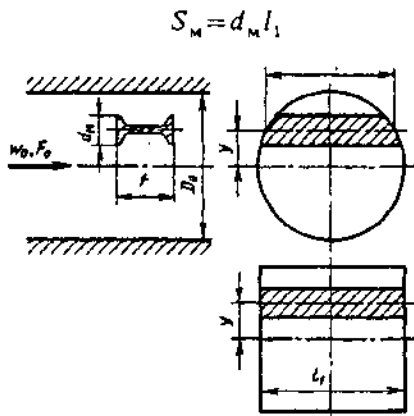


$$S_M = d_M l_1$$

$l_2/d_M$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	10	20	30	50	100
$c_{x \text{ общ}}$	0,60	0,60	0,76	1,10	1,44	1,50	1,52	1,62	1,82	1,92	2,0	2,06

Профили (фасонные) в трубе, плоскопараллельное обтекание;  
 $S_m/F_0 < 0,3$ ;  $Re' = w_0 d_m / \nu > 10^5$ ; [10-3, 10-48]

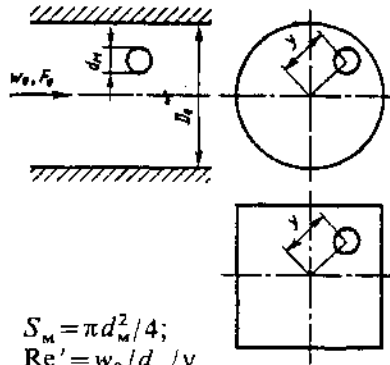
Диаграмма  
 10-6



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_2 c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - \tau S_m / F_0)^3} \times \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3}$$

где  $c_x$  и  $\tau$  см. таблицу для данного профиля при указанном угле атаки  $\alpha$

Профиль	$l/d^*$	$c_x$	$\tau$	$k_2$	Профиль	$l/d^*$	$c_x$	$\tau$	$k_2$
	1,0	2,76	~1,0	~1,0		2,2	2,08	~1,0	~1,1
	0,5	2,68	~1,0	~1,1		0,65 2,2	1,8 0,9	~0,5	1,0
	1,08	2,66	~1,0	~1,1		2,2	0,15	0,5	1,0
	0,46	1,66	~1,0	~1,1		2,2	0,5	~1,0	~1,1
	1,0	1,76	~1,0	~1,1		2,2	0,3	~0,5	~1,0
	0,63	2,2	~1,0	~1,1		2,2	0,3	~0,5	~1,0
	2,1— 2,2	1,2	~1,0	~1,1		→0	2,40	~1,0	~1,1



$$S_m = \pi d_m^2 / 4;$$

$$Re' = w_0 d_m / \nu$$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - 0,5 S_m / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3};$$

1)  $\varepsilon_\tau = \sqrt{\bar{w}'^2} / w_0 \approx 0$  (где  $\varepsilon_\tau$  — степень турбулентности);

а)  $Re' = w_0 d_m / \nu < 1,0$ ;  $c_x = 24 / Re'$ ;

б)  $0,1 < Re' < 10^3$ ;  $c_x = 24 / Re' + 4 / (Re')^{1/3}$ ;

в)  $0 < Re' < 5 \cdot 10^5$ ;

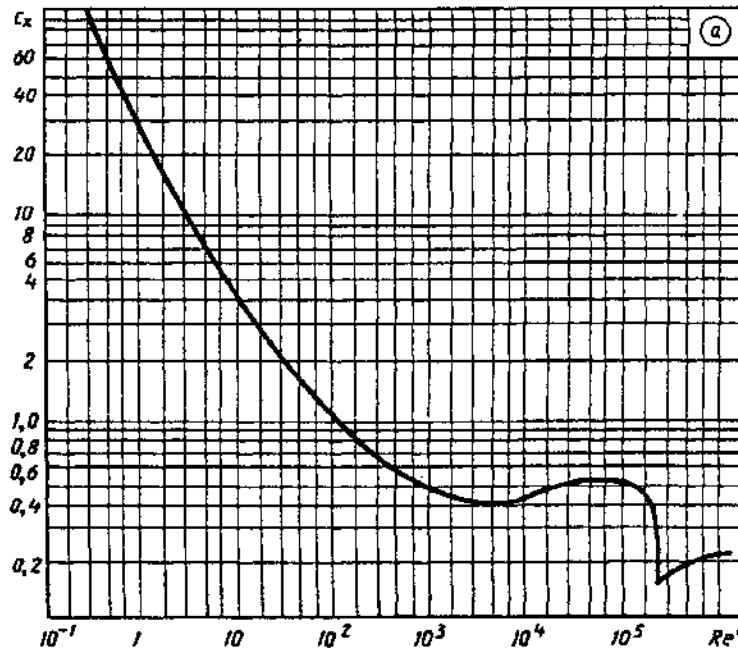
$$c_x \approx \left( \frac{24}{Re'} + \frac{4,565}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491}{\sqrt{Re'}} \right) [1 - \text{th}(0,00025 Re')] +$$

$$+ 0,42 \text{th}(0,00025 Re') + 0,02 \text{th}(0,0001 Re')$$

в целом  $c_x = f(Re')$  см. график а.

2)  $\varepsilon_\tau = 0,07 \div 0,35$  и  $400 / \varepsilon_\tau < Re' < 3 \cdot 10^4$ ;  $c_x = \frac{3990}{(\lg Re')^{6,1}} \frac{4,47 \cdot 10^{-5}}{Re'^{1,8} \varepsilon_\tau^{0,97}} = f(Re', \varepsilon_\tau)$  см. график б

Re'	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5	10	20
$c_x$	$2,4 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^2$	$24,4 \cdot 10$	50,70	26,90	14,80	10,65	8,45	7,12	4,32	2,74



Re'	30	40	50	80	$10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10^4$
$c_x$	2,14	1,80	1,58	1,23	1,09	0,90	0,79	0,68	0,57	0,47	0,38	0,40

Re'	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^5$	$10^6$
$c_x$	0,49	0,50	0,49	0,40	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22



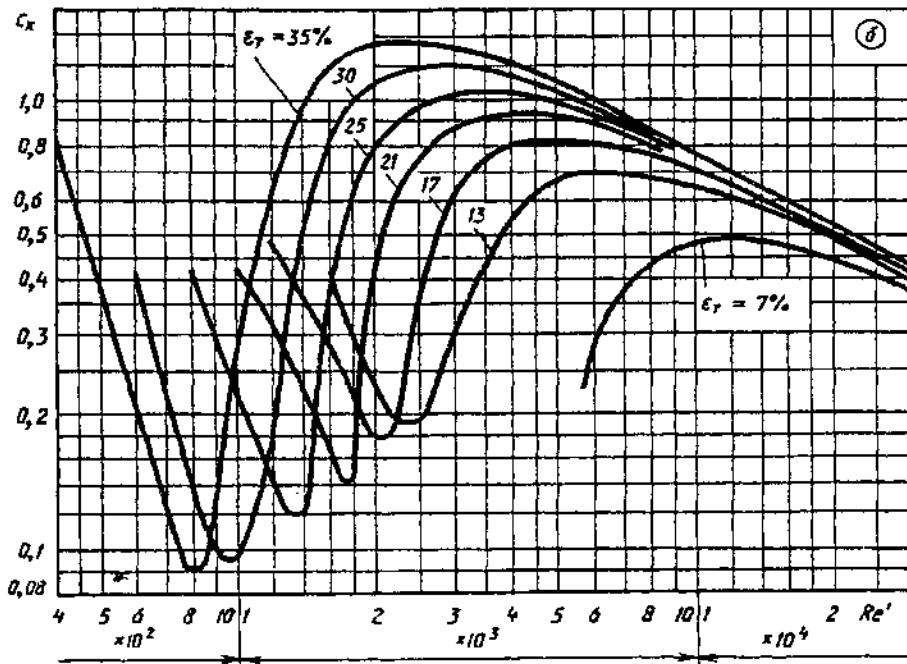
Шар в трубе; пространственное обтекание;  
 $S_w/F_0 < 0,3$  [10-6, 10-17, 10-48]

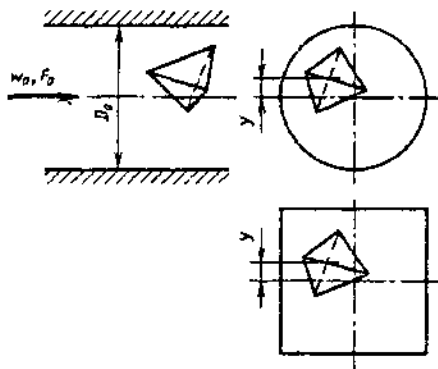
Диаграмма  
 10-7

Значения  $c_x$

Re' · 10 <sup>-3</sup>											
$\epsilon_r$	0,4	0,6	0,8	1	1,15	1,34	1,6	1,7	1,9	2,11	2,36
0,11	—	—	—	—	—	—	—	0,42	0,33	0,29	0,20
0,13	—	—	—	—	—	—	0,40	0,35	0,25	0,20	0,19
0,15	—	—	—	—	—	—	0,35	0,35	0,23	0,18	0,19
0,17	—	—	—	—	0,50	0,40	0,29	0,23	0,18	0,18	0,29
0,19	—	—	—	0,58	0,40	0,30	0,23	0,18	0,16	0,31	0,51
0,21	—	—	—	0,42	0,33	0,25	0,16	0,14	0,33	0,52	0,68
0,23	—	—	0,60	0,34	0,25	0,18	0,14	0,35	0,54	0,70	0,83
0,25	—	—	0,40	0,24	0,17	0,12	0,36	0,57	0,73	0,85	0,95
0,30	—	0,40	0,14	0,10	0,17	0,45	0,84	0,97	1,07	1,14	0,19
0,35	0,80	0,20	0,09	0,25	0,53	0,91	1,18	1,26	1,31	1,35	1,36

Re' · 10 <sup>-3</sup>											
$\epsilon_r$	2,67	3,08	3,64	4,44	5,7	8	10	15	20	25	30
0,07	—	—	—	—	0,23	0,43	0,48	0,48	0,41	0,41	0,38
0,09	—	—	—	0,24	0,45	0,55	0,56	0,52	0,46	0,42	0,39
0,11	0,20	0,24	0,25	0,46	0,59	0,63	0,61	0,54	0,48	0,43	0,40
0,13	0,21	0,26	0,47	0,61	0,69	0,68	0,65	0,56	0,49	0,44	0,40
0,15	0,28	0,49	0,64	0,73	0,76	0,72	0,67	0,57	0,50	0,44	0,40
0,17	0,49	0,65	0,76	0,82	0,82	0,75	0,69	0,58	0,50	0,45	0,41
0,19	0,67	0,79	0,86	0,89	0,86	0,78	0,71	0,59	0,51	0,45	0,41
0,21	0,81	0,89	0,94	0,94	0,90	0,80	0,72	0,59	0,51	0,45	0,41
0,23	0,92	0,98	1,01	0,99	0,93	0,81	0,73	0,60	0,51	0,46	0,41
0,25	1,02	1,06	1,06	1,03	0,95	0,83	0,74	0,60	0,52	0,46	0,41
0,30	1,21	1,21	1,17	1,10	1,00	0,85	0,76	0,61	0,52	0,46	0,42
0,35	1,35	1,31	1,23	1,16	1,04	0,87	0,77	0,62	0,53	0,46	0,42





$S_m = \pi d_0^2 / 4;$   
 $d_0$  см. п. 22;  
 $Re' = w_0 d_m / \nu$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - S_m / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1,3};$$

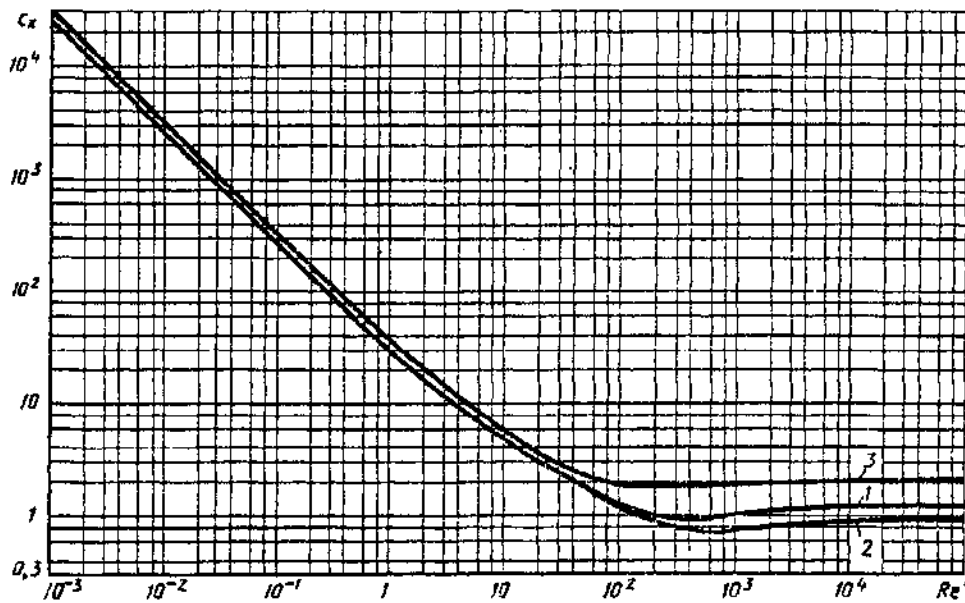
$$c_x = \left( \frac{28,47}{Re' \lg \frac{15,38}{\varphi}} + \frac{4,565 \varphi}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491 \varphi}{\sqrt{Re'}} \right) \times$$

$$\times \{1 - \text{th}[0,01282 Re'(\varphi - 0,9805)]\} + 2,86 \times$$

$$\times (\varphi - 0,8531) \text{th}[0,01282 Re'(\varphi - 0,9805)] +$$

$$+ (7,76 - 2,86 \varphi - 4,88 / \varphi) \text{th}[0,00104 Re'(\varphi - 0,9038)]$$

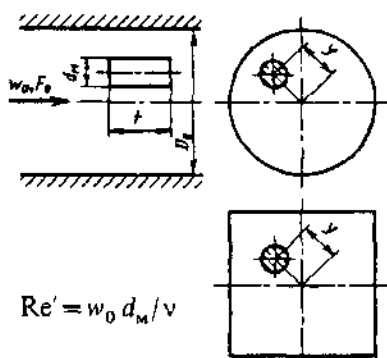
см. кривые  $c_x = f(Re')$ ;  
 $\varphi = 1,182$  — для октаэдров;  $\varphi = 1,104$  — для кубо-  
 октаэдров;  $\varphi = 1,50$  — для тетраэдров



Значения  $c_x$

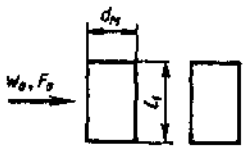
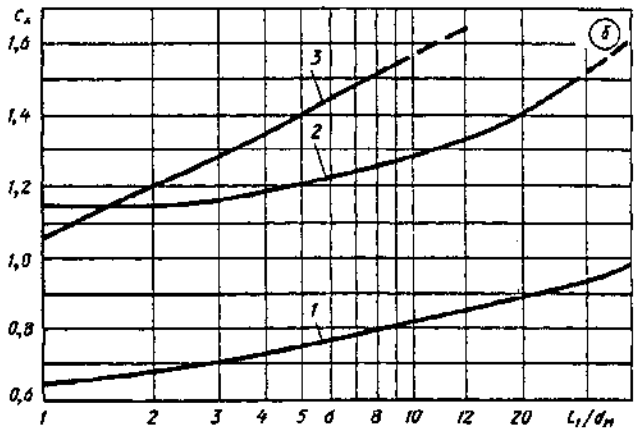
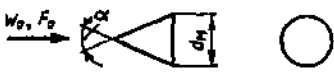
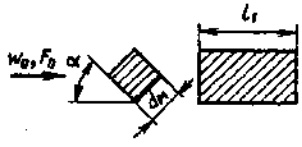
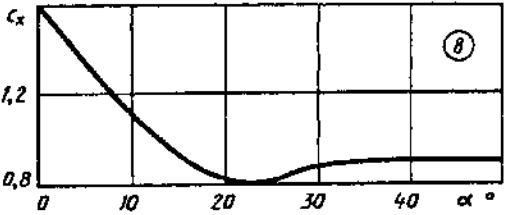
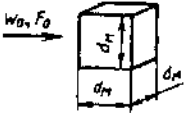
Кривая	$Re'$						
	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	1,0	2,0	5,0
1 (октаэдры)	$2,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10$	30	15	8,0
2 (кубооктаэдры)	$2,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10$	29	16	7,4
3 (тетраэдры)	$2,9 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10$	33	19	9,0

Кривая	$Re'$									
	10	50	$10^2$	$5 \cdot 10^2$	$10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	
1 (октаэдры)	5,0	1,8	1,25	0,93	1,0	1,20	1,25	1,25	1,25	
2 (кубооктаэдры)	4,5	1,7	1,15	0,72	0,75	0,86	0,90	0,90	0,90	
3 (тетраэдры)	5,6	2,2	1,80	1,90	2,0	2,05	2,05	2,05	2,05	

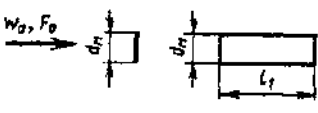
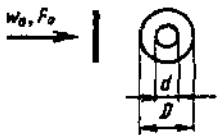
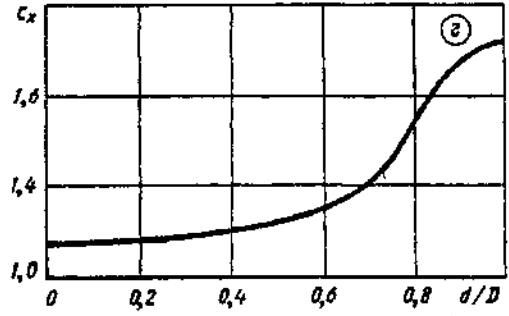
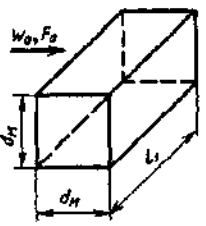
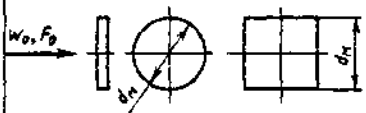


$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_2 c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - \tau S_m / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3}$$

Наименование тела и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$								
Выпуклая полусфера-чашка (без ограничивающей плоскости); $S_m = \pi d_m^2 / 4$ 	$Re' = 4 \cdot 10^5; c_x = 0,36;$ $Re' = 5 \cdot 10^5; c_x = 0,34$ $\tau \approx 0,5; k_2 \approx 1,2$								
Полусфера-конуса; $S_m = \pi d_m^2 / 4$ 	$Re' = 1,35 \cdot 10^5; c_x = 0,088;$ $\tau \approx 0,5; k_2 \approx 1,2$								
Вогнутая полусфера-чашка (без ограничивающей плоскости); $S_m = \pi d_m^2 / 4$ 	$Re' = 4 \cdot 10^5; c_x = 1,44;$ $Re' = 5 \cdot 10^5; c_x = 1,42$ $\tau \approx 1,5; k_2 \approx 1,2$								
Конус-полусфера, $S_m = \pi d_m^2 / 4$ 	$Re' = 1,35 \cdot 10^5; c_x = 0,16$ $\tau \approx 0,5; k_2 \approx 1,2$								
Круговой гладкий цилиндр, продуваемый параллельно образующей; $S_m = \pi d_m^2 / 4$ 	$t/d_m$	0,5	1	2	3	4	5	6	7
	$c_x$	1,0	0,91	0,85	0,85	0,87	0,90	0,95	0,99
	$\tau \approx 0,5;$ $k_2 \approx 1,2$								

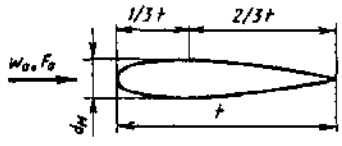
Наименование тела и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$						$\tau$	$k_2$	
Круговой гладкий цилиндр, продуваемый перпендикулярно к его образующей; $S_M = d_M l_1$ ; $Re' = 8,8 \cdot 10^4$ 	Кривая 1 графика б						~1,0	~1,1	
	$l_1/d_M$	1,0	2,0	5,0	10	40			$\infty$
	$c_x$	0,63	0,68	0,74	0,82	0,98			1,20
									
Конус (прямой, с плоским основанием) $S_M = \frac{\pi d_M^2}{4}$ ; $Re' = 2,7 \cdot 10^5$ 	$\alpha^\circ$	30		60			0,5	1,0	
	$c_x$	0,35		0,61					
Квадратный брус; $S_M = d_M l_1$ ; $l_1/d_M = 5$ 	$\alpha^\circ$	0	10	20	30	40	50	0,5	1,0
	$c_x$	1,58	1,12	0,80	0,87	0,89	0,90		
									
Куб ( $t/d_M = l_1/d_M = 1$ ); $Re' = 8 \cdot 10^5$ 	$c_x = 1,05$ ;						0,5	1,0	

Тела различной формы в трубе; пространственное обтекание; $S_m/F_0 < 0,3$ [10-38, 10-48]	Диаграмма 10-9
---	-------------------

Наименование тела и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$									$\tau$	$k_2$
Прямоугольная пластинка; $S_m = d_m l_1$ ; $Re' = 6 \cdot 10^5$ 	Кривая 2 графика б									~1,5	~1,1
	$l_1/d_m$	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	10	20	$\infty$		
	$c_x$	1,16	1,16	1,18	1,19	1,21	1,29	1,40	2,0		
Шайба; $S_m = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ ; $Re' = 3,6 \cdot 10^5$ 	$\frac{d}{D}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5			~1,0	~1,1
	$c_x$	1,16	1,16	1,16	1,18	1,20	1,22				
	$\frac{d}{D}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0					
	$c_x$	1,25	1,40	1,78	1,92	2,00					
											
Призматическое тело квадратного сечения; $Re' \geq 5 \cdot 10^5$ 	Кривая 3 графика б									~1,0	~1,0
	$l_1/d_m$	0,15	0,20	0,3	0,5	1,0	2,0	5,0	$\infty$		
	$c_x$	0,57	0,67	0,77	0,90	1,05	1,20	1,40	2,0		
Круглый или квадратный диск; $Re' = 6,2 \cdot 10^5$ 	$c_x = 1,16$									~1,0	~1,0

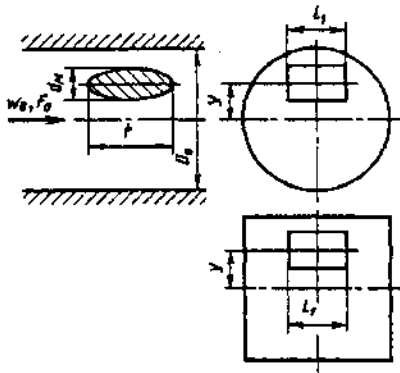
Тела различной формы в трубе; пространственное обтекание;  
 $S_M/F_0 < 0,3$  [10-38, 10-48]

Диаграмма  
 10-9

Наименование тела и схема	Коэффициент лобового сопротивления $c_x$				$\tau$	$k_2$	
	$\bar{r} = r/d_M$	3	4	5			6
Тело вращения; $Re' = (5-6) \cdot 10^5$ ; угол атаки $\alpha = 0-20^\circ$ 	$c_x$	0,05-0,10	0,05-0,12	0,06-0,15	0,075-0,18	0,5	1,0

Цилиндр (эллиптический, гладкий) или эллипсоид в трубе;  
 пространственное обтекание;  $S_M/F_0 < 0,3$  [10-48]

Диаграмма  
 10-10



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_x \frac{S_M / F_0}{(1 - 0,5 S_M / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3}$$

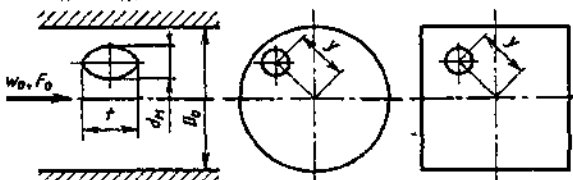
Эллиптический цилиндр:  $c_x = f(Re')$  см. график а;

1. Значения  $c_x$  (график а)

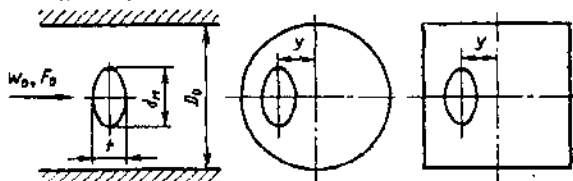
$l_1/d_M$	$Re' \cdot 10^{-5}$			
	0,3	0,4	0,5	0,6
2,5	0,38	0,31	0,26	0,22
3,0	0,32	0,26	0,22	0,19
3,5	0,28	0,24	0,21	0,18
4,0	0,25	0,21	0,18	0,16

$$S_M = d_M l_1; Re' = w_0 d_M / \nu$$

1.  $S_M = \pi d_M^2 / 4$



2.  $S_M = \pi d_M l_1 / 4$



$l_1/d_M$	$Re' \cdot 10^{-5}$			
	0,7	0,8	0,9	1,0
2,5	0,18	0,16	0,14	0,13
3,0	0,16	0,14	0,12	0,11
3,5	0,16	0,14	0,12	0,11
4,0	0,15	0,14	0,13	0,13

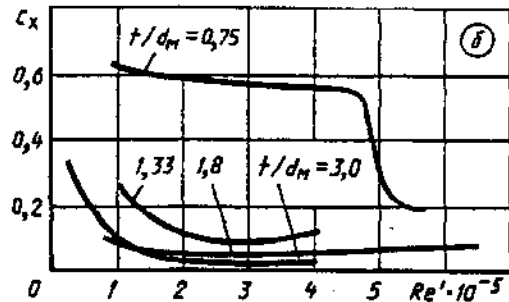
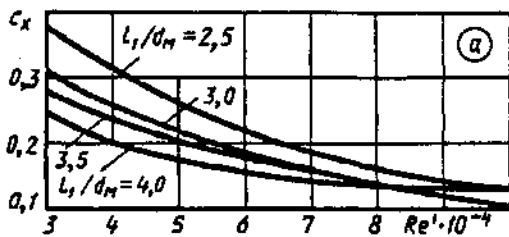
Цилиндр (эллиптический, гладкий) или эллипсоид в трубе;  
пространственное обтекание;  $S_M/F < 0,3$  [10-48]

Диаграмма  
10-10

Эллипсоид  $c_x = f(Re')$  см. график б

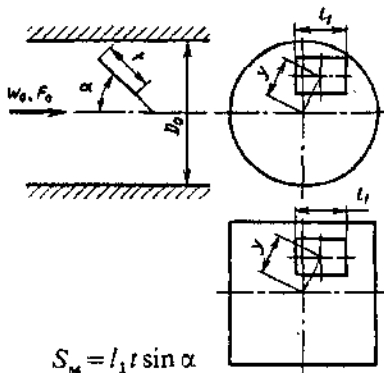
2. Значения  $c_x$  (график б)

$t/d_M$	$Re' \cdot 10^{-5}$							
	0,2	0,5	1,0	2	3	4	5	6
0,75	—	—	0,62	0,59	0,58	0,57	0,31	0,20
1,33	—	—	0,26	0,10	—	0,12	—	—
1,80	0,32	0,22	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08
3,00	—	—	0,07	0,05	0,05	0,06	—	—



Прямоугольная пластинка в паре круглых пластинок в трубе;  
пространственное обтекание;  $S_M/F_0 < 0,3$ ;  
 $Re' = w_0 d_M / \nu = (4 \div 6) \cdot 10^5$  [10-10, 10-38, 10-48]

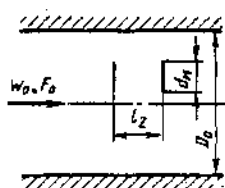
Диаграмма  
10-11



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1,1 c_x \frac{S_M / F_0}{(1 - S_M / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{1/3}$$

1. Прямоугольная пластинка:  $c_x = f(\alpha)$  см. график а;

Значения  $c_x$  (график а)

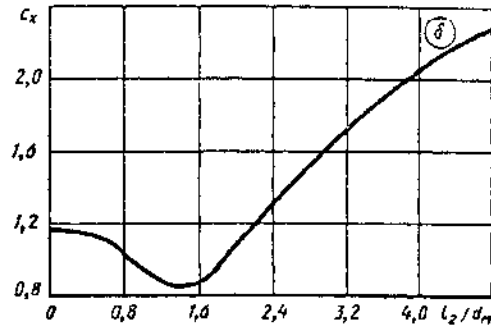
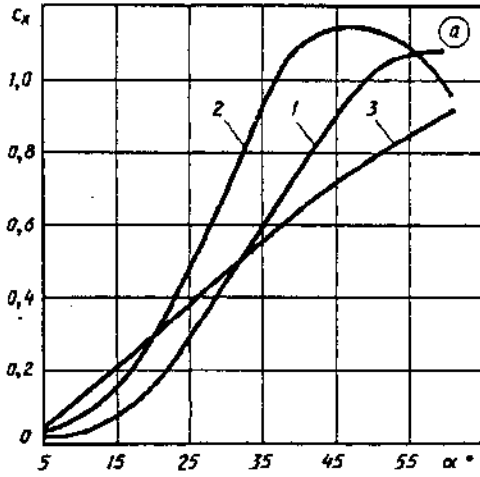


Кривая ( $l_1/t$ )	$\alpha^\circ$						
	5	10	20	30	40	50	60
1 (0,2)	0,02	0,03	0,17	0,44	0,76	1,02	1,08
2 (1,0)	0,04	0,09	0,30	0,70	1,10	1,13	0,98
3 (5,0)	0,05	0,14	0,30	0,47	0,64	0,80	0,90

Прямоугольная пластинка в паре круглых пластинок в трубе;  
 пространственное обтекание;  $S_m/F_0 < 0.3$ ;  
 $Re' = w_0 d_m / \nu = (4+6) \cdot 10^5$  [10-10, 10-38, 10-48]

Диаграмма  
 10-11

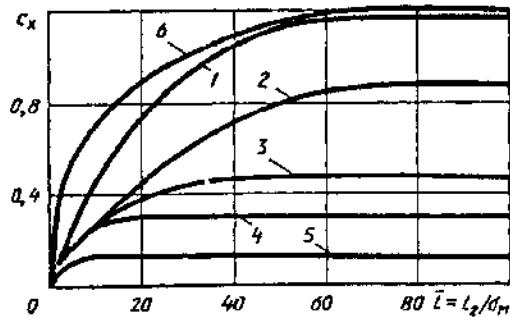
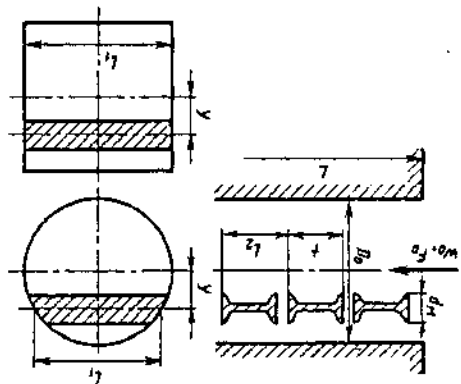
2. Пара круглых пластинок:  $c_x = c_{x_{общ}} = f(l_2/d_m)$  см. график б



$l_2/d_m$	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$c_{x_{общ}}$ (график б)	1,16	1,15	1,13	1,05	0,93	0,86	0,85	0,93	1,11	1,38	1,63	1,85	2,05	2,22

Профили (фасонные), помещенные в трубу в один продольный ряд;  
 плоскопараллельное обтекание;  $S_m/F < 0,3$   $Re' = w_0 d_m / \nu > 10^5$  [10-3]

Диаграмма  
 10-12



$$S_m = d_m l_1; D_r = 4F_0 / \Pi_0; T = l_2 / d_m$$

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_2 \frac{c_x}{d_m / D_r} \frac{1}{T(1 - \tau S_m / F_0)} (1 - 2y / D_0)^{1/3} L / D_r + \lambda L / D_r$$

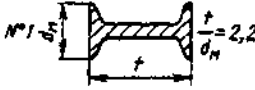

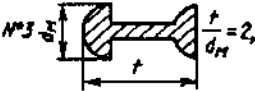
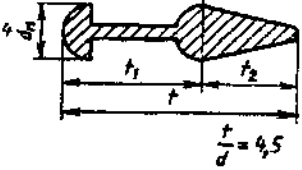
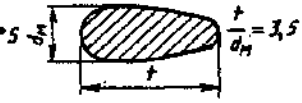

где  $c_x = f(T)$  см. график;  $\lambda$  см. диаграммы 2-1—2-6



Профили (фасонные), помещенные в трубу в один продольный ряд;  
плоскопараллельное обтекание;  $S_{\text{м}}/F < 0,3$   $Re' = w_0 d_{\text{м}}/\nu > 10^5$  [10-3]

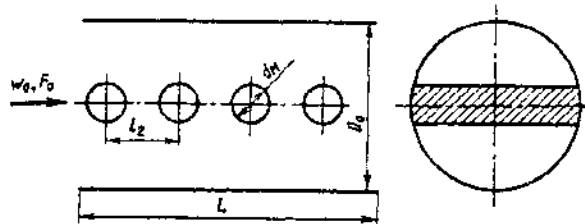
Диаграмма  
10-12

Значения  $c_x$

Схема профиля	$k_2$	$\tau$	$T$									
			2	5	10	20	30	40	50	60	70	100
 <p>№1 <math>\frac{t}{d_n} = 2,2</math></p>	~1,1	≈1,0	0,10	0,24	0,44	0,75	0,95	1,06	1,14	1,18	1,18	1,18
 <p>№2 <math>\frac{t}{d_n} = 2,2</math></p>	~1,1	≈1,5	0,10	0,17	0,28	0,45	0,60	0,71	0,80	0,85	0,88	0,88
 <p>№3 <math>\frac{t}{d_n} = 2,2</math></p>	1,0	~1,0	0,10	0,17	0,27	0,37	0,43	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
 <p>№4 <math>\frac{t}{d_n} = 4,5</math></p>	1,0	0,5	—	0,17	0,26	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
 <p>№5 <math>\frac{t}{d_n} = 3,5</math></p>	1,0	0,5	—	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
 <p>№6 <math>Re' = 5 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^5</math></p>	1,0	0,5	0,40	0,53	0,70	0,88	1,0	1,10	1,17	1,20	1,20	1,20

Цилиндры (гладкие) в трубе в один центральный продольный ряд;  
плоскопараллельное обтекание [10-5]

Диаграмма  
10-13



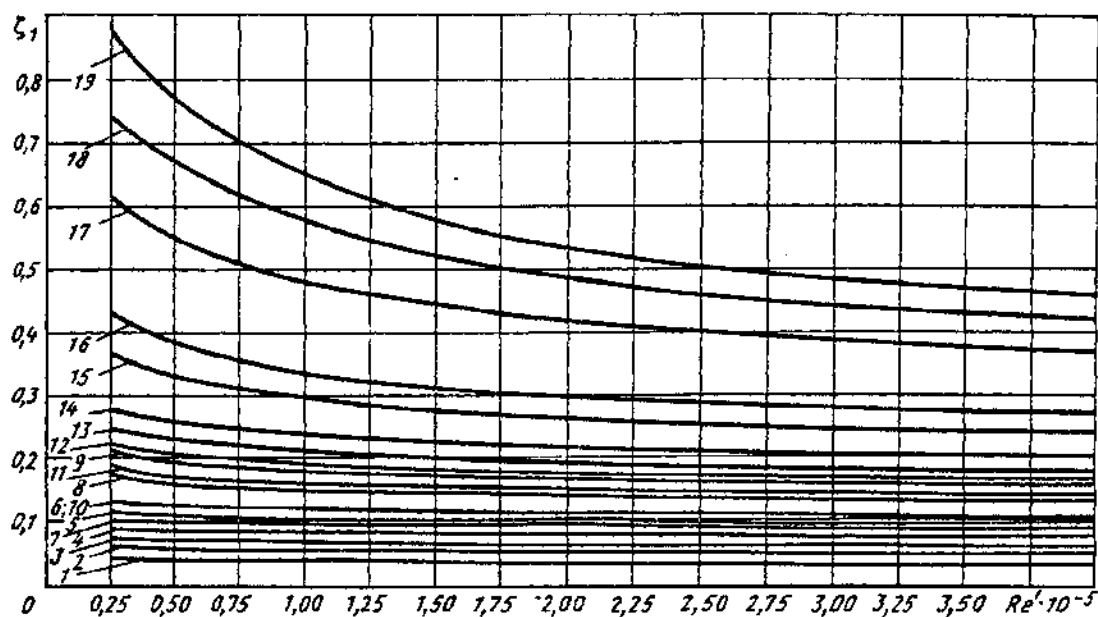
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = n_r \times \left\{ \frac{85(1 - 1,18 d_m / D_0) [(2 \lg(l_2 / d_m) + 1)(d_m / D_0)^{1,4}]^{2,5}}{[(Re')^{0,25} (1 + 0,25 l_2 / d_m)^{10 - 5 Re'}]} + (2 \lg(l_2 / d_m) + 1)(d_m / D_0)^{1,4} \right\} + \lambda L / D_0 = n_r \zeta_1 + \zeta_{тр}$$

где  $n_r$  — число трубок в продольном ряду;  $Re' = w_0 d_m / \nu$ ;  $\zeta_1$  см. график и таблицу;  $\lambda$  — см. диаграммы 2-1—2-4

Формула верна при  $0,08 < d_m / D_0 \leq 0,35$ ;  $1,3 \leq l_2 / d_m \leq 4,5$ ;  $2,5 \cdot 10^4 < Re < 4 \cdot 10^5$ .

При  $d_m / D_0 \leq 0,15$  и  $\lg Re > 5,35 + \frac{17,5 d_m / D_0 - 2,6}{l_2 / d_m}$  и при  $d_m / D_0 > 0,15$  и  $\lg Re > 5,35 + \frac{5 d_m / D_0 - 0,75}{l_2 / d_m}$

$$\zeta = n_r [2 \lg(l_2 / d_m) + 1] (d_m / D_0)^{1,4}$$

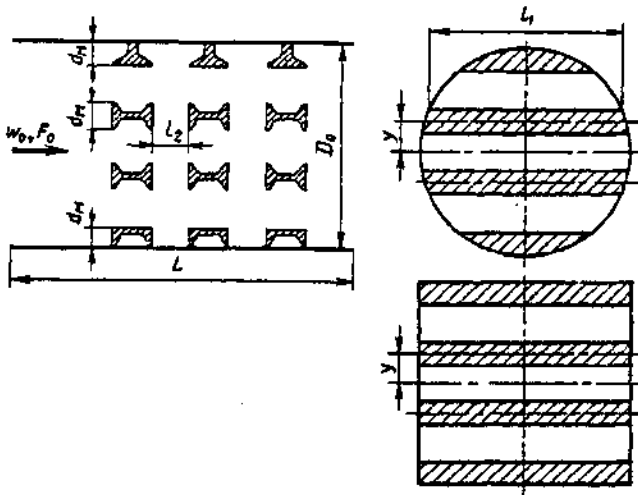


Значения  $\zeta_1$

№ кривой	$d_m / D_0$	$l_2 / d_m$	$Re' \cdot 10^{-5}$					№ кривой	$d_m / D_0$	$l_2 / d_m$	$Re' \cdot 10^{-5}$				
			0,25	1,0	2	3	4				0,25	1,0	2	3	4
1	0,08	1,5	0,026	0,026	0,035	0,039	0,039	11	0,18	2,0	0,210	0,183	0,174	0,174	0,174
2	0,08	3,0	0,070	0,070	0,072	0,073	0,074	12	0,18	2,7	0,220	0,190	0,183	0,183	0,183
3	0,08	4,5	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	13	0,18	3,3	0,235	0,210	0,210	0,205	0,205
4	0,12	2,0	0,087	0,087	0,087	0,087	0,087	14	0,22	2,0	0,270	0,235	0,225	0,225	0,225
5	0,12	3,0	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	15	0,22	3,0	0,350	0,300	0,260	0,250	0,250
6	0,12	4,0	0,132	0,122	0,122	0,122	0,122	16	0,22	4,0	0,420	0,340	0,300	0,295	0,295
7	0,15	1,5	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	17	0,34	2,0	0,600	0,480	0,530	0,400	0,383
8	0,15	3,0	0,157	0,140	0,140	0,140	0,140	18	0,34	2,7	0,750	0,570	0,490	0,450	0,445
9	0,15	4,5	0,180	0,157	0,157	0,157	0,157	19	0,34	3,3	0,900	0,650	0,550	0,500	0,470
10	9,18	1,3	0,109	0,109	0,109	0,104	0,104								

Труба (ствол) с различными фасонными распорками (расстрелами) поперек сечения и вдоль канала;  $S_m/F_0 < 0,3$ ;  $Re' = w_0 d_m / \nu > 10^4$  [10-3]

Диаграмма 10-14

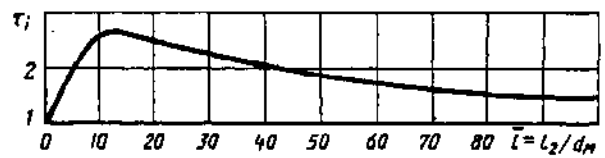


$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx 1,15 \sum_{i=1}^{n_p} \frac{c_{x1i} S_{mi} / F_0 (1 - 2y / D_0)^{1/3}}{(d_m / D_r) T_i \left( 1 - \sum_{i=1}^{n_p} \tau_i S_{mi} / F_0 \right)^3} \times \frac{L}{D_r} + \lambda \frac{L}{D_r}$$

где  $i$  — порядковый номер ряда распорок;  $n_p$  — число рядов;  $c_{x1i}$  определяется, как  $c_{x1}$  для данного профиля, в зависимости от  $T = l_2 / d_m$  по диаграмме 10-12;  $\lambda$  см. диаграммы 2-1—2-6;  $\tau_i$  находят в зависимости от формы профиля: а) для двутавра, швеллера, уголка, пластин с фронтальным набеганием потока, прямоугольника и т. д. — по кривой  $\tau_i = f(T)$ ; б) для профилей удобообтекаемой формы  $\tau_i \approx 0,5$

$$D_r = 4F_0 / \Pi_0$$

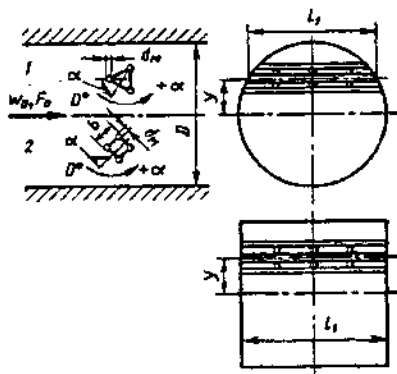
$$T = l_2 / d_m$$



$T$	0	2	4	6	8	10	15	20	30	40	50	80	100
$\tau_i$	1,00	1,35	1,70	2,10	2,40	2,60	2,60	2,50	2,30	2,10	1,90	1,55	1,45

Ферма, помещенная в трубу; плоскопараллельное обтекание;  $S_m/F_0 < 0,3$  [10-36]

Диаграмма 10-15



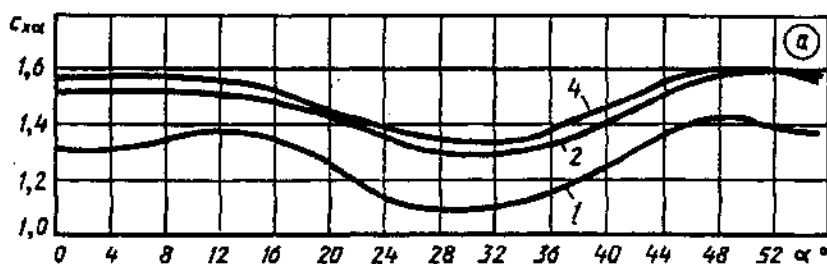
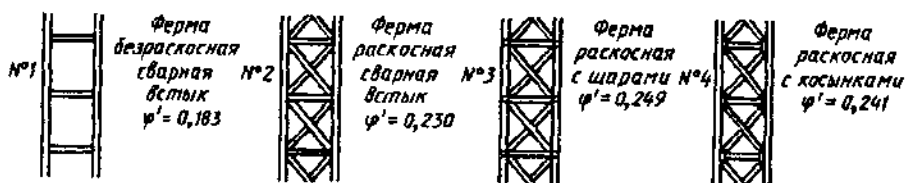
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_{x\alpha}^* \frac{S_m / F_0}{(1 - 0,5 S_m / F_0)^3}$$

где  $c_{x\alpha}^* = c_{x\alpha} c_{x0}^* / c_{x0}$ .  
Треугольная ферма:  $c_{x\alpha} = f(\alpha)$  см. график а ( $Re' = w_0 d_m / \nu = 1,18 \cdot 10^5$ );  $c_{x0}^*$  см. кривые  $c_{x0} = f(Re')$  графика б, полученные при  $\alpha = 0$ ;  $c_{x0}^*$  см. график а при  $\alpha = 0$

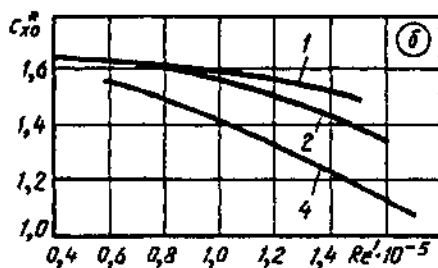
$S_m / F_0 \approx \phi' b l_1 / F_0$ ;  
 $b$  — ширина профиля;  
 $\phi'$  — коэффициент заполнения фермы

Ферма, помещенная в трубу; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_{\Sigma}/F_0 < 0,3$  [10-36]

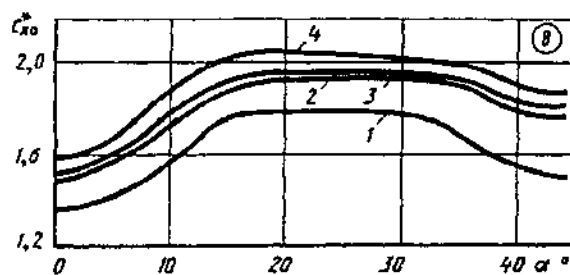
Диаграмма  
 10-15



Значения  $c_{x\alpha}$



Ферма и кривые	$\alpha, ^\circ$										
	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
1	1,32	1,37	1,37	1,25	1,13	1,10	1,15	1,25	1,39	1,42	1,40
2	1,52	1,52	1,49	1,43	1,35	1,30	1,32	1,42	1,53	1,58	1,58
4	1,57	1,57	1,54	1,47	1,39	1,35	1,37	1,46	1,57	1,60	1,55

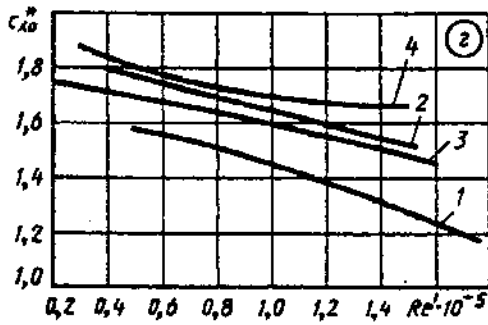


Значения  $c_{x0}$

Фермы и кривые	$Re' \cdot 10^{-5}$						
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6
1	1,65	1,63	1,61	1,58	1,55	1,50	—
2	1,65	1,63	1,60	1,55	1,50	1,40	1,35
4	—	1,55	1,50	1,41	1,32	1,17	1,12

Ферма, помещенная в трубу; плоскопараллельное обтекание;  
 $S_m/F_0 < 0,3$  [10-36]

Диаграмма  
 10-15



Квадратная ферма:  $c_{x0} = f(\alpha)$  см. график в ( $Re' = w_0 d_m / \nu = 1,18 \cdot 10^5$ );  $c_{x0}^*$  см. кривые  $c_{x0} = f(Re')$  графика 2, полученные при  $\alpha = 0$ ;  $c_{x0}$  см. график в при  $\alpha = 0$

Значения  $c_{x0}$

Ферма и кривые	$\alpha^\circ$									
	0	5	10	15	20	30	35	40	45	
1	1,35	1,42	1,55	1,78	1,79	1,78	1,67	1,54	1,50	
2	1,50	1,60	1,78	1,93	1,95	1,95	1,93	1,83	1,81	
3	1,49	1,56	1,73	1,89	1,93	1,93	1,91	1,80	1,77	
4	1,59	1,68	1,88	2,03	2,05	2,03	1,99	1,90	1,88	

Значения  $c_{x0}^*$

Ферма и кривые	$Re' \cdot 10^{-5}$						
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
1	—	1,55	1,50	1,44	1,38	1,30	1,22
2	1,80	1,74	1,70	1,65	1,6	1,54	—
3	1,72	1,68	1,64	1,59	1,55	1,51	1,46
4	1,84	1,77	1,73	1,70	1,68	1,66	—

**СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ НА ВЫХОДЕ  
ИЗ ТРУБ И КАНАЛОВ (КОЭФФИЦИЕНТЫ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫХОДНЫХ УЧАСТКОВ)**

**11-1. ПОЯСНЕНИЯ  
И ПРАКТИЧЕСКИЕ  
РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. При выходе потока из сети кинетическая энергия выходящей струи всегда теряется для этой сети; поэтому в общем случае потери на выходе складываются из внутренних потерь в выходном участке  $\Delta p_{вн}$  и потерь динамического давления  $\Delta p_{д}$  струи, выходящей из сети:

$$\Delta p = \Delta p_{вн} + \Delta p_{д}$$

Коэффициент сопротивления выхода, приведенный к скорости в узком поперечном сечении,

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{\Delta p_{вн} + \Delta p_{д}}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{вн} + \zeta_{д}$$

В общем случае поле скоростей на выходе не бывает равномерным; поэтому динамическое давление определяется по заданному распределению скоростей:

$$\Delta p_{д} = \frac{1}{Q} \int_{F'} \frac{\rho w^3}{2} dF$$

и

$$\zeta_{д} \equiv \frac{\Delta p_{д}}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{1}{F_0} \int_{F_{вн}} \left( \frac{w}{w_0} \right)^3 dF = \frac{1}{n_1^2} \cdot \frac{1}{F_{вн}} \times \\ \times \int_{F_{вн}} \left( \frac{w}{w_{вн}} \right)^3 dF = \frac{1}{n_1^2} N,$$

где  $n_1 = F_{вн} / F_0$  — степень расширения выходного участка;  $N = \frac{1}{F_{вн}} \int_{F_{вн}} \left( \frac{w}{w_{вн}} \right)^3 dF$  — коэффициент кинетической энергии потока (коэффициент Кориолиса) в сечении выходного участка.

2. В случае свободного выхода потока из прямого участка трубы (канала) постоянного сечения в большой объем полные потери сводятся только к потерям динамического давления на выходе, и так как при этом  $F_0 = F_{вн} (n_1 = 1)$ , то общий коэффициент сопротивления

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{\Delta p_{д}}{\rho w_0^2 / 2} = N.$$

Коэффициент  $N$  зависит от характера распределения скоростей на выходе. При равномерном распределении скоростей он равен единице, в остальных случаях всегда больше единицы.

3. Если скорости на выходе распределяются по степенному закону (см. пп. 6—9 параграфа 4-1)

$$w / w_{max} = (1 - y / R_0)^{1/m},$$

[где  $w, w_{max}$  — соответственно скорость в данной точке и максимальная скорость по сечению, м/с;  $R_0$  — радиус сечения, м;  $y$  — расстояние от оси трубы (канала), м;  $m \geq 1$ ], то коэффициент сопротивления выхода из трубы круглого и (практически квадратного) сечения вычисляется по формуле автора [11-15, 11-17]

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{(2m+1)^3 (m+1)^3}{4m^4 (2m+3)(m+3)},$$

а коэффициент сопротивления выхода из плоской трубы — по формуле

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{(m+1)^3}{m^2 (m+3)}.$$

При распределении скоростей на выходе из плоской трубы по закону тригонометрической функции (см. п. 10 параграфа 4-1)

$$w / w_0 = 1 + \Delta w / w_0 \sin(4k_1 \pi y / b_0)$$

(где  $\Delta w$  — отклонение скорости в данной точке от средней по сечению скорости, м/с;  $k_1$  — целое число;  $\pi = 3,14 \dots$ ) коэффициент сопротивления выхода

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1 + 1.5 (\Delta w / w_0)^2.$$

4. При заделке выходного участка заподлицо в стенку, вдоль которой проходит поток со скоростью  $w_\infty$  (независимо от протекаемого по каналу потока), возникает такое же явление, как и в случае притока струи через отверстие в тонкой стенке (см. четвертый раздел, пп. 41—48).

В случае притока струи через прямые каналы струя выходит из них без поджатия сечения, благодаря чему потери динамического давления не становятся больше его значения, взятого по средней скорости в сечении канала. Потери полного давления в случае притока при определенных отношениях скоростей  $w_\infty / w_0 > 0$  становятся даже меньше указанного динамического давления ( $\zeta < 1$ ), что обуславливается (см. пп. 41—48 четвертого раздела) явлением возрастания разрежения в вихревой зоне на подветренной стороне струи, выходящей из канала [11-27].

5. Сопротивление диффузоров при свободном выходе в большой объем (диффузоров, установленных на выходе из сети) складывается из потерь в самом диффузоре и потерь динамического давления на выходе из него. Подробно о влиянии основных параметров на сопротивление диффузоров и структуру потока в них см. пятый раздел. Значения коэффициентов сопротивления диффузоров, установленных на выходе из сети, полученные экспериментально [11-21], приведены на диаграммах 11-3—11-6 в зависимости от  $\alpha$ ,  $n_1$ , условий входа и числа Рейнольдса  $Re = w_0 D_0 / \nu$ .

6. Значения коэффициентов восстановления давления  $\bar{p} = p_1 / p_0^* = p_a / p_0^*$  (где  $p_a$  — давления окружающей среды;  $p_0^*$  — полное давление в сечении  $\theta = 0$ ) в зависимости от относительной скорости  $\lambda_c \equiv w_0 / a_{кр}$  (и числа  $Re$ ) при различных  $n_1$  и  $l_0 / D_0$  для диффузоров, установленных на выходе из сети, при больших дозвуковых скоростях [11-7] приведены на диаграммах 11-4.

Связь между коэффициентом сопротивления диффузоров и коэффициентом восстановления давления может быть получена по формулам, аналогичным формулам п. 55 пятого раздела, в которые вместо  $\bar{p}_0$  подставляется  $\bar{p}$ .

7. При выходе потока на экран потери зависят от относительного расстояния между экраном и выходным участком трубы. В одних случаях установка экрана приводит к увеличению потерь, а в других — к их уменьшению. В частности, экран за цилиндрическим участком или за прямолинейным диффузором с углами расширения  $\alpha$  до  $30^\circ$  всегда вызывает увеличение потерь. Экран за криволинейным диффузором или за прямолинейным с углами расширения, большими  $30^\circ$ , при соответ-

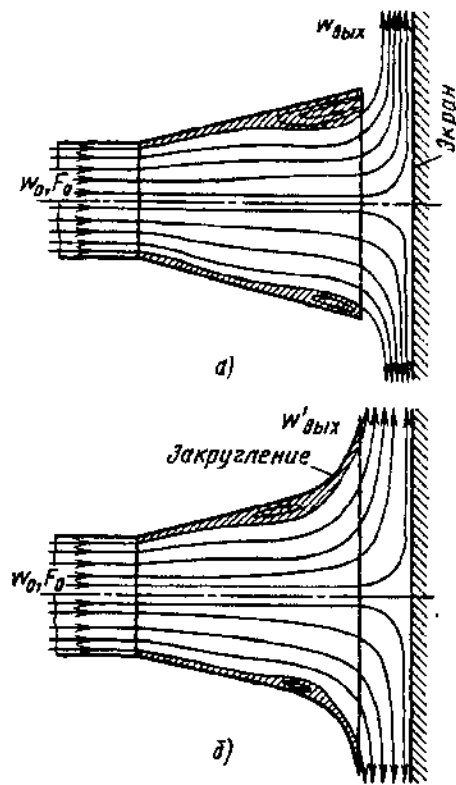


Рис. 11-1. Схема потока при выходе его из диффузора на экран:

а — без закругления выходной кромки диффузора; б — с закруглением выходной кромки диффузора

ствующем выборе расстояния от экрана до диффузора может значительно уменьшить общие потери.

8. Экран за диффузором создает подпор, заставляющий поток растекаться по сечению. Это приводит к уменьшению области отрыва потока, а следовательно, к более эффективному его растеканию. При этом уменьшаются как потери внутри диффузора, так и потери динамического давления на выходе. Одновременно экран заставляет поток повернуться в радиальном направлении (на  $90^\circ$ ) до выхода из сети. При отсутствии плавного закругления на выходной кромке диффузора этот поворот сопровождается значительным сжатием струи (рис. 11-1, а), а следовательно, повышением ее кинетической энергии, поэтому при установке экрана за диффузором с небольшой степенью расширения, когда средняя скорость потока в месте поворота значительна, выигрыш, получаемый из-за растекания и более полного расширения струи в диффузоре, может оказаться меньше тех дополнительных потерь, которые появляются вследствие сжатия струи на выходе. При большой степени расширения (большом угле) диффузора потери из-за поворота потока становятся сравнительно небольшими и влияние экрана оказывается более благоприятным.

9. Плавное закругление выходной кромки диффузора или прямого участка уменьшает,

во-первых, сжатие струи (рис. 11-1, б), во-вторых, приводит к образованию кольцевого диффузора, в котором происходит дополнительное расширение струи и соответственно переход кинетической энергии в энергию давления. Поэтому установка экрана за диффузором с закругленными краями целесообразна как при большой, так и малой степени расширения диффузора (включая и  $n_1 = 1$ , т. е. прямой участок).

10. Для прямолинейных диффузоров с большими углами расширения и диффузоров или прямых участков с закругленными краями существует оптимальное расстояние  $(h/D_r)_{\text{опт}}$  между экраном и выходным отверстием, при котором коэффициент сопротивления участка с выходом на экран получается минимальным. При большом расстоянии экрана от выходного участка (практически при  $h/D_r > 0,6$ ) влияние экрана не сказывается, и потери равны потерям без экрана. При близком расположении экрана к выходному отверстию участка, практически при  $h/D_r < 0,15$ , скорость протекания потока между экраном и выходной кромкой повышается, и потери резко возрастают. Оптимальное расстояние  $(h/D_r)_{\text{опт}} = 0,15 \div 0,25$  соответствует наиболее благоприятным условиям, при которых одновременно со снижением скорости протекания уменьшается и вихреобразование из-за отрыва потока при его повороте и расширении.

11. Если принять [11-13] следующие параметры диффузоров с закругленными краями и с экраном:  $l_d/D_r = 2,5$ ;  $\alpha = 14 \div 16^\circ$ ;  $R_0/D_r = 0,6 \div 0,7$ ;  $D_s/D_r = 3,0$ ;  $h/D_r = 0,24 \div 0,26$ , то коэффициент полного сопротивления такого диффузора

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 0,25 \div 0,35.$$

12. Меньшее значение  $\zeta$  получается при тщательной обработке (полировании) поверхности диффузора и очень плавном переходе от входного коллектора к диффузору (см. схему диаграммы 11-8).

Значения коэффициентов сопротивления таких тщательно изготовленных диффузоров с выходом потока на экран

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1 - \eta_d,$$

где  $\eta_d$  — КПД диффузора, определяемый по данным опытов [11-41], см. диаграмму 11-8.

13. При установке выходного диффузора за центробежным вентилятором следует учесть рекомендации, изложенные в пп. 77-80 пятого раздела. Установка диффузора за вентилятором, работающим на всасывании с выпуском потока в большой объем («на выпуск»), особенно необходима, так как при этом потери на выходе, согласно данным

И. Л. Локшина и Газирбековой [11-24], могут быть уменьшены в 3-4 раза.

Относительную длину пирамидального диффузора, помещенного за центробежным вентилятором (работающим на всасывании), целесообразно выбирать не больше  $l_d/b_0 = 2,5 \div 3,0$  при углах расширения  $\alpha = 8 \div 12^\circ$ , а относительную длину плоского диффузора — не более  $l_d/b_0 = 4 \div 5$  при  $\alpha = 15 \div 25^\circ$ . Коэффициенты сопротивления диффузоров, установленных за центробежными вентиляторами, определяются по диаграммам 11-11—11-15.

14. В некоторых случаях осуществляется выпуск потока из центробежного вентилятора через диффузор или отвод в короб [11-6] (см. диаграмму 11-14). На той же диаграмме приведены коэффициенты сопротивления составных элементов (диффузор, отвод, короб) за вентиляторами с лопатками, загнутыми назад.

15. Коэффициенты сопротивления конических диффузоров, установленных за осевыми вентиляторами [3-3, 11-6], приведены на диаграмме 11-15.

16. Коэффициент полного сопротивления  $\zeta_n$  осекольцевого диффузора с прямолинейными образующими (см. пп. 82, 83 пятого раздела), расположенного за лопаточным венцом осевых турбомашин (вентиляторов, компрессоров, турбин), при свободном выходе движущей среды в большой объем определяется по экспериментальным данным, полученным С. А. Довжиком и В. И. Морозовым [11-12] и приведенным на диаграмме 11-9 в виде зависимости  $\zeta_n$  от угла  $\alpha_1$  при различных  $\alpha_2$  для диффузоров с  $d_0 = 0,688$  и  $l_d$ , равным 0,5 и 1,0.

При неравномерном поле скоростей на входе в диффузор или при расположении диффузора за работающей осевой машиной коэффициент сопротивления

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_d \zeta_n,$$

где  $k_d$  — поправочный коэффициент, определяемый по диаграмме 5-1 или соответственно по диаграмме 5-19.

Коэффициенты полного сопротивления радиально-кольцевых и осерадиально-кольцевых (комбинированных) диффузоров выпускных патрубков турбомашин (см. пп. 84—89 пятого раздела), установленных на всасывании и выбрасывающих поток в большой объем, приведены на диаграмме 11-10.

17. Анализ экспериментальных данных, проведенный И. В. Брусилковским [11-4], показал, что коэффициент сопротивления  $\zeta_n$  осекольцевого диффузора с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть также определен как  $\zeta_n^{\text{пл}}$ , значения которых даны на диаграмме 11-9 (графики  $\varepsilon$  и  $\delta$ ) для плоских диффузоров в зависимости от  $n_1 = F_1/F_2$  и приведенной длины



$$L_{np} = \frac{2lg[(1 + \bar{D}_1)/\cos \alpha_1 + (\bar{d}_0 + \bar{d}_1)/\cos \alpha_2]}{1 - \bar{d}_0^2}; \quad (11-1)$$

при этом  $L_{np} = 2L_{пл}$ , где  $L_{пл} = l_{пл}/h_0$  — относительная длина образующей плоского диффузора, значение которой по всей области рассматриваемых графиков отличается от относительной осевой длины диффузора, как правило, не более чем на 1%;  $h_0$  — ширина входного сечения диффузора, остальные обозначения см. диаграмму 11-9.

18. Выходные участки в виде вытяжных шахт имеют такие же форму и параметры, что и приточные шахты; при выборе их следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в п. 27 третьего раздела.

19. К выходным участкам относятся и приточные насадки, называемые так в соответствии с помещением, в которое притекает воздух. Основные требования, которые предъявляются к приточным насадкам, — это обеспечить быстрое затухание струи, выходящей из насадки, или, наоборот, обеспечить сосредоточенную струю. Природа потерь в таких насадках такая же, как и в рассмотренных выше случаях выхода потока из сети. В основном они сводятся к потере кинетической энергии при той или иной степени сжатия или расширения струи.

20. В справочнике коэффициенты сопротивления приведены не только для наиболее рациональных форм насадков, но и для насадков более простых форм, к которым, в частности, относятся насадки в виде обычных колен или отводов.

21. В некоторых случаях раздача приточного воздуха осуществляется через воздухопроводы с перфорированной поверхностью (см. диаграмму 11-19). Такая раздача воздуха обеспечивает быстрое затухание приточных струй, что во многих случаях является желательным. Вместе с тем при больших отношениях суммарной площади отверстий к площади поперечного сечения воздухопровода ( $\bar{f}_0 = F_{отв}/F_0 > 0,5$ ) равномерная раздача потока по длине не обеспечивается.

Клиновидные воздухопроводы обеспечивают более равномерную раздачу потока вдоль перфорированной поверхности, чем воздухопроводы постоянного сечения, если отношение конечной площади к начальной находится в пределах  $F_1/F_0 = 0,15 \div 1,0$ .

22. Коэффициент общего сопротивления приточного насадка с перфорированной поверхностью в пределах  $0,5 < \bar{f}_0 < 3,0$  и  $0 < F_1/F_0 < 1,0$  можно вычислить по формуле М. И. Гримитлина [11-9]

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} \approx \frac{1,8}{\bar{f}_0^2} + \left(\frac{l}{D_r}\right)^{0,15}. \quad (11-2)$$

При этом для  $F_1/F_0 > 0$  получаются несколько завышенные значения ( $\approx$  на 20%).

Более точные данные получаются по другой формуле Гримитлина

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = 1,62 \bar{f}_0^{-2,2} \left(\frac{F_1}{F_0}\right)^{0,25 \bar{f}_0} (\lambda l/D_r)^{-0,05} + 1.$$

График *a* на диаграмме 11-19 построен в соответствии с более упрощенной формулой (11-1).

23. В качестве приточных насадков часто применяются и обычные колена или отводы с выходом потока в большой объем. Сопротивление таких колен и отводов существенно зависит от длины выходного участка. Вначале с удлинением этого участка потери несколько возрастают, затем начинают резко уменьшаться и с некоторого значения  $l_0/b_0$  становятся постоянными. Такой характер изменения кривой сопротивления объясняется формой и величиной вихревой зоны, образуемой у внутренней стенки колена за поворотом.

24. Вихревая зона в колене начинает образовываться у самой кромки поворота и, постепенно расширяясь, достигает на некотором расстоянии от этой кромки максимальной ширины. После этого вихревая зона начинает опять сжиматься, пока поток полностью не растечется по сечению. Таким образом, при укорачивании выходного участка колена до сечения, в котором ширина вихревой зоны будет наибольшей, т. е. живое сечение наиболее сжатое, поток выходит в большой объем с наибольшими скоростями, а следовательно, с наибольшей потерей энергии. Этому случаю и соответствует максимум  $\zeta$  на графиках диаграмм 11-16—11-18.

25. При полном отсутствии выходного участка за коленом вихревой зоны еще нет, и поток выходит в большой объем с меньшей скоростью, а следовательно, коэффициент сопротивления  $\zeta$  меньше. При этом он все же снижается незначительно. Последнее объясняется тем, что поток по инерции поджимается к верхней стенке, вследствие чего скорость на выходе получается значительно больше средней скорости по сечению.

26. При установке сравнительно длинного выходного участка обеспечивается полное растекание потока по сечению, и коэффициент сопротивления  $\zeta$  получает наименьшее значение, увеличиваясь с возрастанием  $l_1/b_0$  вследствие возрастания потерь на трение в прямом участке.

Для колена со свободным выходом потока и расширенным вдвое выходным сечением коэффициент сопротивления уменьшается на 40—50%.

27. Для уменьшения сопротивления колен, установленных на выходе в большой объем, можно также применять направляющие ло-

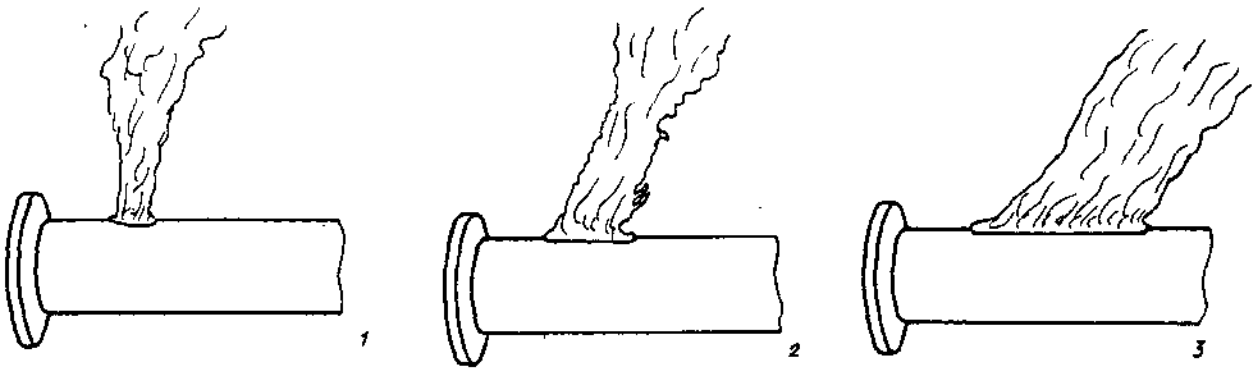


Рис. 11-2. Спектры выхода задымленного потока воздуха из бокового отверстия на концевом участке трубы [11-36]:  
1 —  $\bar{f}=0,29$ ; 2 —  $\bar{f}=0,62$ ; 3 —  $\bar{f}=1,15$

патки. При этом относительное уменьшение сопротивления получается даже больше, чем для колен с длинными выходными участками, так как абсолютное значение сопротивления выходных колен значительно больше, чем сопротивление колен с участками за ними.

28. Коэффициент сопротивления прямого выходного участка с плоской решеткой или шайбой на выходе (истечение из отверстия в неограниченное пространство  $F_2 = \infty$ , см. схему диаграммы 11-22) при  $Re = w_0 d_r / \nu > 10^5$  в общем случае вычисляется по формуле автора [см. формулу (4-10)]:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = [1 + \zeta' (1 - \bar{f})^{0,75} + \tau (1 - \bar{f})^{0,375} + \lambda l / d_r] \cdot \bar{f}^{-2}, \quad (11-3)$$

где  $\zeta'$  — коэффициент сопротивления входа, определяемый, как  $\zeta$ , по диаграммам 3-4 и 3-7;  $\tau$  — коэффициент, учитывающий влияние толщины стенки решетки (шайбы), формы входной кромки отверстия и условий протекания потока через него;  $\lambda$  — коэффициент сопротивления трения в отверстиях решетки (шайбы);  $\bar{f} = F_{отв} / F_p$  — коэффициент живого сечения решетки (шайбы).

Общий случай приводится к ряду частных случаев:

а) при острых краях отверстий ( $l/d_r = 0$ )  $\zeta' = 0,5$ ;  $\tau = 1,41$  и  $\lambda l/d_r = 0$  выражение (11-3) приводится к следующей формуле автора:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = [1 + 0,5 (1 - \bar{f})^{0,75} + 1,41 (1 - \bar{f})^{0,375}] \cdot \bar{f}^{-2}; \quad (11-4)$$

б) при утолщенных краях отверстий коэффициент  $\zeta' = 0,5$ , а коэффициент  $\tau = f(l/d_r)$  определяется по диаграмме 11-23 (график а);

в) при срезанных или закругленных по потоку краях отверстий

$$\lambda l/d_r = 0 \text{ и } \tau \approx 2\sqrt{\zeta'}, \quad \zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = [1 + \zeta' (1 - \bar{f})^{0,75} + 2\sqrt{\zeta'} (1 - \bar{f})^{0,375}] \bar{f}^{-2}. \quad (11-5)$$

При срезанных по потоку краях отверстий коэффициент  $\zeta'$  определяется как  $\zeta$  конического коллектора с торцевой стенкой в зависимости от угла сужения  $\alpha$  и относительной длины  $l/d_r$  по графику б диаграммы 11-23.

При закругленных краях отверстий коэффициент  $\zeta'$  определяется как  $\zeta$  кругового коллектора с торцевой стенкой в зависимости от  $r/d_r$  по графику в той же диаграммы.

29. Для переходной и ламинарной областей течения коэффициент сопротивления может быть определен по следующим приближенным формулам (в соответствии с пп. 36—37 четвертого раздела):

$$\text{при } 30 < Re < 10^4 \div 10^5$$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{\phi} / \bar{f}^2 + \varepsilon_{0Re} \zeta_{\text{кн}};$$

$$\text{при } 10 < Re < 30$$

$$\zeta = 33 / (Re \bar{f}^2) + \bar{\varepsilon}_{0Re} \zeta_{\text{кн}};$$

$$\text{при } Re < 10$$

$$\zeta = 33 / (Re \bar{f}^2),$$

где  $\zeta_{\phi} = f_1(Re, F_0/F_1)$ ,  $\bar{f} = F_{отв}/F_0$  и соответствует отношению  $F_0/F_1$ ;  $\bar{\varepsilon}_{0Re} = f_2(Re)$  определяются по диаграмме 4-19;  $\zeta_{\text{кн}}$  — коэффициент сопротивления данного вида решетки находят соответственно по формулам (11-4) — (11-5).

30. Сопротивление бокового выхода из концевой участка трубы (см. схему диаграммы 11-25) больше сопротивления прямого выхода через шайбу или решетку (см. диаграммы 11-29), так как это связано с дополнительным поворотом потока на  $90^\circ$  (с изменением количества движения струи). Чем больше  $\bar{f} = F_{отв}/F_0$ , тем относительно больше эта разница.

На относительное возрастание сопротивления с увеличением  $\bar{f}$  влияет и то обстоятельство, что с ростом отношения площадей возрастает относительная скорость потока в трубе, усиливающая снос и сжатие струи при выходе из отверстия (рис. 11-2).

Боковой выход через два отверстия, расположенные одно против другого, повышает сопротивление выхода в тем большей степени, чем больше  $\bar{f}$ .

31. Коэффициент сопротивления решеток с неподвижными жалюзи при установке их на выходе из прямого канала (см. диаграмму 11-26) может быть приближенно вычислен по следующим формулам:

а)  $l/b'_1 \geq (l/b'_1)_{\text{огт}}$ :

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \left[ 1 + 0,85 \left( 1 - \bar{f} \frac{F_p}{F_0} \right) + \zeta_{\text{тр}} \right] \frac{k_1}{\bar{f}^2} \left( \frac{F_0}{F_p} \right)^2;$$

б)  $l/b'_1 < (l/b'_1)_{\text{огт}}$ :

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \left[ 1 + 0,85 \left( 1 - \bar{f} \frac{F_p}{F_0} \right) + \zeta_{\text{тр}} \right] \frac{k_1}{\bar{f}^2} \times \left( \frac{F_0}{F_p} \right)^2 + \Delta \zeta,$$

где

$\Delta \zeta \approx 0,5 [11(1-\bar{f}) - l/b'_1]$ ;  $\zeta_{\text{тр}} = \lambda l/b'_1$ ;  $k_1 = 1,0$  — для стандартной решетки (входные кромки

срезаны вертикально);  $k_1 = 0,6$  — для улучшенной решетки (входные и выходные кромки срезаны горизонтально);  $\bar{f} = F_{\text{отв}}/F_0$  — коэффициент живого сечения решетки;  $\lambda$  — коэффициент сопротивления трения каналов жалюзи, определяемый в зависимости от  $Re = w_{\text{отв}} b'_1/\nu$  по диаграммам 2-1—2-6.

32. Энергия утолщенной свободной струи, выходящей в неограниченный объем, является потерянной для данной сети. В табл. 11-1 и 11-2 приведены формулы для расчета соответствующих параметров свободной струи, как для начального ее участка, так и для основного (данные Г. Н. Абрамовича [11-1]). Под начальным участком понимается участок струи, в котором, начиная от выходного отверстия подводящего канала, скорость по оси остается неизменной и равной начальной скорости. Под основным участком понимается участок всей остальной части струи, в которой скорость по оси постепенно уменьшается и затухает. Сечение раздела обоих участков называется переходным (рис. 11-3).

11-1. Параметры осесимметричной свободной затопленной струи\*1

Параметры	Участок	
	начальный	основной ( $\bar{s} > 12$ )
	Осесимметричная струя	
Тангенс угла одностороннего расширения внешней границы*2	$\text{tg} \alpha_1 = 0,144;$ $\alpha_1 \approx 8^\circ 20'$	$\text{tg} \alpha_1 = 0,22;$ $\alpha_1 = 12^\circ 30'$
Тангенс угла одностороннего сужения ядра постоянной скорости	$\text{tg} \alpha_2 = 0,126;$ $\alpha_2 = 7^\circ 10'$	—
Относительный диаметр внешней границы	$\bar{D}_s \equiv D_s/D_0 = 1 + 0,144\bar{s}; \bar{s} = s/R_0;$ $R_0 = D_0/2$	$\bar{D}_s = 0,22\bar{s}$
Относительная площадь сечения	$\bar{F}_s \equiv F_s/F_0 = (1 + 0,144\bar{s})^2$	$\bar{F}_s = (0,22\bar{s})^2$
Относительная толщина пограничного слоя	$\bar{b}_{\text{н.с}} \equiv b_{\text{н.с}}/R_0 = 0,27\bar{s}$	$\bar{R}_s = \bar{b}_{\text{н.с}} = 0,22\bar{s}$
Относительная ширина ядра первоначальной массы	$\bar{R}_{\text{н.м}} \equiv R_{\text{н.м}}/R_0 = 1 + 0,0186\bar{s} + 0,00012\bar{s}^2$	$\bar{R}_{\text{н.м}} = 0,22\bar{s}\eta_s,$ где $\eta_s = f(\bar{s})$ см. рис. 11-4
Относительная длина начального участка	$\bar{s}_n \equiv s_n/R_0 \approx 8$	—
Относительная толщина струи в конце начального участка	$\bar{R}_n \equiv R_n/R_0 = 2,16$	—
Относительная скорость по оси струи	$\bar{w}_m \equiv w_m/w_0 = 1$	$\bar{w}_m = 12,4/\bar{s}$
Относительная средняя арифметическая (по площади) скорость	$w_{\text{ср}} \equiv \bar{w}_{\text{ср}}/w_m = Q/(w_0 F_s) =$ $\frac{1 + 0,073\bar{s} + 0,002\bar{s}^2 - 0,0001\bar{s}^3 + \dots}{1 + 0,316\bar{s} + 0,022\bar{s}^2 - 0,00047\bar{s}^3 + \dots}$ $\frac{+ 0,000002\bar{s}^4}{+ 0,000002\bar{s}^4}$	$\bar{w}_{\text{ср}} = 0,258 = \text{const}$

Параметры	Участок	
	начальный	основной ( $\bar{s} > 12$ )
Относительная средняя квадратичная (по расходу) скорость	$\bar{w}'_{cp} \equiv w'_{cp}/w_m = \frac{\int w dm}{w_m m_s} =$ $= (1 + 0,073\bar{s} + 0,002\bar{s}^2 - 0,0001\bar{s}^3 + 0,000002\bar{s}^4)^{-1}$	$\bar{w}'_{cp} = 0,52 = \text{const}$
Относительный расход через данное сечение	$\bar{q} \equiv Q/Q_0 = 1 + 0,073\bar{s} + 0,002\bar{s}^2 - 0,0001\bar{s}^3 + 0,000002\bar{s}^4$	$\bar{q} = 0,155\bar{s}$
Относительный запас кинетической энергии в данном сечении	$\bar{e} \equiv 2E/(m_0 w_0^2) = 1 - 0,036\bar{s} - 0,0008\bar{s}^2 + 0,00006\bar{s}^3 + 0,000002\bar{s}^4$	$\bar{e} = 7,75/\bar{s}$
Относительный запас энергии постоянной массы струи в данном сечении	$\bar{e}_s \equiv 2E_s/(m_0 w_0^2) = (1 - 0,125\bar{s})^2 + 0,54\bar{s}(1 + 0,144\bar{s})K_1 - 0,27\bar{s}K_2,$ где $K_1 = f_1(\eta_{n,s})$ и $K_2 = f_2(\eta_{n,s})$ см. табл. 11-3 или формулы (11-6); $\eta_{n,s} = 0,515 - 0,006\bar{s}$	$\bar{e}_s = 92H_1/\bar{s}$ , где $H_1 = f_1(\eta_{n,s})$ см. табл. 11-3 или формулу (11-7); $\eta_{n,s} = f(\bar{s})$ см. рис. 11-4
Коэффициент сопротивления (потери энергии)	$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = 1 - \bar{e}$	$\zeta = 1 - \bar{e}$
Коэффициент количества движения	$M_s \equiv \frac{1}{F_s F_s} \int \left(\frac{w}{w_{cp}}\right)^2 dF = \frac{1}{\bar{q} \bar{w}'_{cp}}$	$M_s = \frac{1}{\bar{q} \bar{w}'_{cp}} = 2,02$
Коэффициент кинетической энергии	$N_s \equiv \frac{1}{F_s F_s} \int \left(\frac{w}{w_{cp}}\right)^3 dF = \frac{\bar{e}}{\bar{q} \bar{w}'_{cp}}$	$N_s = \frac{\bar{e}}{\bar{q} \bar{w}'_{cp}} = 4,88$

Плоская струя

Тангенс угла одностороннего расширения внешней границы	$\text{tg} \alpha_1 = 0,158$ $\alpha_1 \approx 9^\circ$	$\text{tg} \alpha_1 = 0,22$ $\alpha_1 \approx 12^\circ 30'$
Тангенс угла одностороннего сужения ядра постоянной скорости	$\text{tg} \alpha_2 = 0,114$ $\alpha_2 = 6^\circ 30'$	—
Относительная полуширина	$\bar{b}_s \equiv b_s/b_0 = 1 + 0,158\bar{s}$	$\bar{b}_s = 0,22\bar{s}$
Относительная площадь сечения	$\bar{F}_s \equiv F_s/F_0 = 1 + 0,158\bar{s}$	$\bar{F}_s = 0,22\bar{s}$
Относительная толщина пограничного слоя	$\bar{b}_{n,c} \equiv b_{n,c}/b_0 = 0,27\bar{s}$	$\bar{b}_{n,c} = 0,22\bar{s}$
Относительная ширина ядра первоначальной массы	$\bar{b}_{n,m} \equiv b_{n,m}/b_0 = 1 + 0,019\bar{s}$	$\bar{b}_{n,m} = 0,22\eta_{n,s}\bar{s}$ , где $\eta_{n,s} = f(\bar{s})$ см. рис. 11-4
Относительная длина начального участка	$\bar{s}_n \equiv s/b_0 = 9$	—
Относительная толщина на струи в конце начального участка	$\bar{b}_n \equiv b_n/b_0 = 2,43$	—
Относительная скорость по оси	$\bar{w}_m \equiv w_m/w_0 = 1$	$\bar{w}_m \approx 3,8/\bar{s}$
Относительная средняя арифметическая (по площади) скорость	$\bar{w}'_{cp} \equiv Q/(w_m F_0) = \frac{1 + 0,0036\bar{s}}{1 + 0,158\bar{s}}$	$\bar{w}'_{cp} = 0,45 = \text{const}$

Параметры	Участок	
	начальный	основной ( $\bar{s} > 12$ )
Относительная средняя квадратичная (по расходу) скорость	$\bar{w}'_{cp} = \frac{\int w dm}{w_m m_s} = \frac{1}{1 + 0,036\bar{s}}$	$\bar{w}'_{cp} = 0,7 = \text{const}$
Относительный расход жидкости через данное сечение	$\bar{q} \equiv Q/Q_0 = 1 + 0,036\bar{s}$	$\bar{q} = 0,375\sqrt{\bar{s}}$
Относительный запас кинетической энергии струи в данном сечении	$\bar{e} \equiv 2E/(m_0 w_0^2) = 1 - 0,019\bar{s}$	$\bar{e} \approx 3,1/\sqrt{\bar{s}}$
Относительный запас энергии постоянной массы струи в данном сечении	$\bar{e}_x \equiv \frac{2E_x}{m_0 w_0^2} = 1 - 0,275(0,416 - K_1),$ где $K_1 = f(\eta_x)$ см. табл. 11-3 или формулу (11-6а)	$\bar{e}_x = 12H_2/\sqrt{\bar{s}}, \text{ где } H_2 = f_2(\eta_x)$ см. табл. 11-3 или формулу (11-76), $\eta_x$ см. рис. 11-4
Коэффициент сопротивления (потеря энергии)	$\zeta = 1 - \bar{e}$	$\zeta = 1 - \bar{e}$

\*1 По новой теории Г. Н. Абрамовича [11-1].  
\*2 В переходном сечении происходит как бы излом границ струи ( $\alpha_1 > \alpha_{1н}$ ). В действительности угол наклона границ переходного участка плавно изменяется от величины  $\alpha_{1н}$  до  $\alpha_1$ .

11.2. Значение  $\eta_x = f(\bar{s})$  (рис. 11.4)

$\bar{s}$										
12,4	15	17,5	20	30	40	60	80	100	120	160
1. Осесимметричная струя										
0,6	0,4	0,34	0,32	0,25	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10
2. Плоская струя										
0,6	0,35	0,32	0,30	0,23	0,20	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09

33. Профиль безразмерных скоростей осесимметричной и плоской свободных струй можно описать следующими формулами Шлихтинга [11-1]:

для начального участка

$$\frac{w_0 - w}{w_0} = \left[ 1 - \left( \frac{y - y_2}{R_s} \right)^{1,5} \right]^2 = (1 - \eta_{н,я}^{1,5})^2, \quad \eta_{н,я} = \frac{y - y_2}{R_s},$$

для основного участка

$$w/w_m = [1 - (y/R_s)^{1,5}]^2 = (1 - \eta_x^{1,5})^2, \quad \eta_x = y/R_s.$$

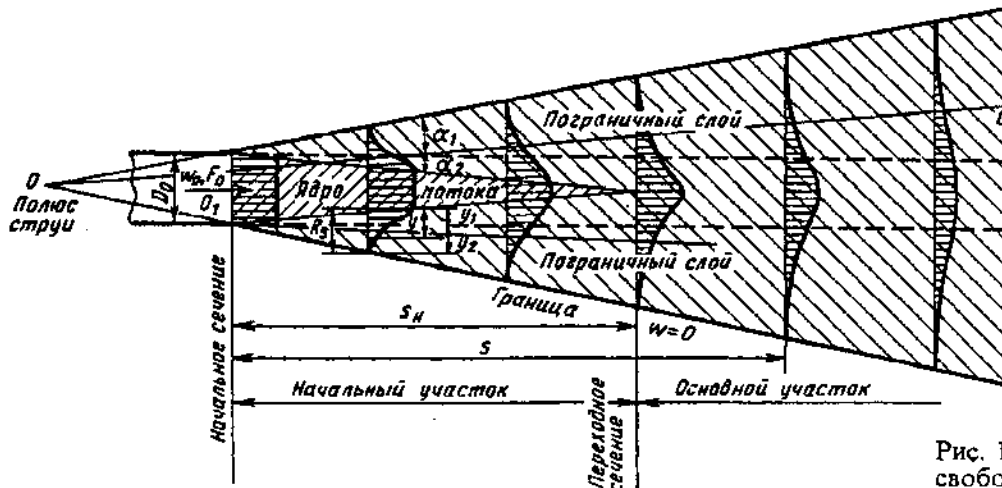
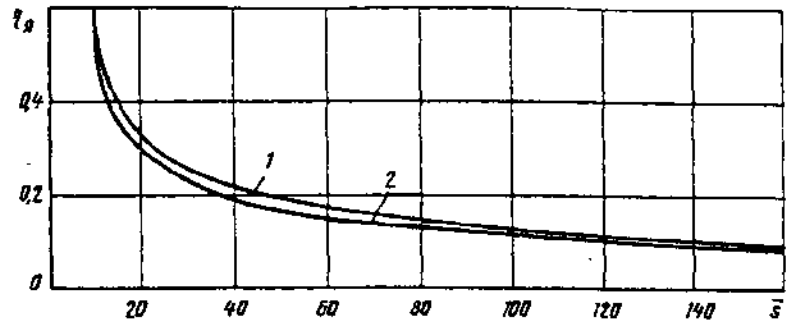


Рис. 11-3. Схема свободной струи

Рис. 11-4. Зависимость  $\eta_x = f(\bar{s})$  [11-1];  
1 — осесимметричная струя; 2 — плоская струя



Для начального участка струи  $R_x = b_{n.c}$  — полная толщина пограничного слоя (рис. 11-3);  $y$  — расстояние от заданной точки до стыка пограничного слоя с ядром постоянной

скорости;  $y_1$  — граница ядра постоянной скорости;  $y_2$  — общая (внешняя) граница струи. Для основного участка  $R_x$  — радиус сечения струи.

11-3. Значения  $K=f(\eta_{n,x})$  и  $H=f(\eta_x)$  [формулы (11-6), (11-7)]

Параметры	$\eta_{n,x}, \eta_x$								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,5	0,6
$K_1$	0,347	0,347	0,346	0,346	0,346	0,345	0,340	0,338	0,300
$K_2$	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,270	0,265	0,250
$H_1$	0,009	0,018	0,029	0,041	0,052	0,061	0,069	0,080	0,084
$H_2$	0,093	0,131	0,162	0,188	0,208	0,222	0,233	0,245	0,250

$$K_1 = \int_{\eta_{n,x}}^1 \left(\frac{w}{w_0}\right)^3 d\eta = 0,347 - (1,456 \eta_{n,x}^{5,5} - 1,715 \eta_{n,x}^7 + 0,706 \eta_{n,x}^{8,5} - 0,1 \eta_{n,x}^{10}); \quad (a)$$

$$K_2 = \int_{\eta_{n,x}}^1 \left(\frac{w}{w_0}\right)^3 \eta d\eta = 0,274 - (1,232 \eta_{n,x}^{6,5} - 1,5 \eta_{n,x}^8 + 0,632 \eta_{n,x}^{9,5} - 0,09 \eta_{n,x}^{11}); \quad (b)$$

$$H_1 = \eta_x^2 - 3,428 \eta_x^{3,5} + 6,0 \eta_x^5 - 6,154 \eta_x^{6,5} + 3,75 \eta_x^8 - 1,263 \eta_x^{9,5} + 0,182 \eta_x^{11}; \quad (a)$$

$$H_2 = \eta_x - 2,4 \eta_x^{2,5} + 3,75 \eta_x^4 - 3,64 \eta_x^{5,5} + 2,14 \eta_x^7 - 0,706 \eta_x^{8,5} + 0,1 \eta_x^{10}; \quad (b)$$

$$\eta_{n,x} = 0,515 - 0,006\bar{s} \quad (11-8)$$

$\eta_x$  — см. табл. 11-2

## 11.2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

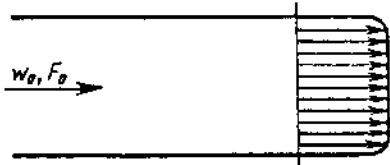
Выход (свободный) из прямой трубы при различном  
распределении скоростей [11-15, 11-17]

Диаграмма  
11-1

Распределение скоростей и схема

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

Равномерное

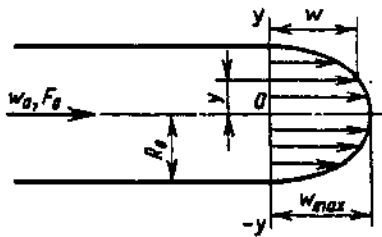


$$\zeta = 1,0$$

По степенному закону

$$\frac{w}{w_{\max}} = \left(1 - \frac{y}{R_0}\right)^{1/m}$$

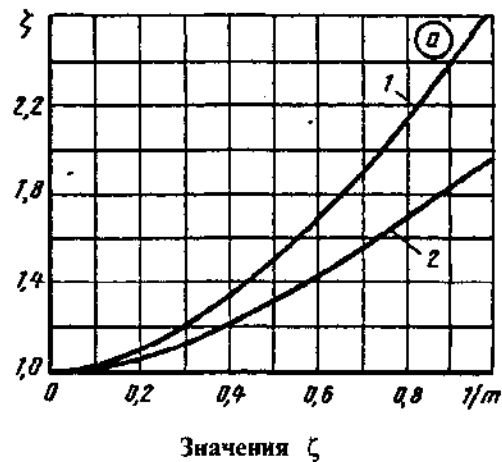
$m \geq 1,0$



Труба круглого или квадратного сечения:

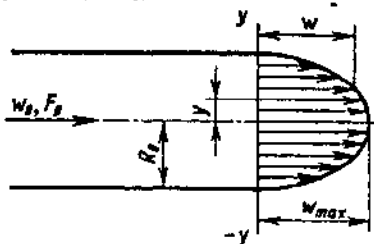
$$\zeta = \frac{(2m+1)^3 (m+1)^3}{4m^4 (2m+3)(m+3)} \text{ см. кривую 1 графика а}$$

$$\text{Плоская труба: } \zeta = \frac{(m+1)^3}{m^2 (m+3)} \text{ см. кривую 2 графика а}$$



Труба	m						
	1,00	1,35	2,00	3,00	4,00	7,00	$\infty$
1. Кругло-го сечения	2,70	2,00	1,50	1,25	1,15	1,06	1,00
2. Плоская	2,00	1,63	1,35	1,19	1,12	1,04	1,00

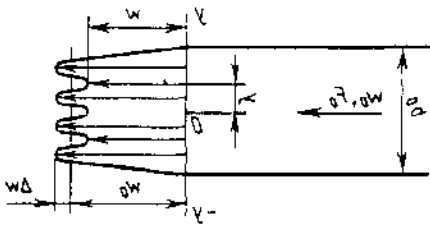
Параболическое:  
 $w/w_0 = 1 - (y/R_0)^2$



Труба круглого или квадратного сечения:  $\zeta = 2,0$   
Плоская труба:  $\zeta = 1,55$

Выход (свободный) из прямой трубы при различном распределении скоростей [11-15, 11-17] Диаграмма 11-1

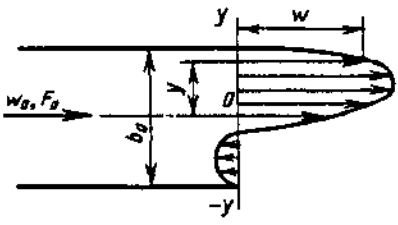
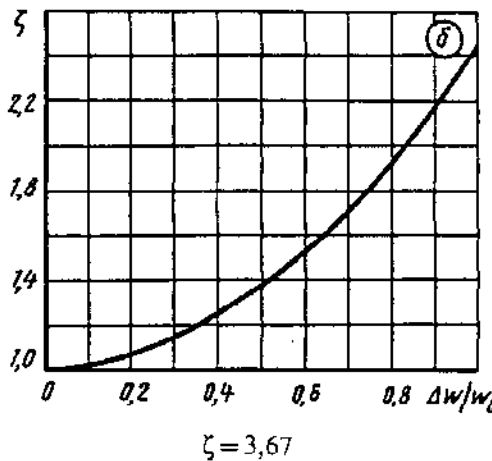
По закону тригонометрической функции в плоской трубе:  $w/w_0 = 1 + \Delta w/w_0 \cdot \sin(4k_1 \pi y/b_0)$ ;  $k_1$  — целое число



$\zeta = 1 + 1,5 \cdot (\Delta w/w_0)^2$  см. график б

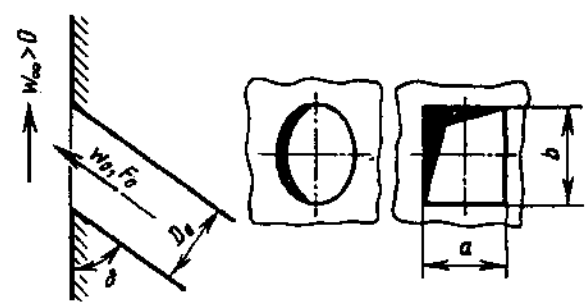
$\Delta w/w_0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\zeta$	1,02	1,06	1,13	1,24	1,38
$\Delta w/w_0$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta$	1,54	1,74	1,96	2,20	2,50

Несимметричное в плоской трубе:  $w/w_0 = 0,585 + 1,64 \sin(0,2 + 3,9y/b_0)$

$\zeta = 3,67$

Выход из трубы, заделанной заподлицо в стенку, при наличии проходящего потока ( $w_\infty > 0$ );  $Re = w_0 D_r / \nu \geq 10^4$  [11-27] Диаграмма 11-2



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f\left(\frac{w_\infty}{w_0}\right)$$

$$D_r = 4F_0 / \Pi_0$$

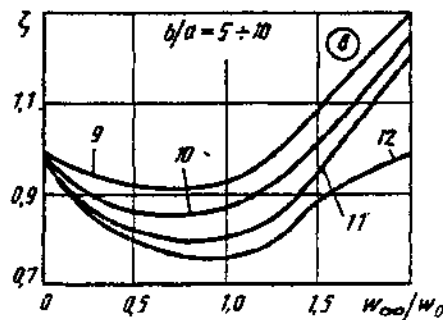
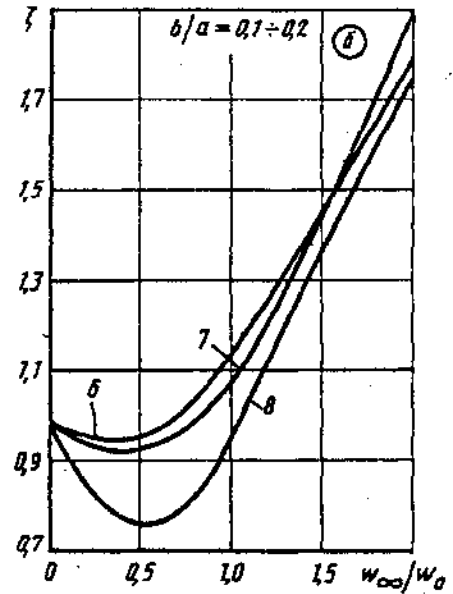
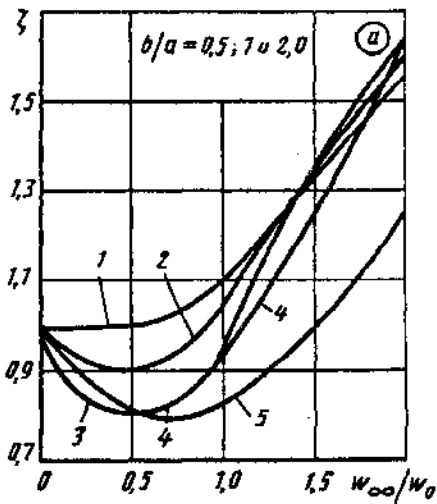


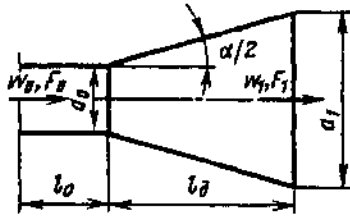
Выход из трубы, заделанной заподлицо в стенку, при наличии проходящего потока ( $w_\infty > 0$ );  $Re = w_0 D_r / \nu \geq 10^4$  [11-27]

Диаграмма 11-2

Значения  $\zeta$  для отверстий круглого и прямоугольного сечений (с округлением до 10%)

$b/a$	$\delta^\circ$ (№ кривой)	$w_\infty/w_0$				
		0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,5; 1; 2,0 (график а)	30—45 (1)	1,00	1,00	1,10	1,33	1,55
	60 (2)	1,00	0,90	1,05	1,35	1,60
	90 (3)	1,00	0,80	0,95	1,35	1,65
	120—135 (4)	1,00	0,80	0,95	1,25	1,65
	150 (5)	1,00	0,82	0,83	1,00	1,25
0,1—0,2 (график б)	30—90 (6)	1,00	0,95	1,15	1,45	1,80
	120 (7)	1,00	0,92	1,07	1,40	1,90
	150 (8)	1,00	0,75	0,95	1,35	1,75
5—10 (график в)	45 (9)	1,00	0,92	0,93	1,10	1,30
	60 (10)	1,00	0,87	0,87	1,03	1,25
	90 (11)	1,00	0,82	0,80	0,97	1,20
	120 (12)	1,00	0,80	0,76	0,90	0,98





$$n_1 = F_1/F_0; \text{Re} = w_0 D_0/\nu$$

Равномерное поле скоростей на входе в диффузор ( $w_{\max}/w_0 \approx 1,0$ ):

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \zeta_n = f(\alpha, n_1, \text{Re}) \text{ см. график а.}$$

Неравномерное поле скоростей на входе в диффузор ( $w_{\max}/w_0 \geq 1,0$  см. диаграмму 5-1):

$$\zeta \equiv k_n \zeta_n$$

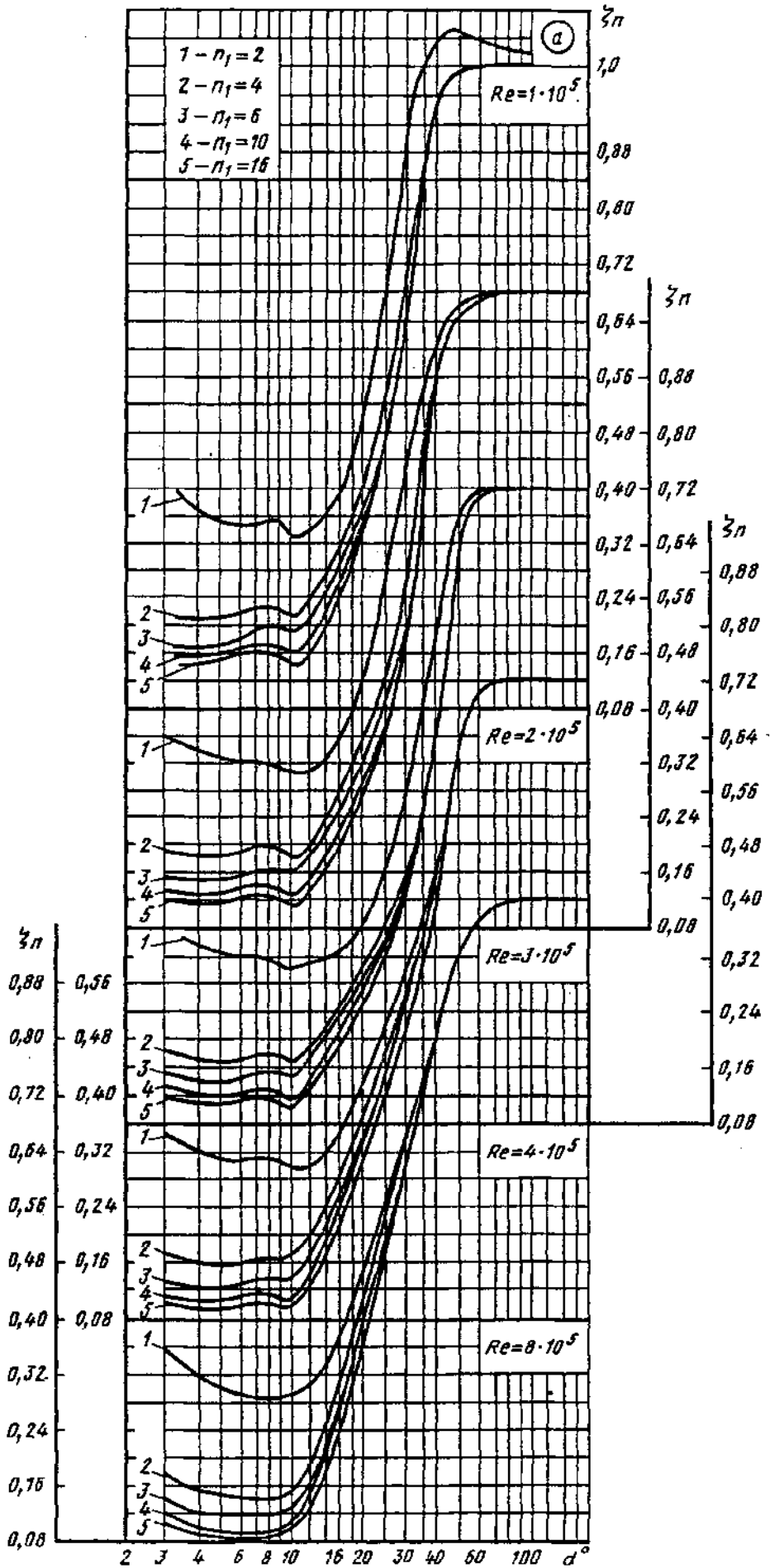
а) для диффузоров за прямым участком с  $l_0/D_0 \geq 10$   
 $k_n = f(\alpha, n_1, \text{Re})$  см. график б;

б) для диффузоров с  $\alpha = 6 \div 14^\circ$  за фасонной частью  $k_n$  определяется, как  $k_n = f(w/w_0)$ , по диаграмме 5-1;

в) для диффузоров с  $\alpha > 20^\circ$  за фасонной частью  $k_n$  принимается ориентировочно, как  $N_0$ , по табл. 12-1—12-7.

Значения  $\zeta_n$  при  $w_{\max}/w_0 \approx 1,0$  ( $l_0/D_0 \approx 0$ )

Re · 10 <sup>-5</sup>	$\alpha^\circ$												
	3	4	6	8	10	12	14	16	20	30	45	60	≥90
$n_1 = 2$													
1	0,409	0,369	0,342	0,357	0,326	0,342	0,365	0,400	0,506	0,902	1,049	1,037	1,02
2	0,355	0,342	0,324	0,320	0,310	0,320	0,333	0,355	0,440	0,740	0,969	0,994	1,0
3	0,360	0,342	0,320	0,321	0,302	0,313	0,323	0,329	0,360	0,527	0,898	0,995	1,0
4	0,346	0,325	0,310	0,315	0,302	0,303	0,315	0,344	0,418	0,578	0,782	0,982	1,0
≥6	0,360	0,320	0,295	0,291	0,293	0,306	0,329	0,360	0,458	0,635	0,858	0,969	1,0
$n_1 = 4$													
1	0,213	0,209	0,217	0,235	0,213	0,240	0,280	0,320	0,400	0,697	0,986	1,004	1,0
2	0,190	0,186	0,186	0,200	0,182	0,204	0,240	0,280	0,355	0,542	0,938	0,995	1,0
3	0,184	0,173	0,169	0,182	0,173	0,190	0,226	0,247	0,298	0,440	0,760	0,995	1,0
4	0,178	0,167	0,160	0,167	0,167	0,199	0,233	0,275	0,360	0,555	0,782	0,982	1,0
≥6	0,184	0,160	0,157	0,155	0,157	0,180	0,239	0,295	0,422	0,637	0,858	0,969	1,0
$n_1 = 6$													
1	0,171	0,169	0,180	0,200	0,186	0,217	0,257	0,293	0,373	0,666	0,986	1,006	1,0
2	0,155	0,153	0,155	0,164	0,160	0,186	0,222	0,253	0,320	0,493	0,938	0,980	1,0
3	0,150	0,146	0,146	0,160	0,153	0,173	0,200	0,233	0,280	0,400	0,760	0,989	1,0
4	0,133	0,129	0,129	0,146	0,138	0,160	0,209	0,249	0,346	0,520	0,782	0,982	1,0
≥6	0,150	0,127	0,122	0,127	0,129	0,159	0,218	0,273	0,384	0,618	0,858	0,969	1,0
$n_1 = 10$													
1	0,155	0,159	0,169	0,175	0,164	0,182	0,237	0,275	0,359	0,680	0,986	1,006	1,0
2	0,133	0,131	0,138	0,146	0,127	0,150	0,190	0,226	0,295	0,498	0,938	0,715	1,0
3	0,129	0,126	0,127	0,133	0,115	0,138	0,180	0,209	0,266	0,400	0,760	0,989	1,0
4	0,117	0,115	0,117	0,120	0,114	0,133	0,186	0,239	0,320	0,520	0,782	0,982	1,0
≥6	0,133	0,109	0,102	0,104	0,110	0,142	0,200	0,266	0,384	0,613	0,858	0,969	1,0
$n_1 = 16$													
1	0,144	0,142	0,164	0,164	0,155	0,159	0,200	0,253	0,355	0,657	0,986	1,006	1,0
2	0,122	0,119	0,123	0,133	0,115	0,135	0,173	0,200	0,270	0,493	0,938	0,997	1,0
3	0,117	0,110	0,115	0,120	0,104	0,133	0,160	0,190	0,253	0,400	0,760	0,989	1,0
4	0,106	0,102	0,099	0,106	0,102	0,120	0,175	0,219	0,298	0,499	0,782	0,982	1,0
≥6	0,113	0,095	0,089	0,090	0,099	0,122	0,175	0,235	0,360	0,600	0,858	0,969	1,0

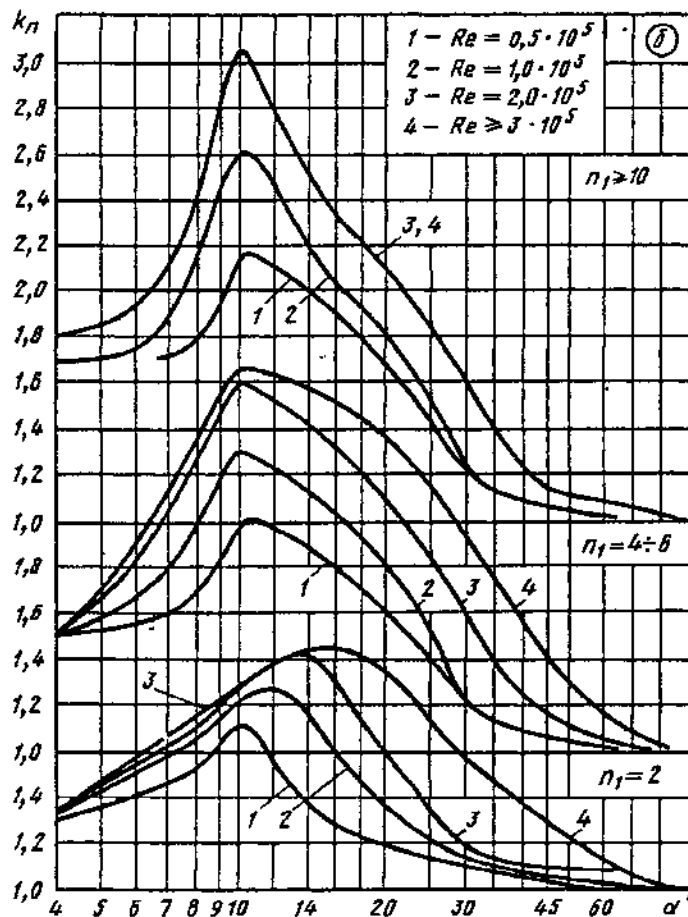


Выход (свободный) из прямолинейного конического диффузора  
[11-19 — 11-22]

Диаграмма  
11-3

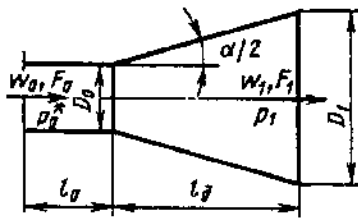
ЗНАЧЕНИЯ  $k_n$  при  $w_{max}/w_0 > 1,0$  ( $l_0/D_0 \geq 10$ )

$Re \cdot 10^{-5}$	$\alpha^\circ$											
	4	6	8	10	12	14	16	20	30	45	60	90
$n_1 = 2$												
0,5	1,30	1,40	1,50	1,70	1,60	1,35	1,30	1,22	1,10	1,05	1,00	1,0
1,0	1,33	1,50	1,65	1,82	1,85	1,75	1,60	1,40	1,12	1,06	1,05	1,0
2,0	1,33	1,55	1,70	1,87	2,00	2,00	1,87	1,60	1,12	1,10	1,10	1,0
$\geq 3,0$	1,33	1,57	1,75	1,88	2,00	2,03	2,03	1,95	1,55	1,30	1,10	1,0
$n_1 = 4 \div 6$												
0,5	1,52	1,55	1,70	2,00	1,96	1,90	1,80	1,65	1,20	1,05	1,00	1,0
1,0	1,52	1,68	2,00	2,30	2,23	2,12	2,00	1,85	1,23	1,05	1,00	1,0
2,0	1,52	1,85	2,28	2,60	2,52	2,42	2,30	2,15	1,60	1,10	1,05	1,0
$\geq 3,0$	1,52	1,90	2,35	2,65	2,63	2,60	2,50	2,35	1,90	1,40	1,10	1,0
$n_1 \geq 10$												
0,5	1,70	1,73	1,80	2,15	2,10	1,95	1,88	1,68	1,20	1,05	1,00	1,0
1,0	1,70	1,73	2,15	2,60	2,40	2,17	2,02	1,85	1,20	1,05	1,03	1,0
$\geq 2,0$	1,80	1,93	2,40	3,05	2,75	2,53	2,30	2,10	1,60	1,12	1,08	1,0



Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4



$$n_1 = F_1/F_0$$

$$\bar{p} = \frac{p_1}{p_0^*} = \frac{p_0}{p_0^*} = f(\lambda_c, \alpha, n_1, l_0/D_0) \text{ см. график,}$$

$$\zeta_n = \frac{\Delta p}{\rho_0^* w_0^2/2} = \frac{k+1}{k} \cdot \frac{1}{\lambda_c^2} \ln \frac{1}{\bar{p}};$$

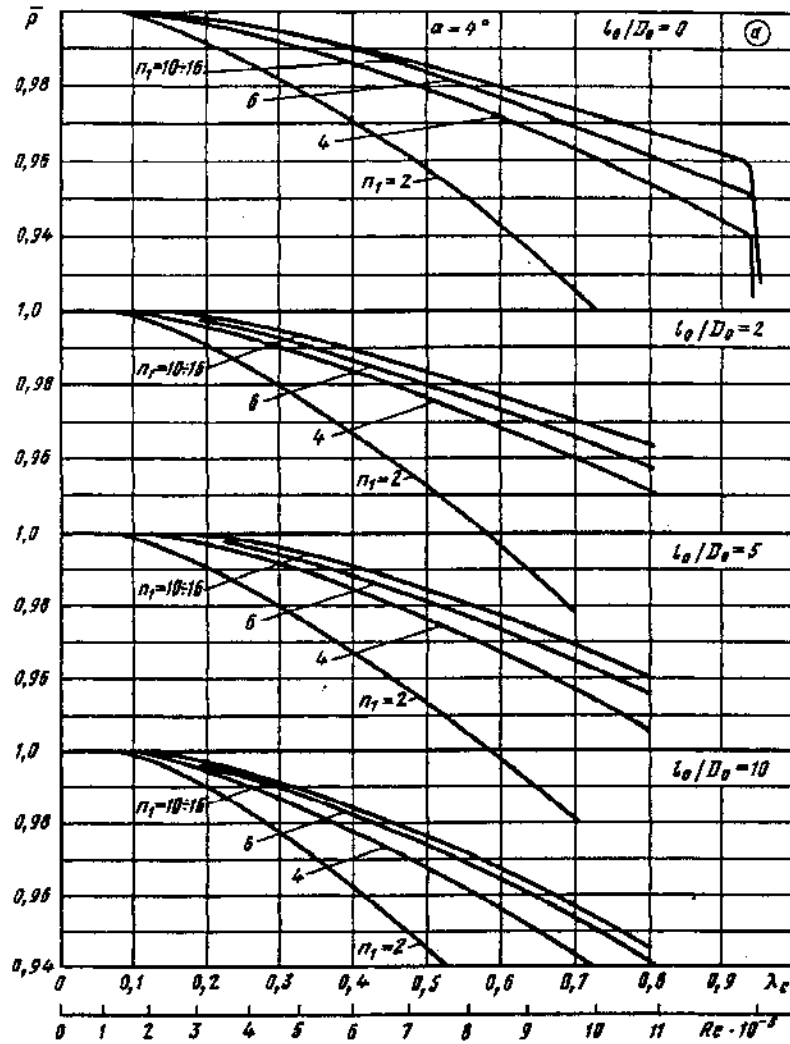
$$\lambda_c = \frac{w_0}{a_{xp}}; \quad a_{xp} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_0^*}$$

Значения  $\bar{p}$  при  $\alpha=4^\circ$  (график а)

$n_1$	$\lambda_c$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,94	0,945	
	$Re \cdot 10^{-5}$											
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,1	12,2	
$l_0/D_0=0$												
2	0,999	0,994	0,982	0,971	0,958	0,943	0,926	—	—	—	—	
4	0,999	0,996	0,992	0,986	0,979	0,971	0,963	0,955	0,945	0,940	0,920	
6	0,999	0,997	0,993	0,988	0,983	0,977	0,970	0,963	0,956	0,945	0,930	
10-16	0,999	0,997	0,993	0,990	0,985	0,980	0,975	0,969	0,964	0,955	0,940	
$l_0/D_0=2$												
2	0,999	0,991	0,980	0,966	0,952	0,936	0,920	—	—	—	—	
4	0,999	0,996	0,990	0,984	0,977	0,970	0,961	0,953	—	—	—	
6	0,999	0,998	0,993	0,987	0,980	0,974	0,970	0,963	—	—	—	
10-16	0,999	0,999	0,995	0,990	0,984	0,978	0,975	0,969	—	—	—	
$l_0/D_0=5$												
2	0,998	0,990	0,980	0,966	0,952	0,937	0,922	—	—	—	—	
4	0,999	0,997	0,991	0,983	0,975	0,966	0,956	0,946	—	—	—	
6	0,999	0,998	0,994	0,987	0,980	0,974	0,965	0,956	—	—	—	
10-16	0,999	0,999	0,995	0,990	0,984	0,977	0,969	0,960	—	—	—	
$l_0/D_0 \geq 10$												
2	0,998	0,990	0,978	0,962	0,945	0,927	—	—	—	—	—	
4	0,999	0,994	0,987	0,978	0,968	0,957	0,944	0,930	—	—	—	
6	0,999	0,995	0,989	0,983	0,975	0,965	0,954	0,942	—	—	—	
10-16	0,999	0,996	0,990	0,984	0,977	0,968	0,957	0,946	—	—	—	

Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4



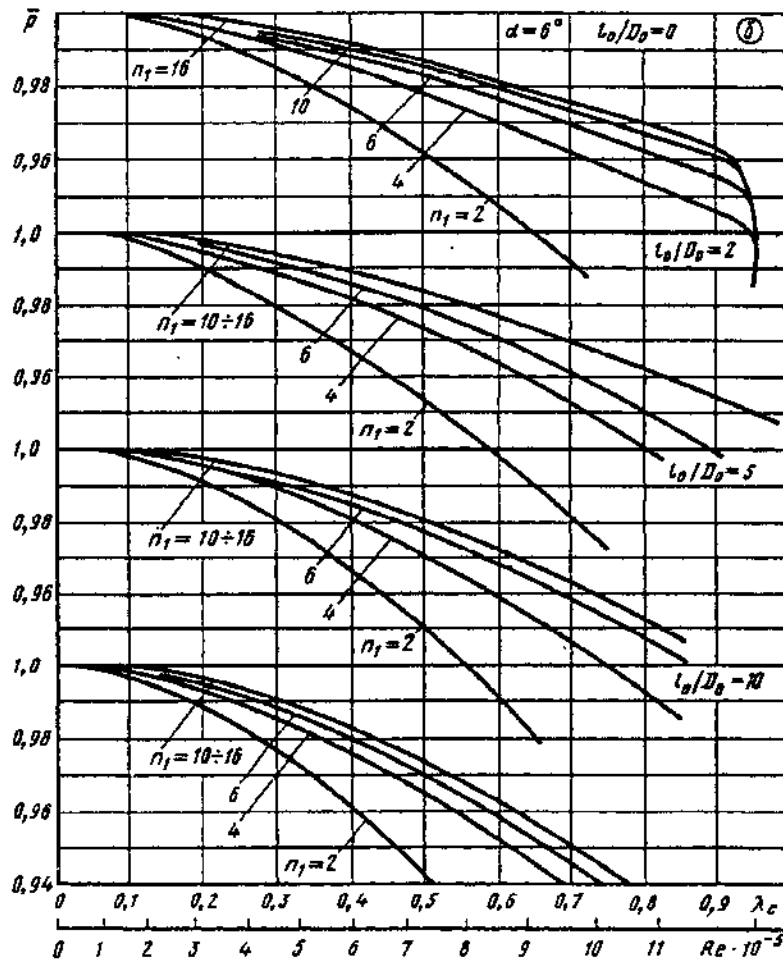
Значения  $\bar{p}$  при  $\alpha = 6^\circ$  (график б)

$n_1$	$\lambda_c$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,94	0,95
	$Re \cdot 10^{-5}$										
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,1	12,2
	$l_0/D_0 = 0$										
2	0,999	0,994	0,985	0,974	0,958	0,947	0,932	—	—	—	—
4	0,999	0,997	0,992	0,985	0,978	0,970	0,963	0,954	0,946	0,940	0,930
6	0,999	0,999	0,995	0,989	0,983	0,977	0,970	0,963	0,955	0,950	0,930
10	0,999	0,999	0,996	0,990	0,985	0,979	0,974	0,968	0,961	0,950	0,930
16	0,999	0,999	0,997	0,992	0,987	0,982	0,976	0,970	0,963	0,950	0,930

Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$l_0/D_0 = 2$											
2	0,998	0,990	0,980	0,968	0,953	0,937	0,920	—	—	—	—
4	0,999	0,995	0,989	0,982	0,973	0,963	0,953	0,940	—	—	—
6	0,999	0,997	0,991	0,985	0,978	0,970	0,960	0,950	0,938	—	—
10-16	0,999	0,997	0,993	0,988	0,983	0,976	0,968	0,962	0,953	0,941	—
$l_0/D_0 = 5$											
2	0,998	0,990	0,980	0,967	0,951	0,931	—	—	—	—	—
4	0,999	0,995	0,988	0,980	0,970	0,959	0,947	0,933	—	—	—
6	0,999	0,996	0,990	0,983	0,977	0,968	0,958	0,947	—	—	—
10-16	0,999	0,996	0,992	0,986	0,979	0,971	0,962	0,952	—	—	—
$l_0/D_0 \geq 10$											
2	0,997	0,988	0,977	0,961	0,941	0,918	—	—	—	—	—
4	0,998	0,993	0,985	0,976	0,965	0,952	0,938	0,924	—	—	—
6	0,999	0,995	0,988	0,980	0,970	0,958	0,945	0,932	—	—	—
10-16	0,999	0,996	0,990	0,982	0,973	0,962	0,950	0,937	—	—	—

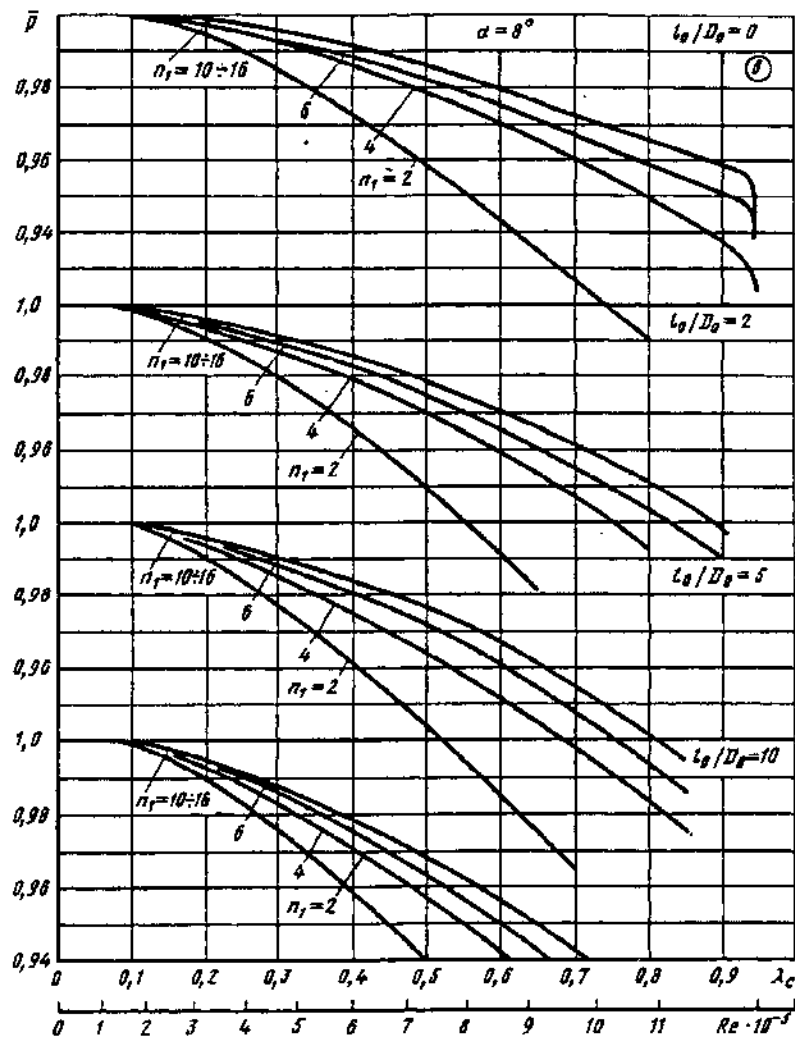


Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4

Значения  $\bar{p}$  при  $\alpha = 8^\circ$  (график в)

$n_1$	$\lambda_c$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,94	0,95
	$Re \cdot 10^{-5}$										
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,1	12,2
	$l_0/D_0 = 0$										
2	0,999	0,995	0,986	0,972	0,957	0,942	0,927	0,910	—	—	—
4	0,999	0,997	0,993	0,986	0,978	0,970	0,960	0,950	0,937	0,931	0,920
6	0,999	0,998	0,994	0,988	0,982	0,974	0,967	0,959	0,951	0,947	0,930
10—16	0,999	0,998	0,995	0,986	0,985	0,979	0,972	0,965	0,959	0,953	0,940





Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4

$n_1$	$\lambda_c$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,94	0,95
	$Re \cdot 10^{-5}$										
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,1	12,2
$l_0/D_0=2$											
2	0,998	0,990	0,979	0,966	0,950	0,932	—	—	—	—	—
4	0,999	0,993	0,987	0,979	0,970	0,960	0,948	0,932	—	—	—
6	0,999	0,994	0,990	0,983	0,975	0,965	0,954	0,943	0,930	—	—
10—16	0,999	0,995	0,996	0,985	0,979	0,971	0,962	0,952	0,938	—	—
$l_0/D_0=5$											
2	0,998	0,990	0,977	0,961	0,943	0,925	—	—	—	—	—
4	0,999	0,993	0,986	0,975	0,963	0,951	0,938	0,924	—	—	—
6	0,999	0,995	0,988	0,980	0,971	0,960	0,948	0,934	—	—	—
10—16	0,999	0,995	0,989	0,983	0,976	0,966	0,954	0,941	—	—	—
$l_0/D_0 \geq 10$											
2	0,998	0,990	0,975	0,959	0,940	0,920	—	—	—	—	—
4	0,998	0,932	0,983	0,970	0,957	0,942	0,925	—	—	—	—
6	0,999	0,994	0,987	0,975	0,963	0,950	0,933	—	—	—	—
10—16	0,999	0,994	0,998	0,978	0,967	0,956	0,942	—	—	—	—

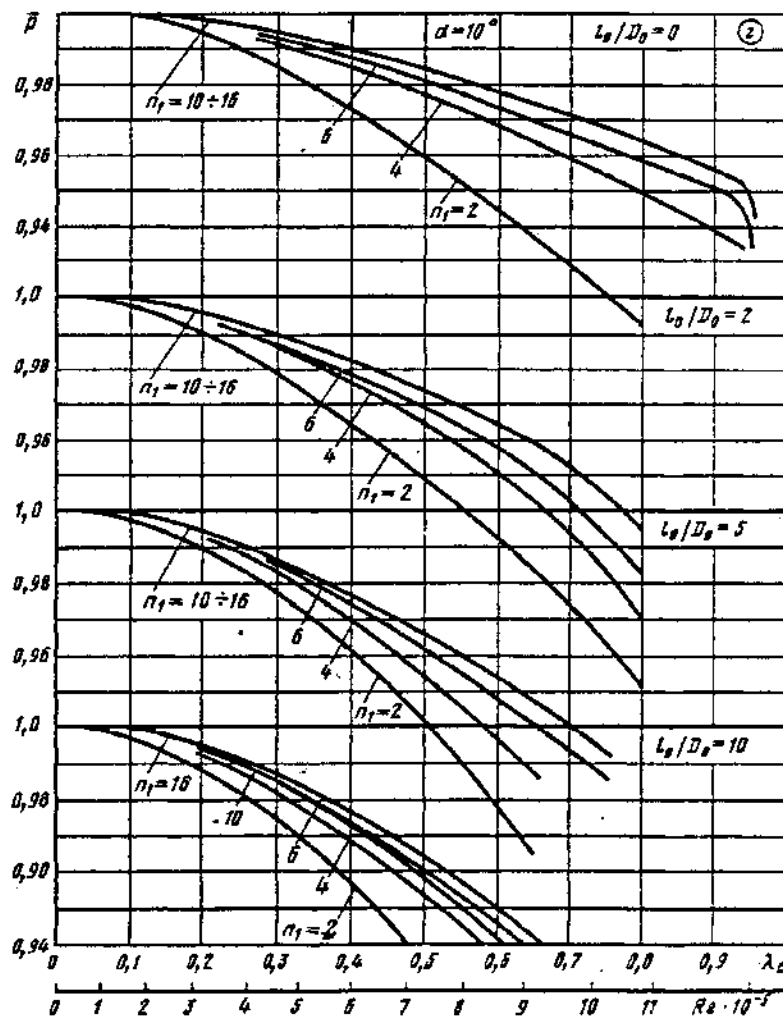
Значения  $\bar{p}$  при  $\alpha=10^\circ$  (график г)

$n_1$	$\lambda_c$										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	
	$Re \cdot 10^{-5}$										
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,2	
$l_0/D_0=0$											
2	0,998	0,994	0,984	0,972	0,959	0,945	0,930	0,913	—	—	—
4	0,999	0,996	0,991	0,985	0,977	0,968	0,959	0,950	0,940	0,933	—
6	0,999	0,996	0,993	0,987	0,981	0,973	0,966	0,958	0,951	0,940	—
10—16	0,999	0,997	0,994	0,989	0,984	0,977	0,970	0,963	0,956	0,951	—
$l_0/D_0=2$											
2	0,997	0,991	0,978	0,963	0,948	0,933	0,914	—	—	—	—
4	0,998	0,994	0,987	0,976	0,964	0,950	0,933	0,910	—	—	—
6	0,998	0,994	0,987	0,978	0,968	0,958	0,943	0,923	—	—	—
10—16	0,998	0,995	0,988	0,981	0,973	0,964	0,952	0,934	—	—	—
$l_0/D_0=5$											
2	0,997	0,989	0,976	0,960	0,940	0,918	—	—	—	—	—
4	0,998	0,993	0,982	0,968	0,953	0,936	—	—	—	—	—
6	0,998	0,994	0,985	0,973	0,960	0,948	0,934	—	—	—	—
10—16	0,999	0,994	0,986	0,976	0,965	0,952	0,939	—	—	—	—

Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

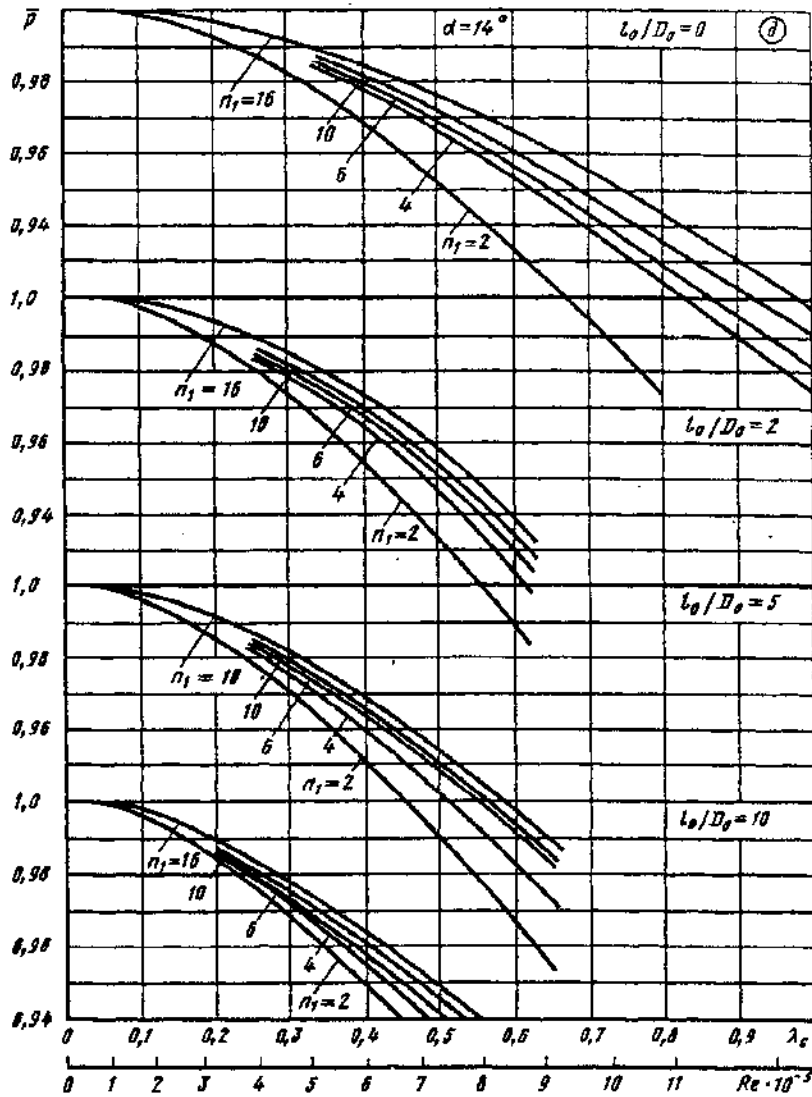
Диаграмма 11-4

$n_1$	$\lambda_c$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
	$Re \cdot 10^{-5}$									
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	12,2
	$l_0/D_0 \geq 10$									
2	0,996	0,988	0,973	0,956	0,935	—	—	—	—	—
4	0,998	0,992	0,982	0,968	0,953	0,937	0,918	—	—	—
6	0,998	0,993	0,984	0,971	0,959	0,942	0,922	—	—	—
10	0,998	0,993	0,984	0,974	0,961	0,945	0,928	—	—	—
16	0,999	0,994	0,985	0,976	0,964	0,949	0,934	—	—	—



Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях  
(коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4



Значения  $\bar{p}$  при  $\alpha=14^\circ$  (график д)

$n_1$	$\lambda_c$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$Re \cdot 10^{-5}$								
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7
	$l_0/D_0=0$								
2	0,998	0,993	0,983	0,968	0,953	0,932	0,915	0,895	—
4	0,998	0,995	0,988	0,978	0,967	0,953	0,940	0,926	0,910
6	0,999	0,995	0,988	0,980	0,969	0,958	0,943	0,930	0,915
10	0,999	0,996	0,990	0,981	0,971	0,960	0,948	0,936	0,923
16	0,999	0,996	0,991	0,983	0,975	0,965	0,954	0,942	0,930

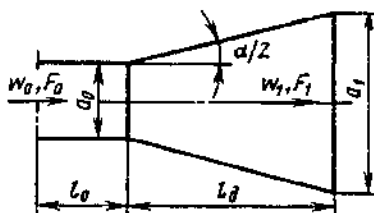
Выход (свободный) из конических диффузоров при больших дозвуковых скоростях (коэффициенты восстановления давления) [11-7]

Диаграмма 11-4

$n_1$	$\lambda_c$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
	$Re \cdot 10^{-5}$									
	1,7	3,2	4,6	6,0	7,3	8,6	9,8	10,8	11,7	
$l_0/D_0 = 2$										
2	0,998	0,987	0,974	0,954	0,932	0,909	—	—	—	
4	0,998	0,990	0,979	0,965	0,947	0,925	—	—	—	
6	0,998	0,990	0,980	0,968	0,952	0,930	—	—	—	
10	0,999	0,991	0,981	0,970	0,955	0,935	—	—	—	
16	0,999	0,993	0,983	0,973	0,960	0,940	—	—	—	
$l_0/D_0 = 5$										
2	0,996	0,986	0,970	0,950	0,930	0,906	—	—	—	
4	0,997	0,988	0,976	0,960	0,942	0,922	—	—	—	
6	0,997	0,989	0,977	0,963	0,948	0,930	—	—	—	
10	0,997	0,989	0,978	0,965	0,950	0,933	—	—	—	
16	0,998	0,991	0,980	0,968	0,953	0,937	—	—	—	
$l_0/D_0 \geq 10$										
2	0,996	0,985	0,968	0,948	0,927	—	—	—	—	
4	0,997	0,987	0,972	0,955	0,936	0,910	—	—	—	
6	0,997	0,987	0,973	0,958	0,940	0,917	—	—	—	
10	0,998	0,988	0,975	0,960	0,944	0,927	—	—	—	
16	0,998	0,989	0,977	0,962	0,947	0,931	—	—	—	

Выход из прямолинейного пирамидального диффузора квадратного сечения [11-19 — 11-22]

Диаграмма 11-5



Равномерное поле скоростей на входе в диффузор ( $w_{max}/w_0 \approx 1,0$ ):

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_n = f(\alpha, n_1, Re) \text{ см. график а.}$$

$$n_1 = F_1/F_0; \quad Re = w_0 D_r / \nu; \\ D_r = 4F_0/\Pi_0$$

Неравномерное поле скоростей на входе в диффузор ( $w_{max}/w_0 \geq 1,1$  см. диаграмму 5-1):

- а) для диффузоров за прямым участком с  $l_0/D_0 \geq 10$   $\zeta = \zeta_n = f(\alpha, n_1, Re)$  см. график б;  
 б) для диффузоров с  $\alpha = 6 \div 14^\circ$  за фасонной частью

$$\zeta = k_n \zeta_n,$$

где  $\zeta_n$  см. график а;  $k_n$  определяется, как  $k_n$ , по диаграмме 5-1;

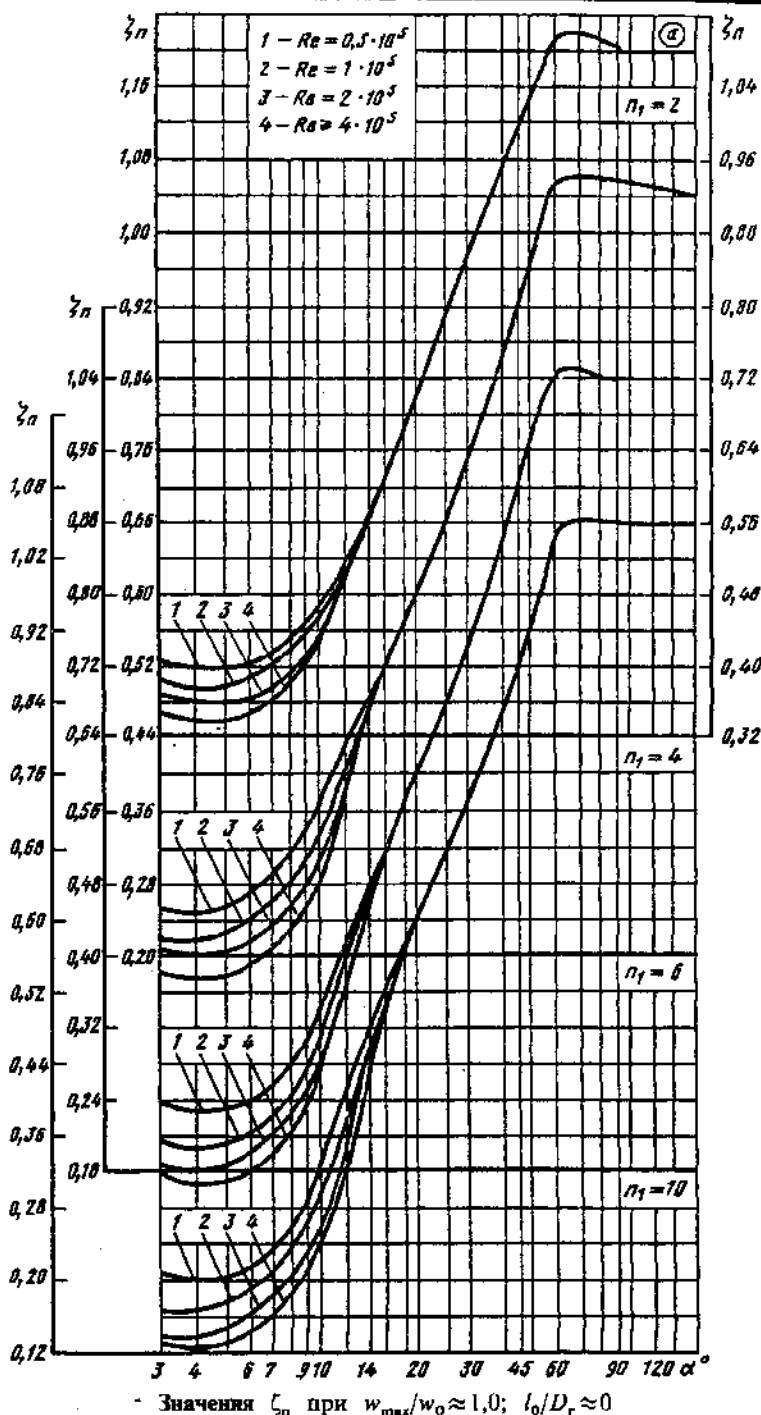
- в) для диффузоров с  $\alpha > 20^\circ$  за фасонной частью

$$\zeta = k_\alpha \zeta_n,$$

где  $k_n$  принимается ориентировочно, как  $N_0$ , по табл. 12-1 — 12-7.

Выход из прямолинейного пирамидального диффузора квадратного сечения [11-19—11-22]

Диаграмма 11-5



Re · 10 <sup>-5</sup>	α°								
	4	6	8	10	14	20	30	45	≥60
	$n_1 = 2$								
0,5	0,40	0,40	0,43	0,47	0,58	0,70	0,86	1,01	1,10
1	0,38	0,39	0,42	0,46	0,58	0,70	0,86	1,01	1,10
2	0,36	0,37	0,39	0,44	0,58	0,70	0,86	1,01	1,10
≥4	0,34	0,36	0,38	0,43	0,58	0,70	0,86	1,01	1,10

Выход из прямолинейного пирамидального диффузора  
квадратного сечения [11-19—11-22]Диаграмма  
11-5

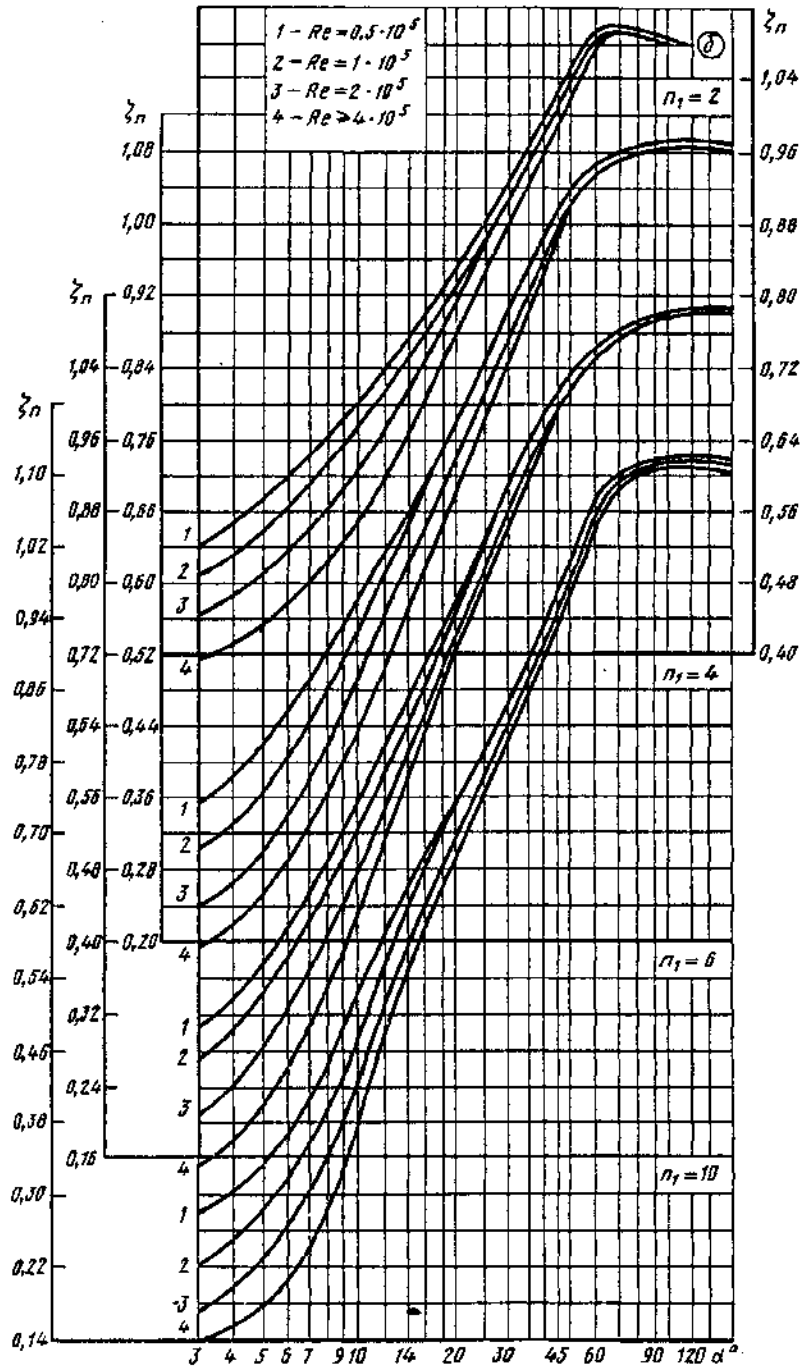
Re · 10 <sup>-5</sup>	α°								
	4	6	8	10	14	20	30	45	≥60
<i>n</i> <sub>1</sub> = 4									
0,5	0,25	0,27	0,32	0,30	0,48	0,61	0,76	0,94	1,06
1	0,22	0,24	0,28	0,34	0,48	0,61	0,76	0,94	1,06
2	0,20	0,22	0,25	0,31	0,48	0,61	0,76	0,94	1,06
≥ 4	0,18	0,20	0,23	0,30	0,48	0,61	0,76	0,94	1,06
<i>n</i> <sub>1</sub> = 6									
0,5	0,23	0,24	0,28	0,34	0,47	0,62	0,74	0,94	1,05
1	0,19	0,21	0,25	0,31	0,47	0,62	0,74	0,94	1,05
2	0,16	0,185	0,22	0,29	0,47	0,62	0,74	0,94	1,05
≥ 4	0,145	0,16	0,20	0,28	0,47	0,62	0,74	0,94	1,05
<i>n</i> <sub>1</sub> = 10									
0,5	0,20	0,23	0,26	0,34	0,47	0,60	0,73	0,89	1,04
1	0,17	0,19	0,24	0,30	0,46	0,60	0,73	0,89	1,04
2	0,14	0,17	0,21	0,26	0,45	0,60	0,73	0,89	1,04
≥ 4	0,13	0,15	0,18	0,25	0,44	0,60	0,73	0,89	1,04

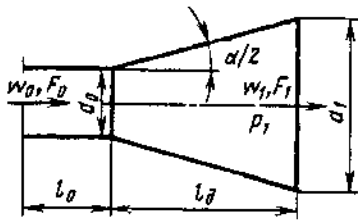
Значения ζ<sub>π</sub> при  $w_{\max}/w_0 \geq 1,1$ ;  $l_0/D_0 \geq 10$ 

Re · 10 <sup>-5</sup>	α°									
	4	6	8	10	14	20	30	45	60	≥90
<i>n</i> <sub>1</sub> = 2										
0,5	0,550	0,600	0,645	0,680	0,740	0,820	0,920	1,05	1,10	1,08
1	0,510	0,560	0,610	0,655	0,730	0,810	0,900	1,04	1,09	1,08
2	0,470	0,510	0,565	0,610	0,700	0,790	0,890	1,04	1,09	1,08
≥ 4	0,416	0,460	0,500	0,555	0,640	0,760	0,880	1,02	1,07	1,08
<i>n</i> <sub>1</sub> = 4										
0,5	0,380	0,460	0,530	0,595	0,685	0,780	0,895	1,02	1,07	1,09
1	0,330	0,390	0,485	0,550	0,660	0,775	0,895	1,02	1,07	1,09
2	0,265	0,340	0,420	0,500	0,620	0,740	0,870	1,00	1,06	1,08
≥ 4	0,220	0,295	0,360	0,440	0,560	0,700	0,840	0,990	1,06	1,08
<i>n</i> <sub>1</sub> = 6										
0,5	0,335	0,420	0,495	0,570	0,660	0,770	0,910	1,02	1,07	1,08
1	0,300	0,385	0,465	0,535	0,630	0,760	0,980	1,02	1,07	1,08
2	0,240	0,335	0,420	0,480	0,600	0,730	0,880	1,00	1,06	1,08
≥ 4	0,180	0,265	0,340	0,435	0,560	0,725	0,855	0,98	1,06	1,08
<i>n</i> <sub>1</sub> = 10										
0,5	0,300	0,370	0,450	0,530	0,640	0,740	0,850	0,970	1,10	1,12
1	0,250	0,320	0,400	0,480	0,620	0,730	0,850	0,970	1,10	1,12
2	0,200	0,260	0,340	0,440	0,560	0,690	0,820	0,950	1,10	1,11
≥ 4	0,160	0,215	0,280	0,400	0,545	0,670	0,800	0,930	1,09	1,11

Выход из прямолинейного пирамидального диффузора  
 квадратного сечения [11-19—11-22]

Диаграмма  
 11-5





$$n_1 = F_1/F_0; \quad Re = w_0 D_r / \nu;$$

$$D_r = 4F_0/\Pi_0$$

Равномерное поле скоростей на входе в диффузор  
( $w_{max}/w_0 \approx 1,0$ ):

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_n = f(\alpha, n_1, Re) \text{ см. график а.}$$

Неравномерное поле скоростей на входе в диффузор  
( $w_{max}/w_0 \geq 1,1$  см. диаграмму 5-1):

а) для диффузоров за прямым участком с  $l_0/D_0 \geq 10$

$$\zeta = \zeta_n = f(\alpha, n_1, Re) \text{ см. график б;}$$

б) для диффузоров с  $\alpha = 6 \pm 20^\circ$  за фасонной частью

$$\zeta = k_n \zeta_n$$

где  $\zeta_n$  см. график а;  $k_n$  определяется, как  $k_n$ , по диаграмме 5-1;

в) для диффузоров с  $\alpha > 20^\circ$  за фасонной частью

$$\zeta = k_n \zeta_n$$

где  $k_n$  принимается, как  $N_0$ , по табл. 12-1—12-7.

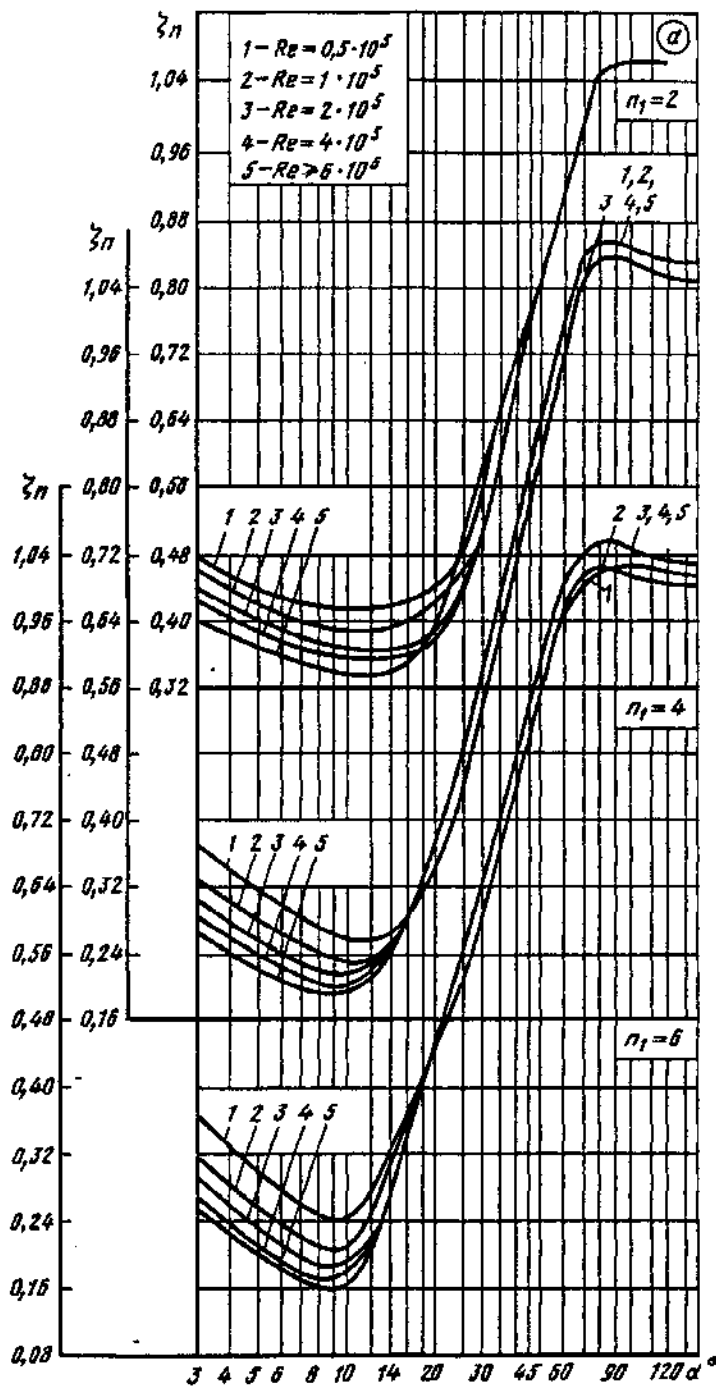
Значения  $\zeta_n$  при  $w_{max}/w_0 \approx 1,0$ ;  $l_0/D_0 \approx 0$

Re · 10 <sup>-5</sup>	α°									
	4	6	8	10	14	20	30	45	60	≥90
<i>n</i> <sub>1</sub> = 2										
0,5	0,46	0,43	0,42	0,42	0,42	0,47	0,56	0,76	0,90	1,06
1	0,44	0,41	0,40	0,39	0,39	0,42	0,50	0,75	0,90	1,06
2	0,42	0,39	0,38	0,37	0,36	0,38	0,50	0,75	0,90	1,06
4	0,40	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	0,50	0,75	0,90	1,06
≥6	0,38	0,36	0,34	0,34	0,34	0,38	0,57	0,76	0,90	1,06
<i>n</i> <sub>1</sub> = 4										
0,5	0,34	0,30	0,28	0,26	0,26	0,34	0,50	0,79	0,96	1,07
1	0,30	0,27	0,24	0,23	0,25	0,34	0,50	0,79	0,96	1,07
2	0,28	0,24	0,22	0,21	0,25	0,37	0,57	0,82	1,00	1,09
4	0,26	0,22	0,21	0,20	0,25	0,37	0,57	0,82	1,00	1,09
≥6	0,24	0,21	0,20	0,20	0,25	0,37	0,57	0,82	1,00	1,09
<i>n</i> <sub>1</sub> = 6										
0,5	0,33	0,28	0,25	0,24	0,33	0,44	0,61	0,83	0,96	1,02
1	0,28	0,24	0,21	0,21	0,31	0,45	0,64	0,87	0,98	1,02
2	0,26	0,22	0,19	0,19	0,28	0,47	0,64	0,87	1,00	1,06
4	0,24	0,19	0,18	0,18	0,28	0,47	0,64	0,87	1,00	1,06
≥6	0,22	0,18	0,16	0,17	0,28	0,47	0,64	0,87	1,00	1,06



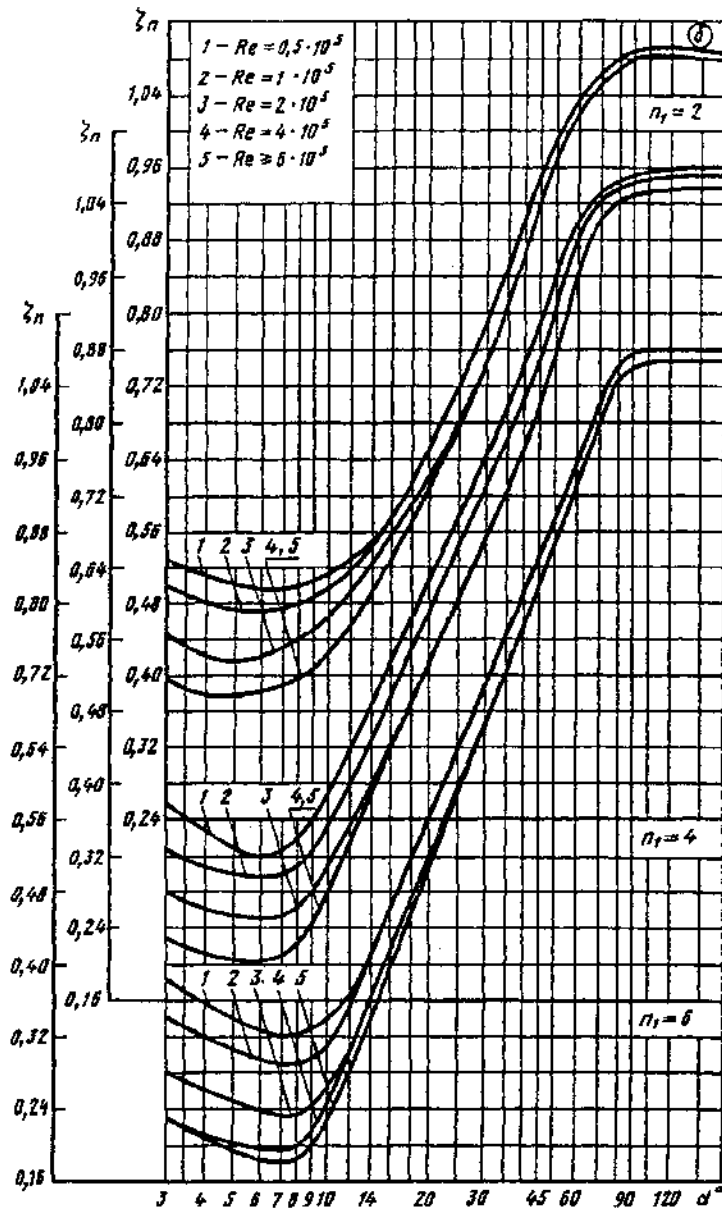
Выход (свободный) из прямолинейного плоского диффузора [11-19—11-22]

Диаграмма 11-6



Выход (свободный) из прямолинейного плоского диффузора  
[11-19 — 11-22]

Диаграмма  
11-6



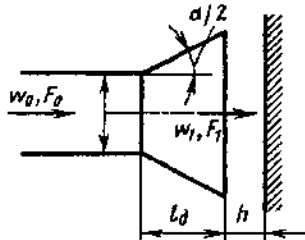
Значения  $\zeta_n$  при  $w_{max}/w_0 \geq 1,1$ ;  $l_0/D_0 > 10$

Re · 10 <sup>-5</sup>	α°									
	4	6	8	10	14	20	30	45	60	90
	<i>n<sub>1</sub> = 2</i>									
0,5	0,51	0,50	0,50	0,51	0,56	0,63	0,80	0,96	1,04	1,09
1	0,48	0,47	0,48	0,50	0,56	0,62	0,80	0,96	1,04	1,09
2	0,42	0,42	0,44	0,46	0,53	0,63	0,74	0,93	1,02	1,08
≥ 4	0,38	0,38	0,40	0,42	0,50	0,62	0,74	0,93	1,02	1,08

**Выход (свободный) из прямолинейного плоского диффузора [11-19—11-22]** **Диаграмма 11-6**

Re · 10 <sup>-5</sup>	α°									
	4	6	8	10	14	20	30	45	60	90
<i>n<sub>1</sub> = 4</i>										
0,5	0,35	0,32	0,34	0,38	0,48	0,63	0,76	0,91	1,03	1,07
1	0,31	0,30	0,30	0,36	0,45	0,59	0,72	0,88	1,02	1,07
2	0,26	0,26	0,26	0,31	0,40	0,53	0,67	0,83	0,96	1,06
≥ 4	0,21	0,21	0,22	0,27	0,39	0,53	0,67	0,83	0,96	1,06
<i>n<sub>1</sub> = 6</i>										
0,5	0,34	0,34	0,32	0,34	0,41	0,56	0,70	0,84	0,96	1,08
1	0,32	0,28	0,27	0,30	0,41	0,56	0,70	0,84	0,96	1,08
2	0,26	0,24	0,24	0,26	0,36	0,52	0,67	0,81	0,94	1,06
4	0,21	0,20	0,20	0,24	0,36	0,52	0,67	0,81	0,94	1,06
≥ 6	0,21	0,19	0,18	0,23	0,34	0,50	0,67	0,81	0,94	1,06

**Выход из трубы (канала) на экран [11-13, 11-25, 11-34]** **Диаграмма 11-7**



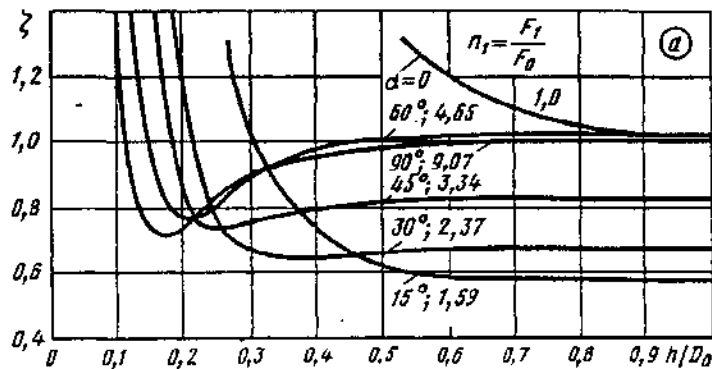
$$D_r = 4F_0/\Pi_0; \quad n_1 = F_1/F_0.$$

1. Прямолинейный диффузор при  $l_d/D_r = 1,0$

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = f(h/D_0) \text{ см. график } a$$

Значения ζ

α° (n <sub>1</sub> )	h/D <sub>0</sub>									
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	1,0
0 (1,0)	—	—	—	—	—	—	1,37	1,20	1,11	1,00
15 (1,59)	—	—	—	1,50	1,06	0,72	0,61	0,59	0,58	0,58
30 (2,37)	—	—	1,23	0,79	0,66	0,64	0,66	0,66	0,67	0,67
45 (3,34)	—	1,50	0,85	0,73	0,75	0,79	0,81	0,82	0,82	0,82
60 (4,65)	—	0,98	0,76	0,80	0,90	0,96	1,00	1,01	1,02	1,02
90 (9,07)	1,50	0,72	0,74	0,83	0,89	0,94	0,96	0,98	1,00	1,00



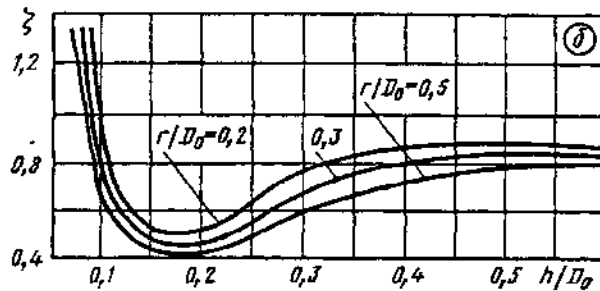
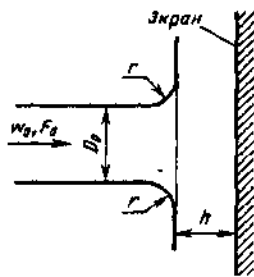
Выход из трубы (канала) на экран [11-13, 11-25, 11-34]	Диаграмма 11-7
--	-------------------

Значения  $\zeta$

$r/D_0$	$h/D_0$											
	0,05	0,07	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	1,0
0,2	—	2,30	0,90	0,52	0,51	0,62	0,75	0,82	0,85	0,86	0,85	0,85
0,3	—	1,60	0,75	0,47	0,48	0,55	0,66	0,73	0,78	0,81	0,82	0,82
0,5	2,50	1,30	0,63	0,44	0,41	0,49	0,58	0,65	0,71	0,76	0,87	0,78

2. Прямой участок с закругленными краями

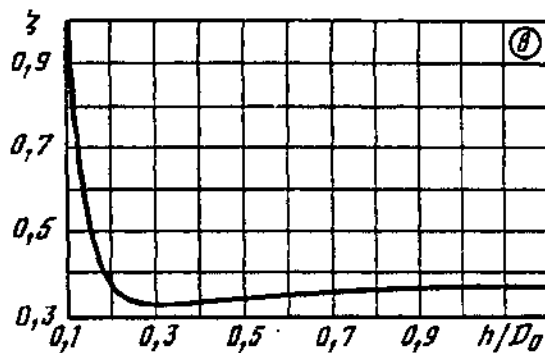
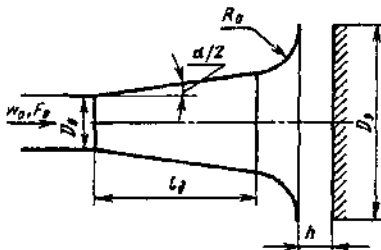
$\zeta = f(h/D_0)$  см. график б



3. Диффузор с оптимальными параметрами

( $l_n/D_0 \approx 2,5$ ;  $\alpha = 14^\circ$ ;  $R_0/D_0 \approx 0,7$ ;  
 $D_3/D_0 \approx 3,0$ );

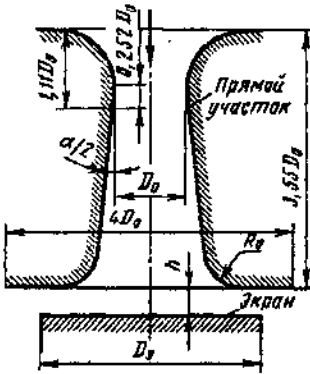
$\zeta = f(h/D_0)$  см. график в



$h/D_0$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	1,0
$\zeta$	0,78	0,46	0,36	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,36

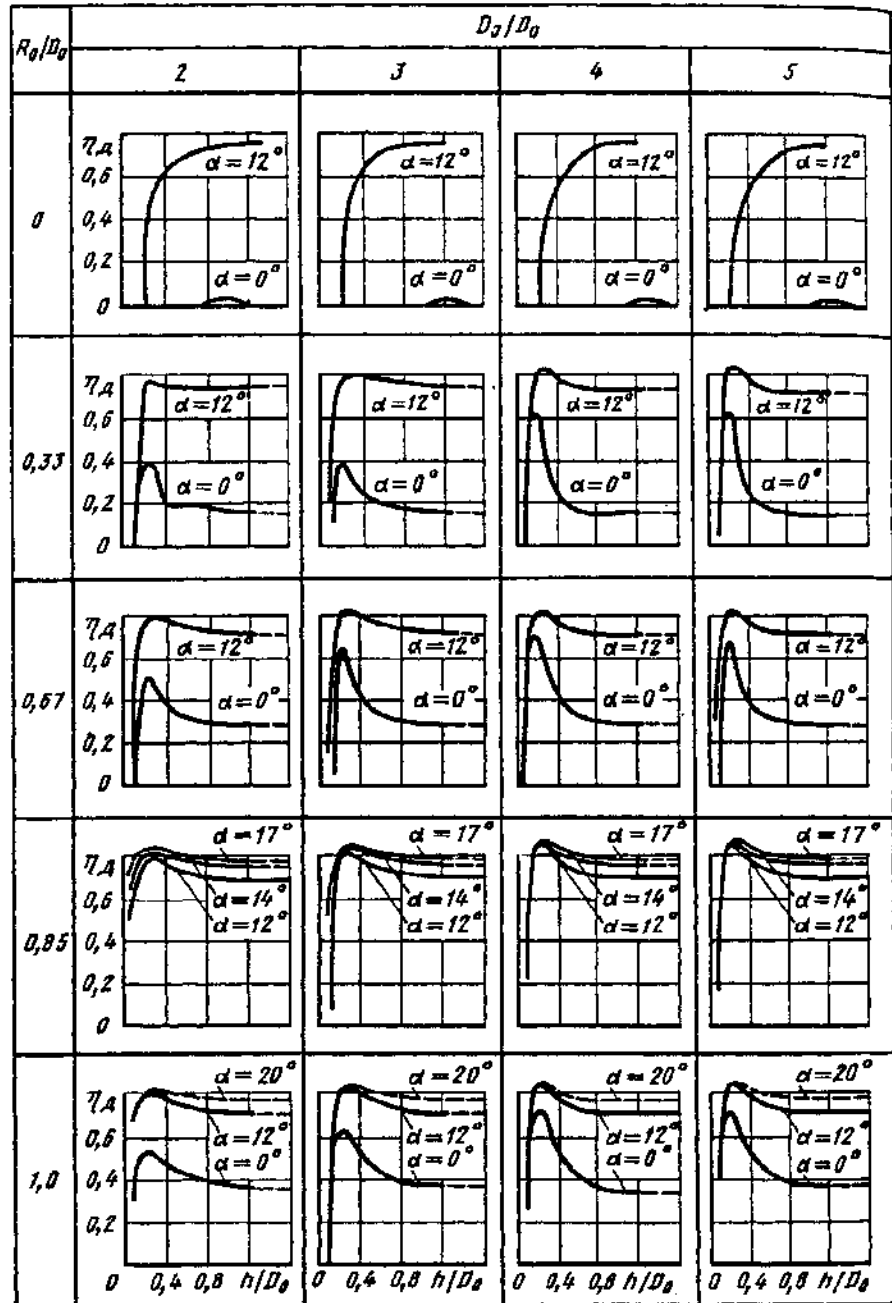
Выход из диффузора (с плавным коллектором) на экран:  
 $Re = w_0 D_0 / \nu \geq 2 \cdot 10^5$  [11-41]

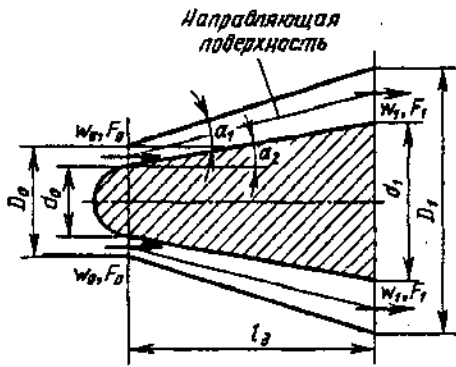
Диаграмма  
 11-8



$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1 - \eta_a$$

где  $\eta_a = f(h/D_0, \alpha, R_0/D_0)$   
 см. график



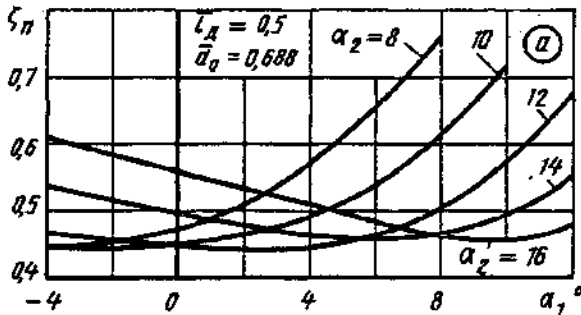


$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = k_x \zeta_n$$

где  $\zeta_n$  определяется или в зависимости от  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  по графикам *a—в* (при  $\bar{d}_0 = 0,688$ ), или в зависимости от  $n_1$  и  $T_{np}$  (при  $\Delta\delta = 0,015$  и  $0,03$ ) по графикам *г* и *д*, где  $T_{np}$  вычисляется по формуле (11-1);  $k_x$  см. диаграмму 5-1 или 5-18 (при установке за работающей осевой машиной).

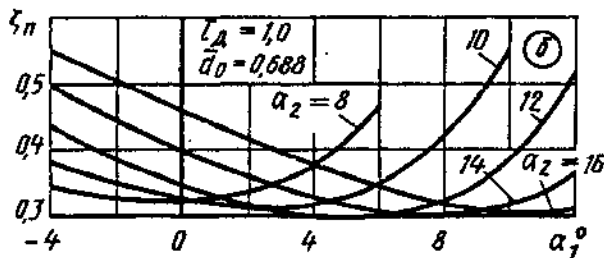
$$T_n = l_n / D_0; \quad \bar{d}_0 = \frac{d_0}{D_0};$$

$$n_1 = \frac{F_1}{F_0} = 1 + \frac{4T_n^2}{1 - \bar{d}_0^2} (\operatorname{tg}^2 \alpha_1 - \operatorname{tg}^2 \alpha_2) + \frac{4T_n}{1 - \bar{d}_0^2} (\operatorname{tg} \alpha_1 - \bar{d}_0 \operatorname{tg} \alpha_2).$$



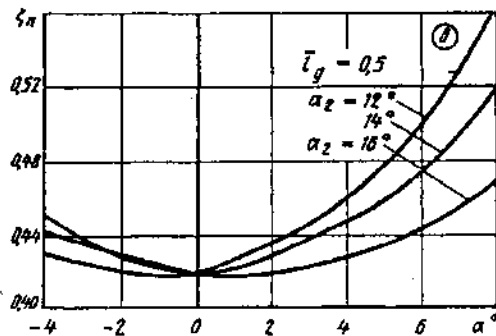
Значения  $\zeta_n$  при  $T_n = 0,5$  (без направляющей поверхности)

$\alpha_2^\circ$	$\alpha_1^\circ$								
	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
8	0,45	0,46	0,48	0,51	0,57	0,65	0,77	—	—
10	0,45	0,45	0,45	0,47	0,49	0,54	0,61	0,72	—
12	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,47	0,50	0,58	0,68
14	0,54	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,47	0,50	0,56
16	0,61	0,58	0,56	0,54	0,51	0,48	0,47	0,46	0,48



Значения  $\zeta_n$  при  $T_n = 1,0$  (без направляющей поверхности)

$\alpha_2^\circ$	$\alpha_1^\circ$								
	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
8	0,34	0,33	0,33	0,34	0,38	0,47	—	—	—
10	0,38	0,35	0,33	0,32	0,32	0,35	0,42	0,55	—
12	0,44	0,38	0,35	0,32	0,30	0,30	0,32	0,38	0,52
14	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,31	0,30	0,32	0,36
16	0,55	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	0,31

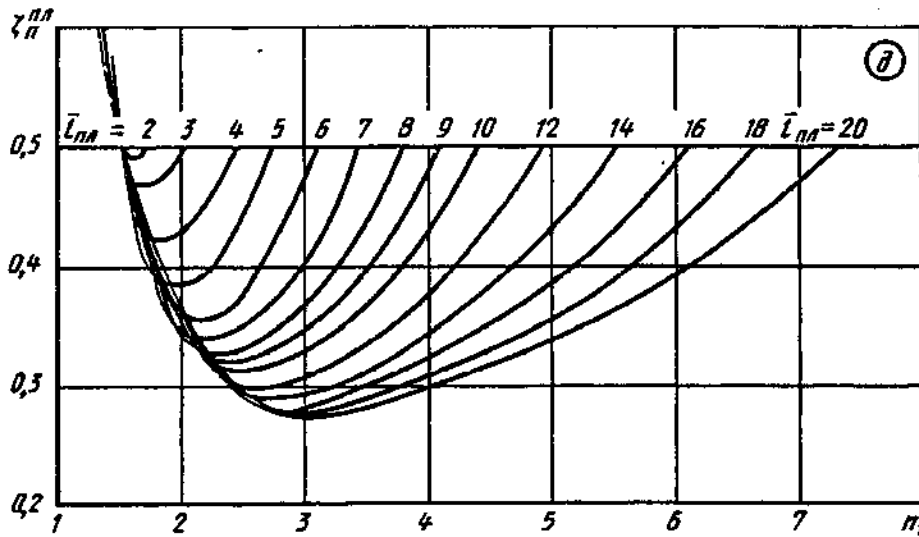
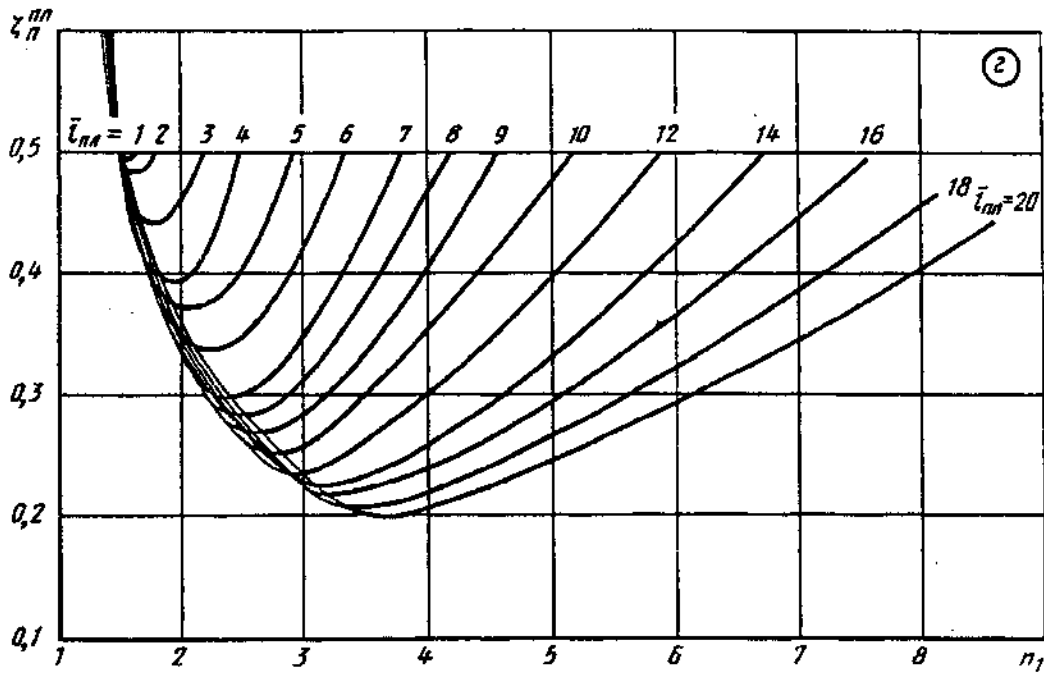


Значения  $\zeta_n$  при  $T_n = 0,5$  (с направляющей поверхностью)

$\alpha_2^\circ$	$\alpha^\circ$						
	-4	-2	0	2	4	6	8
12	0,43	0,42	0,42	0,44	0,47	0,50	0,57
14	0,44	0,43	0,42	0,43	0,45	0,47	0,52
16	0,45	0,43	0,42	0,42	0,43	0,44	0,47

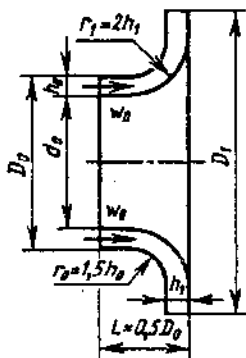
Выход (свободный) из асимметричного кольцевого диффузора;  
 $\bar{d}_0 = 0,688$  [11-5, 11-12]

Диаграмма  
 11-9



Выход (свободный) из радиально-кольцевого диффузора  
 [11-11, 11-12]

Диаграмма  
 11-10



Радиально-кольцевой диффузор по дуге круга при  $r_0/h_0 = 1,5$   
 и  $r_1/h_1 = 2$ ,  $\bar{d}_0 = 0,688$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(n_1, \bar{D}_1) \text{ см. графики а и б}$$

Выход (свободный) из радиально-кольцевого диффузора [11-11, 11-12]

Диаграмма 11-10

Значения  $\zeta$

$\bar{D}_1$	$n_1$						
	1,1	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8
Диффузор за работающим компрессором $\bar{w}_0 \approx 0,5$ (см. график а)							
1,5	—	0,76	0,76	0,76	0,76	—	—
1,7	—	0,65	0,69	0,71	0,72	0,73	—
1,9	—	—	0,58	0,64	0,67	0,71	0,72
2,2	—	—	—	0,49	0,55	0,61	0,66
Диффузор при неработающем компрессоре (см. график б)							
1,4	0,82	0,72	0,69	0,70	0,71	—	—
1,6	0,76	0,64	0,61	0,61	0,63	0,64	—
1,8	0,70	0,57	0,54	0,53	0,55	0,57	0,58
2,0	—	0,51	0,46	0,45	0,46	0,48	0,50

$$n_1 = 2 \frac{h_1}{h_0} \bar{D}_1 \frac{1}{1 + \bar{d}_0};$$

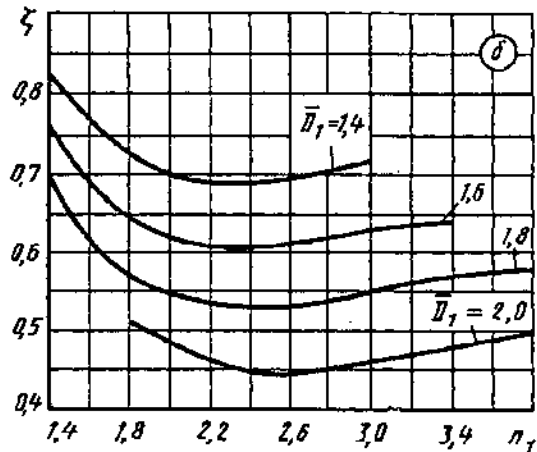
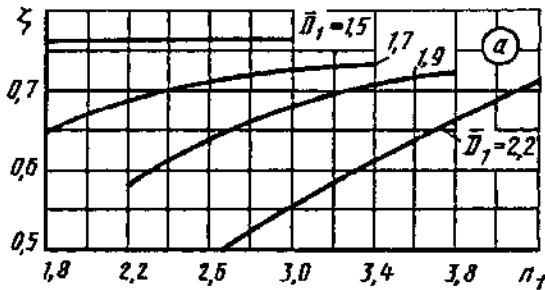
$$\bar{D}_1 = D_1 / D_0;$$

$$\bar{d}_0 = d_0 / D_0;$$

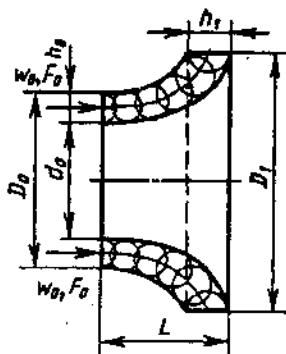
$$w_0 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_0^2)};$$

$$\bar{w}_0 = w_0 / u.$$

$Q$  — расход, м<sup>3</sup>/с;  
 $u$  — окружная скорость на наружном радиусе, м/с



Радиально-кольцевой диффузор по дуге эллипса и  $\bar{d}_0 = 0,76$   
 $\zeta = f(h_1/h_0)$  см. график в



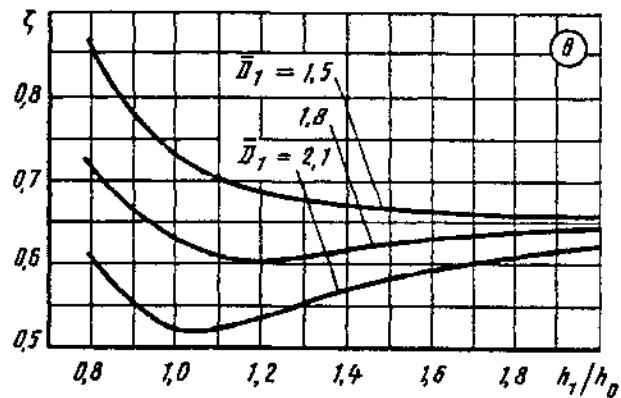
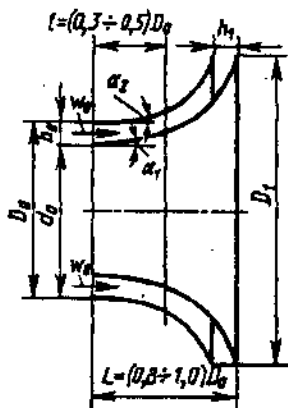
Значения  $\zeta$

$\bar{D}_1$	$h_1/h_0$								
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
1,5	0,85	0,78	0,73	0,70	0,69	0,67	0,66	0,66	0,66
1,8	0,72	0,66	0,63	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
2,1	0,61	0,65	0,52	0,52	0,54	0,57	0,59	0,61	0,62



Выход (свободный) из радиально-кольцевого диффузора [11-11, 11-12]

Диаграмма 11-10

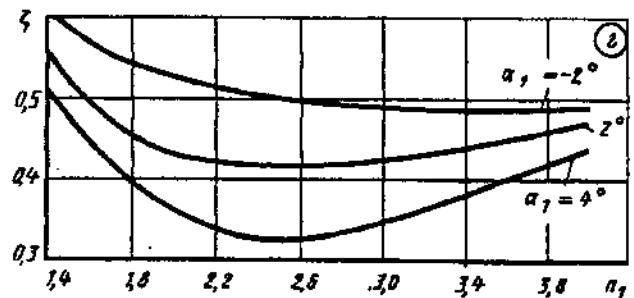


Радиально-кольцевой диффузор при  $\bar{D}_1 = 2,06$ ;  $\bar{d}_0 = 0,688$ ;

$\alpha_2 = 8^\circ$ ;  $\bar{w}_0 = 0,5$ ;  $\zeta = f(n_1, \bar{D}_1)$  см. график 2

Значения  $\zeta$

$\alpha_1^\circ$	$n_1$							
	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,6	4,0
-2	0,61	0,54	0,52	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49
2	0,56	0,45	0,43	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47
4	0,52	0,39	0,34	0,33	0,35	0,38	0,40	0,46

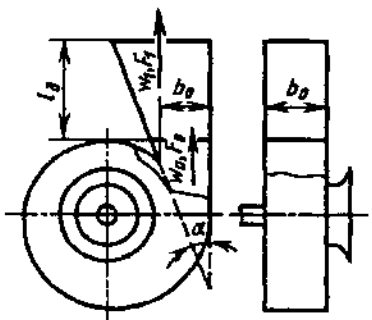


Выход (свободный) из диффузоров за центробежным вентилятором, работающим на всасывании [11-24]

Диаграмма 11-11

Плоский несимметричный диффузор:

$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(n_1) \text{ см. график а}$$

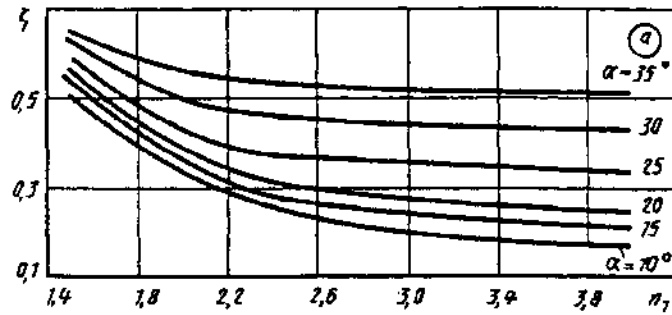


$$n_1 = F_1 / F_0$$

$\alpha^\circ$	Формулы
10	$\zeta = 0,827 n_1^{-1} - 0,059$
15	$\zeta = n_1 (6,72 n_1 - 7,5)^{-1}$
20	$\zeta = n_1 (5,6 n_1 - 5,79)^{-1}$
25	$\zeta = n_1 (3,95 n_1 - 3,31)^{-1}$
35	$\zeta = n_1 (2,28 n_1 - 1,07)^{-1}$

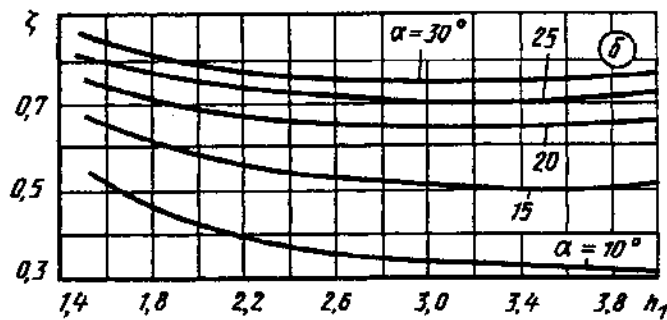
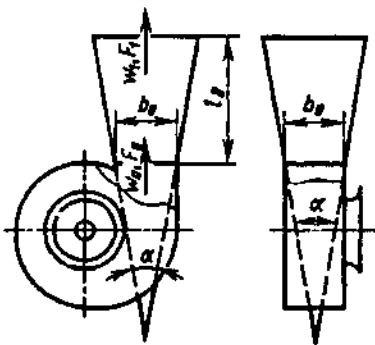
Выход (свободный) из диффузоров за центробежным вентилятором, работающим на всасывании [11-24]

Диаграмма 11-11



Значения  $\zeta$

$\alpha^\circ$	$n_1$					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,51	0,34	0,25	0,21	0,18	0,17
15	0,54	0,36	0,27	0,24	0,22	0,20
20	0,55	0,38	0,31	0,27	0,25	0,24
25	0,59	0,43	0,37	0,35	0,33	0,33
30	0,63	0,50	0,46	0,44	0,43	0,42
35	0,65	0,56	0,53	0,52	0,51	0,50



Значения  $\zeta$

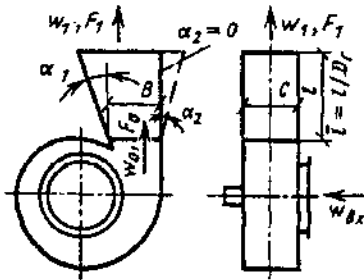
Пирамидальный диффузор  $\zeta=f(n_1)$  см. график б

$\alpha^\circ$	Формулы
10	$\zeta = n_1(4,05n_1 - 3,32)^{-1}$
15	$\zeta = n_1(2,34n_1 - 1,23)^{-1}$
20	$\zeta = n_1(1,71n_1 - 0,52)^{-1}$
25	$\zeta = 0,641 - 0,22n_1^{-1}$
35	$\zeta = n_1(1,44n_1 - 0,36)^{-1}$

$\alpha^\circ$	$n_1$					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,54	0,42	0,37	0,34	0,32	0,31
15	0,67	0,58	0,53	0,51	0,50	0,51
20	0,75	0,67	0,65	0,64	0,64	0,65
25	0,80	0,74	0,72	0,70	0,70	0,72
30	0,85	0,78	0,76	0,75	0,75	0,76

Выходной (свободный) несимметричный диффузор  
за центробежным вентилятором, работающим  
на всасывании [11-6]  $\alpha_1 = \text{var}$ ,  $\alpha_2 = 0^\circ$

Диаграмма  
11-12



Лопатки колеса вентилятора загнуты назад

Значения  $\zeta$

$l/D_1$	$n_1$						
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Номинальный режим $\eta^* = \eta^*_{\max}$ , $Q = Q_n$							
1,0	0,06	0,10	0,20	0,40	—	—	—
1,5	0,06	0,15	0,23	0,30	0,40	—	—
2,5	—	—	0,13	0,13	0,14	0,20	0,33
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta^*_{\max}$ , $Q > Q_n$							
1,0	0,08	0,13	0,30	—	—	—	—
1,5	0,15	0,18	0,24	0,33	0,45	—	—
2,5	—	0,10	0,13	0,19	0,25	0,32	0,40

$$n_1 = F_1/F_0$$

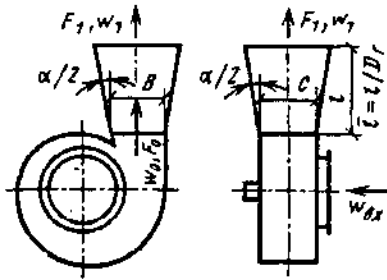
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$$

$\eta^*$  — КПД вентилятора

Лопатки колеса вентилятора загнуты вперед

Значения  $\zeta$

$l/D_1$	$n_1$							
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta^*_{\max}$ , $Q < Q_n$								
1,0	0,22	0,28	0,34	0,43	—	—	—	—
1,5	0,08	0,18	0,22	0,23	0,27	—	—	—
5,3	—	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	0,21	0,27
Номинальный режим $\eta^* = \eta^*_{\max}$ , $Q = Q_n$								
1,0	0,08	0,16	0,28	0,48	—	—	—	—
1,5	—	0,09	0,15	0,23	0,35	—	—	—
2,5	—	—	0,11	0,12	0,15	0,22	0,32	0,50
5,3	—	—	0,15	0,15	0,15	0,17	0,19	0,20
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta^*_{\max}$ , $Q > Q_n$								
0,9	0,11	0,27	0,41	0,60	—	—	—	—
1,5	0,10	0,16	0,23	0,36	0,53	—	—	—
2,5	—	0,09	0,15	0,25	0,36	0,48	0,58	0,64
5,3	—	0,16	0,15	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30



$$n_1 = F_1 / F_0$$

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

Лопатки колеса вентилятора загнуты назад

Значения  $\zeta$

$l/D_1$	$n_1$							
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{\max}^*$ , $Q < Q_n$								
1,0	1,08	1,10	1,12	1,18	1,22	1,33	1,45	1,6
1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Номинальный режим $\eta^* = \eta_{\max}^*$ , $Q = Q_n$								
1,0	—	0,25	0,22	0,20	0,22	0,30	0,48	—
1,5	—	0,12	0,12	0,15	0,20	0,28	0,38	0,5
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{\max}^*$ , $Q > Q_n$								
1,0	—	—	—	—	0,15	0,20	0,30	0,42
1,5	—	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,20

Лопатки колеса вентилятора загнуты вперед

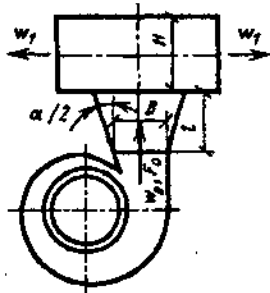
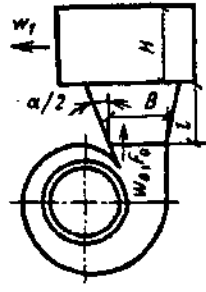
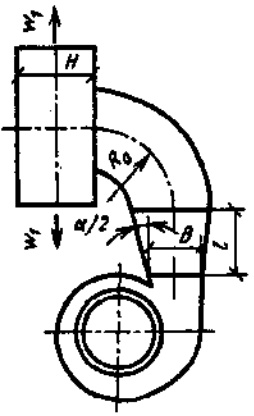
Значения  $\zeta$

$l/D_1$	$n_1$											
	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,6	4,0
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{\max}^*$ , $Q < Q_n$												
1,0	0,20	0,50	0,66	0,75	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	0,28	0,40	0,55	0,65	0,78	0,88	—	—	—	—	—
2,5	—	—	—	—	0,37	0,40	0,42	0,48	0,55	0,62	0,8	1,0
Номинальный режим $\eta^* = \eta_{\max}^*$ , $Q = Q_n$												
1,0	0,10	0,26	0,32	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	—	0,22	0,35	0,40	0,44	—	—	—	—	—	—
2,5	—	—	—	—	0,20	0,28	0,35	0,40	0,46	0,52	0,56	0,56
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{\max}^*$ , $Q > Q_n$												
1,0	0,15	0,30	0,40	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	—	0,18	0,28	0,35	0,42	0,50	0,54	—	—	—	—	—
2,5	—	—	—	—	0,20	0,28	0,36	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

$\eta^*$  — КПД вентилятора;  $D_r = 4F_0/\Pi_0$

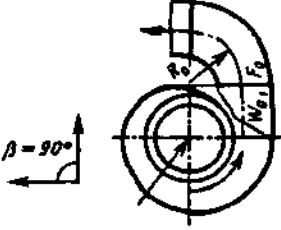
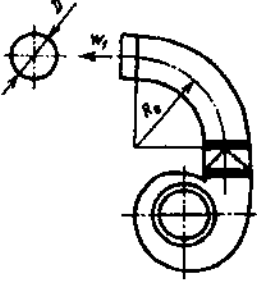
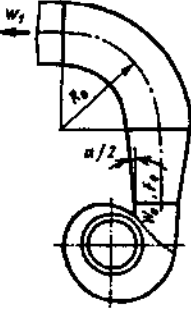
Значения  $\zeta$

Схема элемента	Характеристика элемента	Режим работы вентилятора с лопатками, загнутыми назад		
		$Q < Q_{n_1}$ $\eta^* \geq 0,9 \eta_{max}^*$	номинальный $Q = Q_{n_1}$ $\eta^* = \eta_{max}^*$	$Q > Q_{n_1}$ $\eta^* \geq 0,9 \eta_{max}^*$
	Пирамидальный диффузор при $T=1/1,5$ ; $n_1=1,5-2,6$ короб ( $\bar{H}=H/D_r=1-2$ ) с выходом потока в две стороны	1,9	0,7	0,6
	Пирамидальный диффузор при $T=1/1,3$ ; $n_1=1,5-2,6$ короб ( $\bar{H}=1-2$ ) с выходом потока в одну сторону	2,0	0,8	0,6
	Пирамидальный диффузор при $T=1/5$ ; $n_1=2,6$ ; отвод ( $R_0/D_r=1,0$ ); короб ( $\bar{H}=1-2$ ) с выходом потока в две стороны	1,6	0,7	0,5
	Пирамидальный диффузор при $T=1/1,5$ ; $n_1=2,6$ ; отвод ( $R_0/D_r=1,0$ ); короб ( $\bar{H}=1-2$ ) с выходом потока в одну сторону	1,9	0,8	0,6

Выходные элементы за центробежными вентиляторами [11-6]	Диаграмма 11-14
---	-----------------

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

Значения  $\zeta$

Схема элемента	Характеристика элемента	Угол установки элемента $\beta^\circ$	Режим работы вентилятора					
			лопатки, загнутые назад			лопатки, загнутые вперед		
			$Q < Q_n$ $\eta^* \geq 0,9 \eta^*_{max}$	$Q = Q_n$ $\eta^* = \eta^*_{max}$	$Q > Q_n$ $\eta^* \geq 0,9 \eta^*_{max}$	$Q < Q_n$ $\eta^* \geq 0,9 \eta^*_{max}$	$Q = Q_n$ $\eta^* = 0,9 \eta^*_{max}$	$Q > Q_n$ $\eta^* \geq 0,9 \eta^*_{max}$
	Отвод прямоугольного сечения ( $R_0/D_r = 1$ )	90; 180; 360 270	0,6 0,6	0,2 0,2	0,3 0,3	0,2 0,7	0,3 0,5	0,3 0,5
	Отвод круглого сечения ( $R_0/D_r = 2$ )	90—360	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
	Отвод прямоугольного сечения с пирамидальным диффузором ( $R_0/D_r = 1,5$ )	90—180 270—360	0,2 0,2	0,2 0,2	0,2 0,2	0,4 —	0,2 —	0,2 —

Выходные элементы за центробежными вентиляторами [11-6]

Диаграмма  
11-14

Схема элемента	Характеристика элемента	Угол установки элемента $\beta^\circ$	Режим работы вентилятора					
			лопатки, загнутые назад			лопатки, загнутые вперед		
			$Q < Q_u$ $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$	$Q = Q_u$ $\eta^* = \eta_{max}^*$	$Q > Q_u$ $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$	$Q < Q_u$ $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$	$Q = Q_u$ $\eta^* = \eta_{max}^*$	$Q > Q_u$ $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$
	Переходник с квадратного сечения на круглое равновеликой площади	—	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

Выходные диффузоры за осевыми вентиляторами [3-3, 11-6]

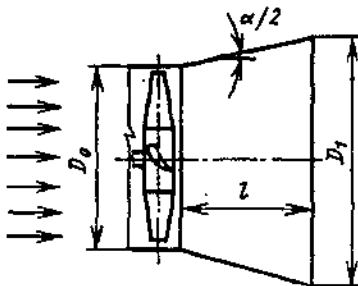
Диаграмма  
11-15

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

$Q$ ,  $\eta^*$  — производительность и КПД вентилятора

Значения  $\zeta$

Конические диффузоры

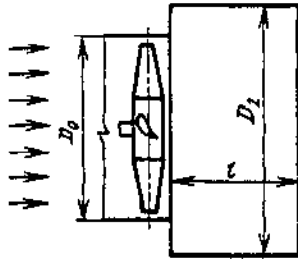


$l/D_0$	$n_1$						
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$ , $Q > Q_u$							
1,0	1,0	0,94	0,96	1,03	—	—	—
1,75	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Номинальный режим $\eta^* = \eta_{max}^*$ , $Q = Q_u$							
1,0	0,30	0,30	0,40	0,55	—	—	—
1,75	—	0,35	0,40	0,43	0,46	0,50	0,55
Режим $\eta^* \geq 0,9\eta_{max}^*$ , $Q < Q_u$							
1,0	0,25	0,26	0,38	—	—	—	—
1,5	0,22	0,24	0,28	0,35	0,43	0,54	0,65

Выходные диффузоры за осевыми вентиляторами  
[3-3, 11-6]

Диаграмма  
11-15

Ступенчатые диффузоры



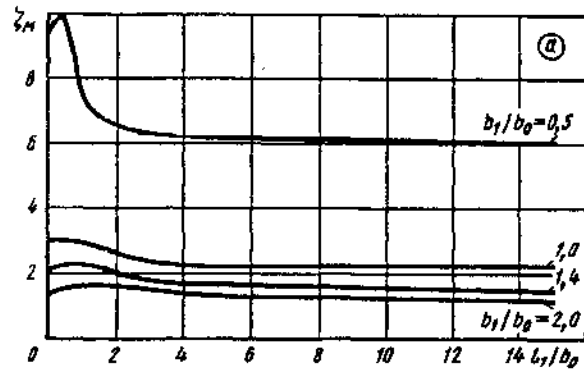
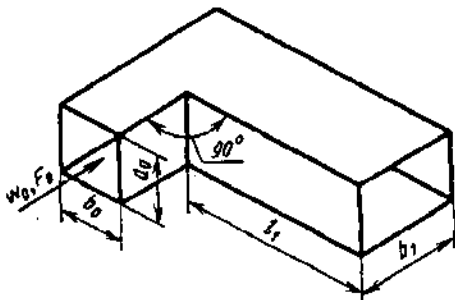
$l/D_0$	$n_1$				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Режим $\eta^* \geq 0,9 \eta_{\max}^*$ , $Q < Q_n$					
1,0	—	0,65	0,51	0,64	0,95
1,5	—	0,72	0,66	0,72	0,79
Номинальный режим $\eta^* = \eta_{\max}^*$ , $Q = Q_n$					
1,0	0,23	0,27	0,32	0,40	0,54
1,5	—	0,23	0,23	0,30	0,38
Режим $Q_{\max}$					
1,0	0,18	0,16	0,32	0,55	—
1,5	0,13	0,16	0,25	0,38	0,53

Выход из прямого колена ( $\delta = 90^\circ$ )  
при острой кромке поворота [11-28]

Диаграмма  
11-16

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_m + \lambda \frac{l_1}{b_1} \left( \frac{b_0}{b_1} \right)^2,$$

где  $\lambda$  см. диаграммы 2-1—2-6



Колено квадратного сечения ( $a_0/b_0 = 1,0$ )

$\zeta_m = f(l_1/b_0)$  см. график а.

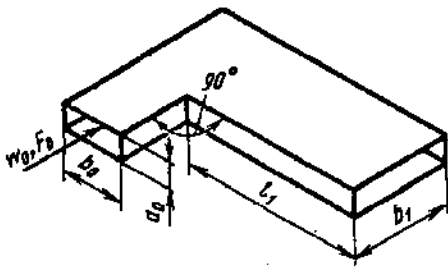
Значения  $\zeta_m$  (график а)

$b_1/b_0$	$l_1/b_0$									
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	15,0	
0,5	9,0	10	7,6	6,7	6,5	6,2	6,2	6,1	5,9	
1,0	2,9	3,0	2,9	2,8	2,6	2,2	2,2	2,2	2,2	
1,4	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,5	1,5	
2,0	1,3	1,5	1,6	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	

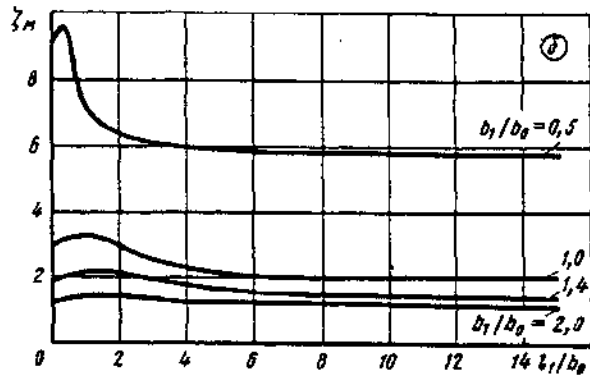


Выход из прямого колена ( $\delta = 90^\circ$ )  
при острой кромке поворота [11-28]

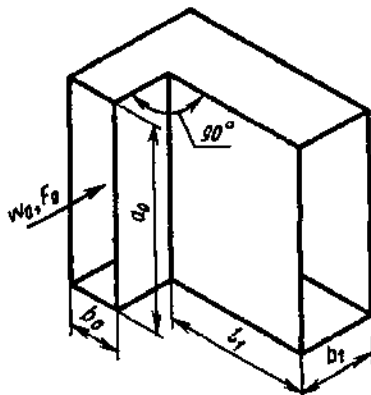
Диаграмма  
11-16



Плоское колесо ( $a_0/b_0 = 0,25$ )



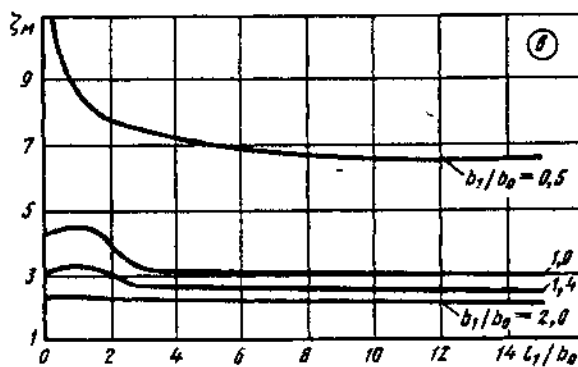
$\zeta_m = f(l_1/b_0)$  см. график б



Значения  $\zeta_m$  (график б)

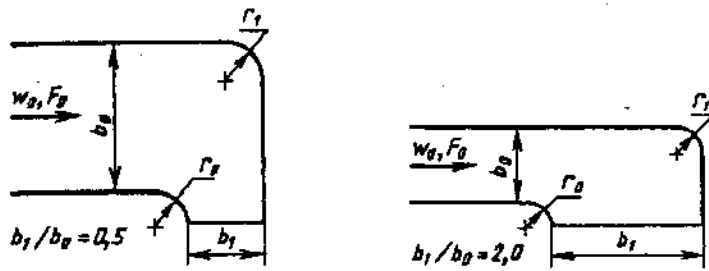
$b_1/b_0$	$l_1/b_0$								
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	15,0
0,5	8,8	9,5	7,2	6,6	6,3	6,0	5,9	5,8	5,8
1,0	2,7	3,2	3,3	3,1	2,9	2,3	2,1	2,0	2,0
1,4	1,8	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	1,6	1,4	1,4
2,0	1,3	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Колесо прямоугольного сечения ( $a_0/b_0 = 4$ )  
 $\zeta_m = f(l_1/b_0)$  см. график в



Значения  $\zeta_m$  (график в)

$b_1/b_0$	$l_1/b_0$								
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	15,0
0,5	9,9	8,5	7,6	7,1	6,8	6,2	5,9	5,7	5,6
1,0	3,2	3,3	3,5	3,4	3,0	2,1	2,1	2,1	2,0
1,4	2,0	2,2	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,6	1,5
2,0	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1

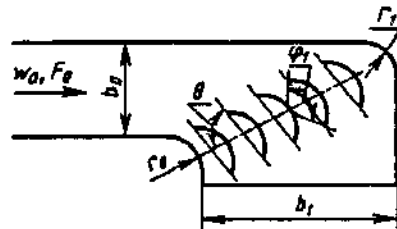
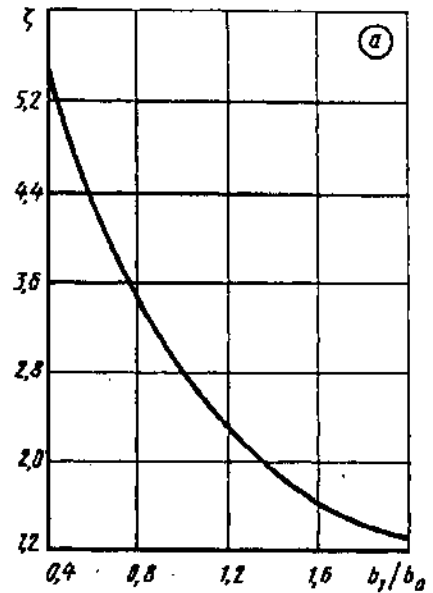


$r_0 = r_1 = r$

Колено с  $r/b_0 = 0,2$ :

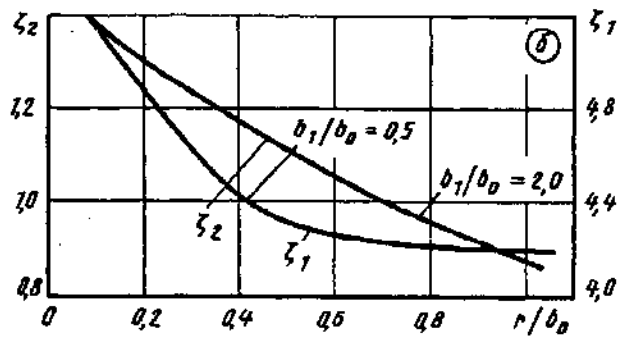
$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w \frac{\delta}{2}} = f\left(\frac{b_1}{b_0}\right)$  см. график а

$b_1/b_0$	0,5	1,0	2,0
$\zeta$	4,92	2,80	1,3



Колено при  $r/b_0 = \text{var}$ :

$\zeta = f(r/b_0)$  см. график б



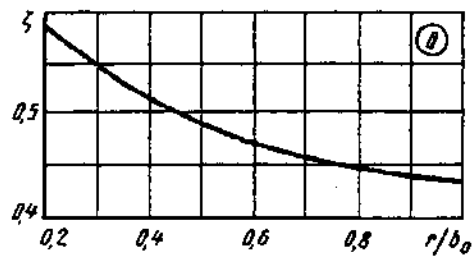
Значения  $\zeta$  ( $\zeta_1$  и  $\zeta_2$ )

$b_1/b_0$	$r/b_0$							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
0,5	5,20	4,92	4,64	4,44	4,31	4,24	4,20	4,18
2,0	1,40	1,30	1,23	1,17	1,11	1,05	0,95	0,87

Колено при  $\delta=90^\circ$  ( $b_1/b_0=2,0$ ) с пятью тонкими направляющими лопатками:

$\zeta = f(r/b_0)$  см. график в

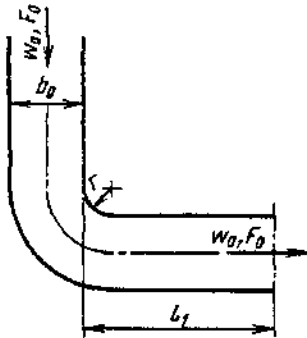
Характеристика	$r/b_0$		
	0,2	0,5	1,0
$\theta^\circ$	70	72—74	72—74
$\varphi_1^\circ$	154	99	90
$\zeta$	0,59	0,49	0,44



Отвод

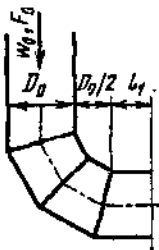
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_m + \lambda l_1 / b_0,$$

где  $\zeta_m = f(r/b_0, l_1/b_0)$ ;  
 $\lambda$  см. диаграммы 2-1—2-6



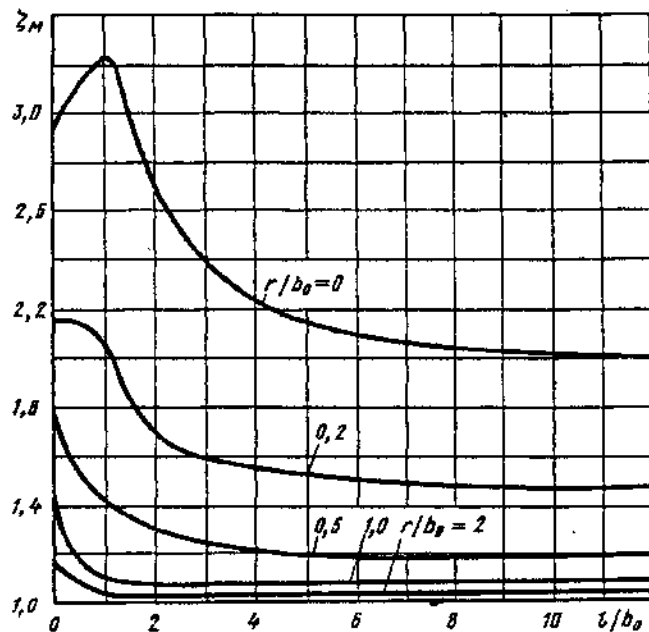
Значения  $\zeta_m$

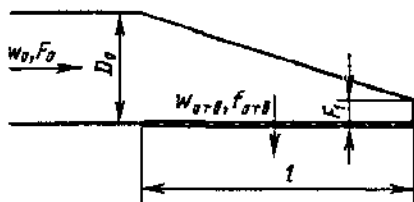
$r/b_0$	$l_1/b_0$									
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	12,0
0,0	2,95	3,13	3,23	3,00	2,72	2,40	2,24	2,10	2,05	2,00
0,2	2,15	2,15	2,08	1,84	1,70	1,60	1,56	1,52	1,49	1,48
0,5	1,80	1,54	1,43	1,36	1,32	1,26	1,22	1,19	1,19	1,19
1,0	1,46	1,19	1,11	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
2,0	1,19	1,10	1,06	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04



Составное колено

$l_1/D_0$	0,4	0,8
$\zeta$	1,52	1,41

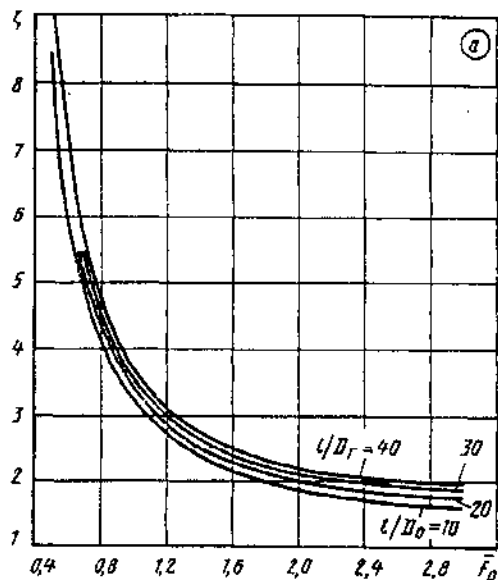




$$D_r = 4F_0 / \Pi_0;$$

$$0,5 < f_0 = F_{отв} / F_0 < 3,0$$

$$\text{и } 0 < F_1 / F_0 < 1,0$$

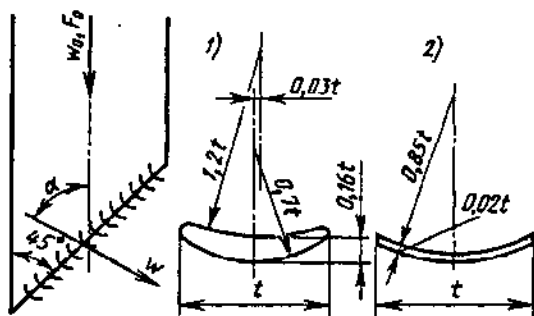


Значения  $\zeta$

$l_0/D_0$	$f_0$							
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
10	8,61	6,41	4,22	3,21	2,21	1,86	1,69	1,61
20	8,77	5,57	4,38	3,37	2,37	2,02	1,85	1,77
30	8,87	6,67	4,48	3,47	2,47	2,12	1,95	1,87
40	8,94	6,74	4,55	3,54	2,54	2,19	2,02	1,94

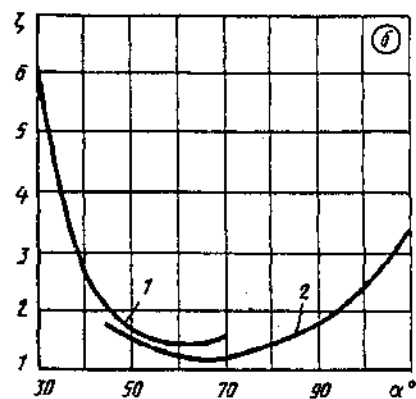
Насадок в виде тонкостенной  
решетки на боковой стенке:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx \frac{1,8}{f_0^2} + \left( \frac{l_0}{D_r} \right)^{0,15} = f(f_0)$$



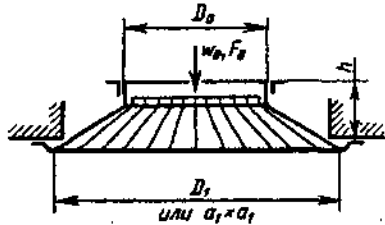
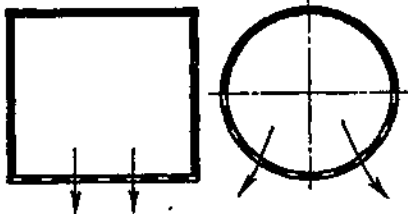
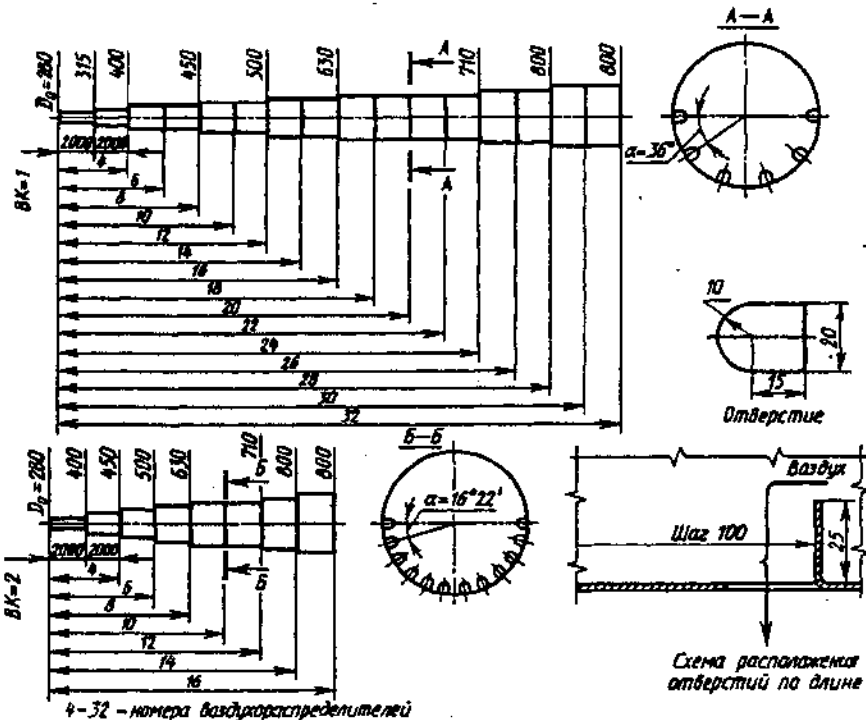
Значения  $\zeta$

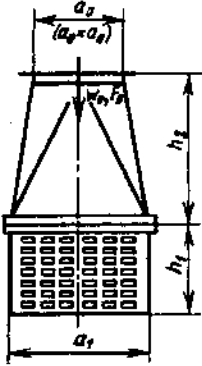
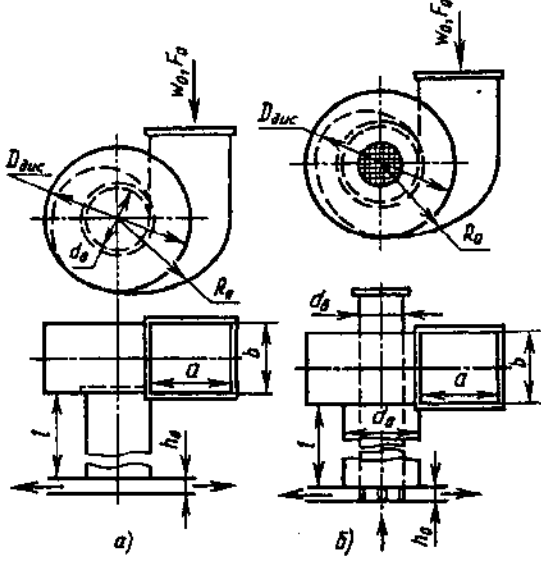
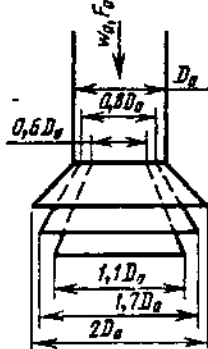
Лопатки	$\alpha^\circ$									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
1. Профилированные	6,4	2,7	1,7	1,4	1,6	—	—	—	—	
2. Упрощенные	—	—	1,5	1,2	1,2	1,4	1,8	2,4	3,5	



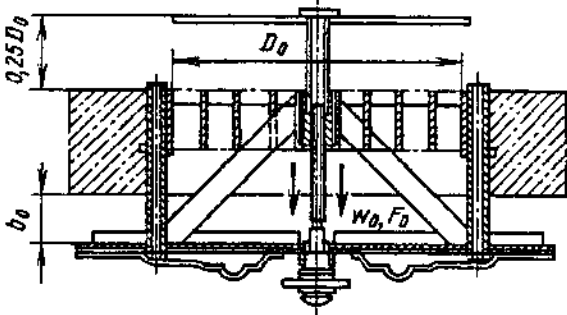
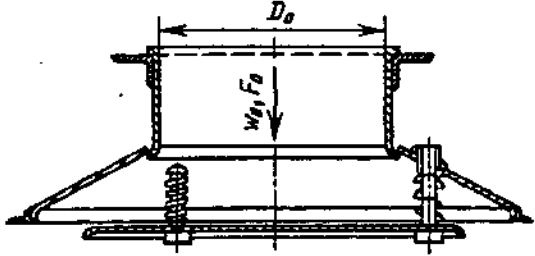
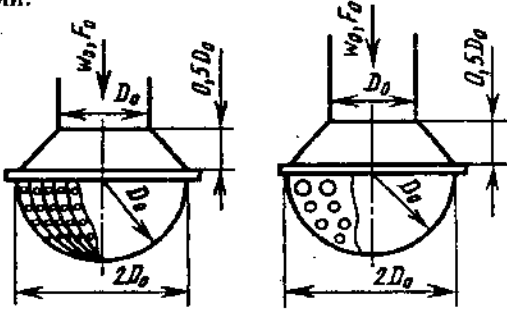
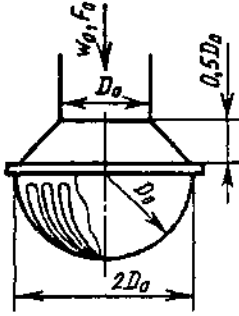
Насадок конструкции В. В. Багутина

$$\zeta = f(\alpha)$$

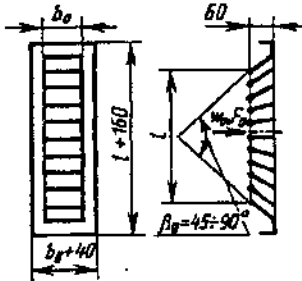
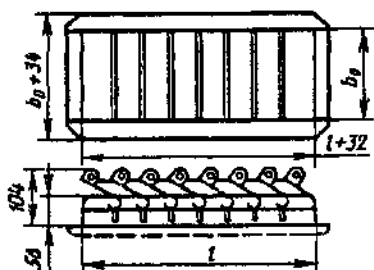
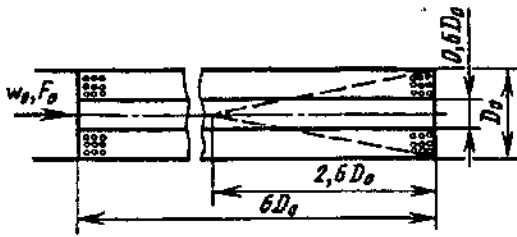
<p>Приточные насадки (воздухораспределители) [11-3, 11-9, 11-23]</p>	<p>Диаграмма 11-19</p>
<p>Характеристика насадка и схема</p>	$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w^2 / 2}$
<p>Двухструйный, шестидиффузорный типа ВДШ</p> 	<p>1,9.</p>
<p>Нестандартный перфорированный (прямоугольный или круглый) <math>f = F_{отв} / F_0 = 0,04 \div 0,10</math></p> 	<p>2,4</p>
<p>Стандартизованный, перфорированный, круглого сечения: 1) ВК-1 (6 рядов отверстий) 2) ВК-2 (12 рядов отверстий)</p>  <p>4-32 - номера воздухораспределителей</p>	<p>1,7 ÷ 2,0 (<math>\zeta</math> отнесен к площади <math>F_0 = \pi D_0^2 / 4</math>, где <math>D_0</math> — диаметр присоединительного патрубка)</p>

Приточные насадки (воздухораспределителя) [11-3, 11-9, 11-23]	Диаграмма 11-19
Характеристика насадка и схема	$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w^2/2}$
Пристенный типа ВП 	6,8
Статический (улиточный) центробежный: <i>a</i> — приточный; <i>b</i> — приточно-вытяжной  <p>Оптимальные характеристики:  <math>R_0 = 0,5 d_0 \exp(\varphi/2\pi)</math>                      (логарифмическая спираль):  <math>b/d_0 = 1,05</math>;  <math>a/b = 0,8 \div 0,9</math>;  <math>ab/d_0^2 = 0,85 \div 0,90</math>;  <math>D_{вх}/d_0 = 1,3 \div 1,5</math></p>	6,5
С тремя диффузорами 	1,1

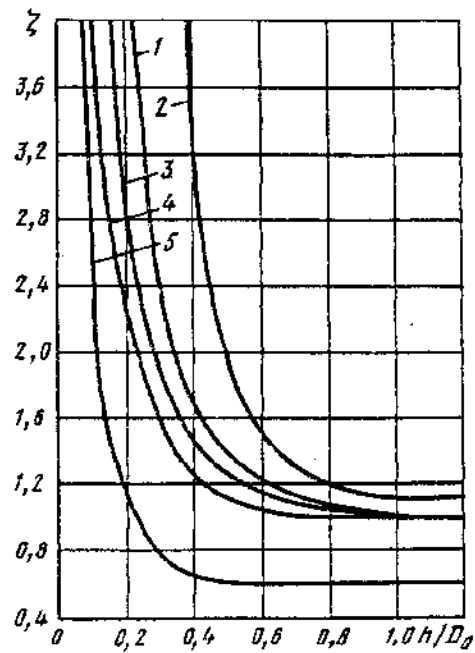
Приточные насадки (воздухораспределители) [11-3, 11-9, 11-23]	Диаграмма 11-19
Характеристика насадка и схема	$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w^2 / 2}$
Щелевой с параллельными направляющими лопатками при $f = F_{отс} / F_0 \geq 0,8$	1,5
Прямоугольный в виде решетки с параллельными направляющими лопатками	1,8
Душирующий патрубок	0,75
С поворотным патрубком типа ПП	1,1
Комбинированный приточно-вытяжной плафон типа ВК	2,0

<p>Приточные насадки (воздухораспределители) [11-3, 11-9, 11-23]</p>	<p>Диаграмма 11-19</p>
<p>Характеристика насадка и схема</p>	<p><math>\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w^2/2}</math></p>
<p>В виде потолочного плафона:  <math>b_0/D_0=0,2</math>  <math>b_0/D_0=0,3</math>  <math>b_0/D_0=0,4</math></p> 	<p>4,0 2,3 1,9</p>
<p>С универсальным тарельчатым плафоном типа ВУ:          а) при поднятом диске;          б) при опущенном диске</p> 	<p>3,0 1,9</p>
<p>В виде полусферы с отверстиями:  <math>F_{отв}/F_0=0,56</math>  <math>F_{отв}/F_0=3,9</math></p> 	<p>11,0 1,0</p>
<p>В виде полусферы со щелями <math>F_{отв}/F_0=1,4</math></p> 	<p>2,0</p>



Приточные насадки (воздухораспределители) [11-3, 11-9, 11-23]	Диаграмма 11-19							
Характеристики насадки и схема	$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$							
С всерной решеткой типа РВ ( $\beta = 45^\circ$ , $\beta = 60^\circ$ , $\beta = 90^\circ$ )  	1,0							
С приточной регулирующей решеткой типа РР  	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Тип решетки</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>А, Б, Г</td> <td>В</td> </tr> <tr> <td>2,2</td> <td>3,3</td> </tr> </tbody> </table>		Тип решетки		А, Б, Г	В	2,2	3,3
Тип решетки								
А, Б, Г	В							
2,2	3,3							
В виде цилиндра с перфорированной поверхностью $F_{отв}/F_0 = 4,7$  	0,9							

№ кри- вой	Шахта	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$					
			Значения $\zeta$					
1	С плоским экраном		Шахта					
			$h/D_0$					
			0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	
			1	—	—	3,40	2,60	2,10
			2	—	—	—	—	—
2	С расщечкой		Шахта					
			$h/D_0$					
			0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	
			1	1,70	1,40	1,20	1,10	1,00
			2	3,50	2,00	1,50	1,20	1,10
3	С зонтом		Шахта					
			$h/D_0$					
			0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	
			1	1,70	1,40	1,20	1,10	1,00
			2	3,50	2,00	1,50	1,20	1,10
4	С зонтом и с расщечкой		Шахта					
			$h/D_0$					
			0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	
			1	1,70	1,40	1,20	1,10	1,00
			2	3,50	2,00	1,50	1,20	1,10



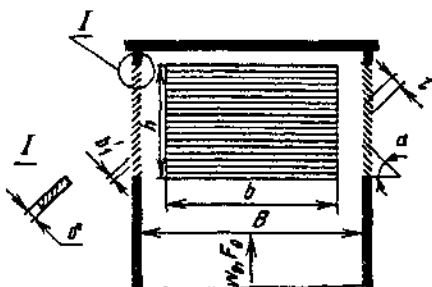
Шахты (вытяжные, прямые) круглого сечения;  $Re = w_0 D_0 / \nu > 10^4$  [11-32]

Диаграмма  
11-20

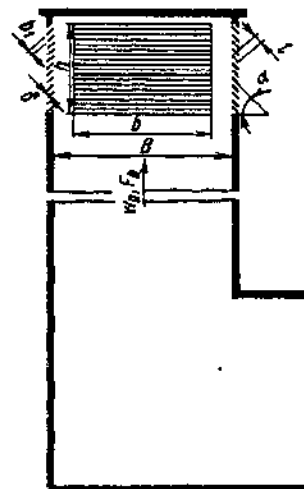
Кривой	Шахта	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
5	С диффузором и зонтом		

Шахты (вытяжные) прямоугольного сечения; боковые отверстия с неподвижными жалюзийными решетками и без них [11-26]

Диаграмма  
11-21
















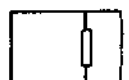



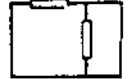


$$h/B = 0,5; \bar{f} = n_0 b h / F_0$$



Шахты (вытяжные) прямоугольного сечения; боковые отверстия с неподвижными жалюзийными решетками и без них [11-26]

Диаграмма 11-21

## Прямые шахты

Количество отверстий	Схема расположения отверстий		$f$	$\frac{b}{h}$	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$		
	без решеток	с решетками			без решеток	$\alpha = 30^\circ$ ; $\frac{b'_1}{h} = 0,029$ ; $\frac{l}{h} = 1,6$ ; $\frac{b'_1}{\delta} = 0,058$	$\alpha = 45^\circ$ ; $\frac{b'_1}{h} = 0,024$ ; $\frac{l}{h} = 1,4$ ; $\frac{b'_1}{\delta} = 0,07$
1	2	3	4	5	6	7	8
Одно			0,36	1,5	15,5	22,0	—
Два			0,36	1,5	5,0	7,2	—
Три			0,36	1,5	3,50	5,0	—
Четыре			0,36	1,5	2,20	2,6	3,5
»			0,24	1,0	5,30	7,0	10,0
»			0,12	0,5	15,6	19,6	29,0
Одно			0,36	1,5	14,0	18,6	—
»			0,36	1,5	17,6	26,0	—
Два			0,36	1,5	5,2	6,6	—
»			0,36	1,5	7,0	9,3	—

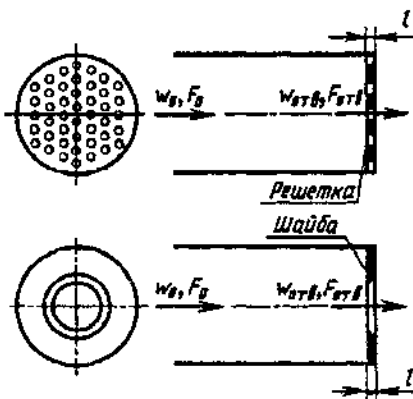
Шахты (вытяжные) прямоугольного сечения; боковые отверстия с неподвижными жалюзийными решетками и без них [11-26]

Диаграмма 11-21

1	2	3	4	5	6	7	8
Три			0,36	1,5	4,0	4,6	—
»			0,36	1,5	7,0	9,0	—
Четыре			0,36	1,5	4,0	4,2	5,0
»			0,24	1,0	6,6	8,0	10,7
»			0,12	0,5	16,0	20,0	29,5

Выход из прямой трубы через шайбу или плоскую решетку; с острыми краями отверстий ( $l/d_r = 0 \div 0,015$ );  $Re = w_{отв} d_r / \nu \geq 10^5$  [11-16—11-18]

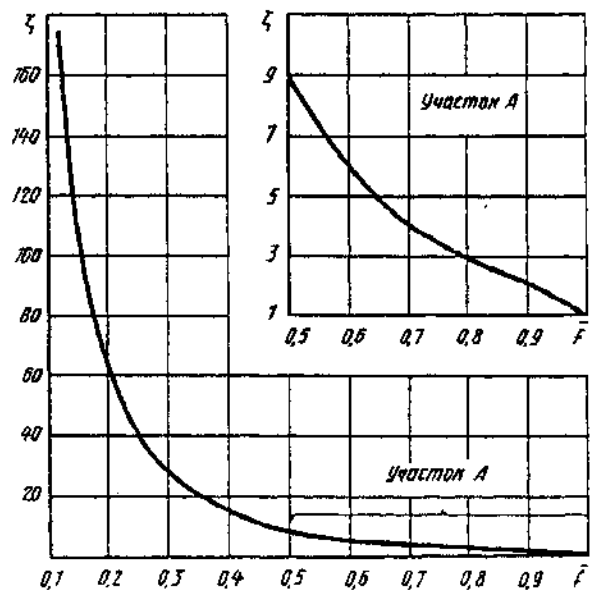
Диаграмма 11-22



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = [1 + 0,5(1 - \bar{f})^{0,75} + 1,41(1 - \bar{f})^{0,375}] \frac{1}{\bar{f}^2}$$

см. график

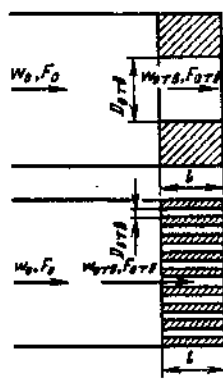
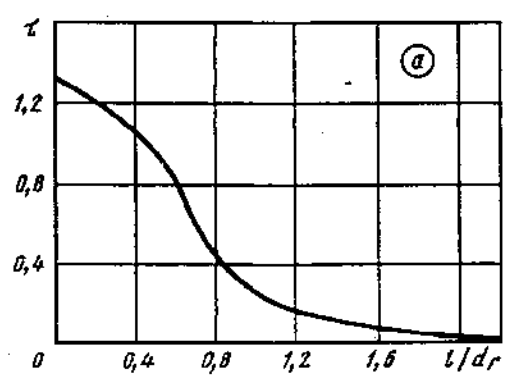
$$d_r = 4 F_{отв} / \Pi_{отв}; \quad \bar{f} = F_{отв} / F_0$$



Выход из прямой трубы через шайбу или плоскую решетку; с острыми краями отверстий ( $l/d_r = 0 \div 0,015$ ); $Re = w_{отв} d_r / \nu \geq 10^5$ [11-16—11-18]								Диаграмма 11-22	
--	--	--	--	--	--	--	--	--------------------	--

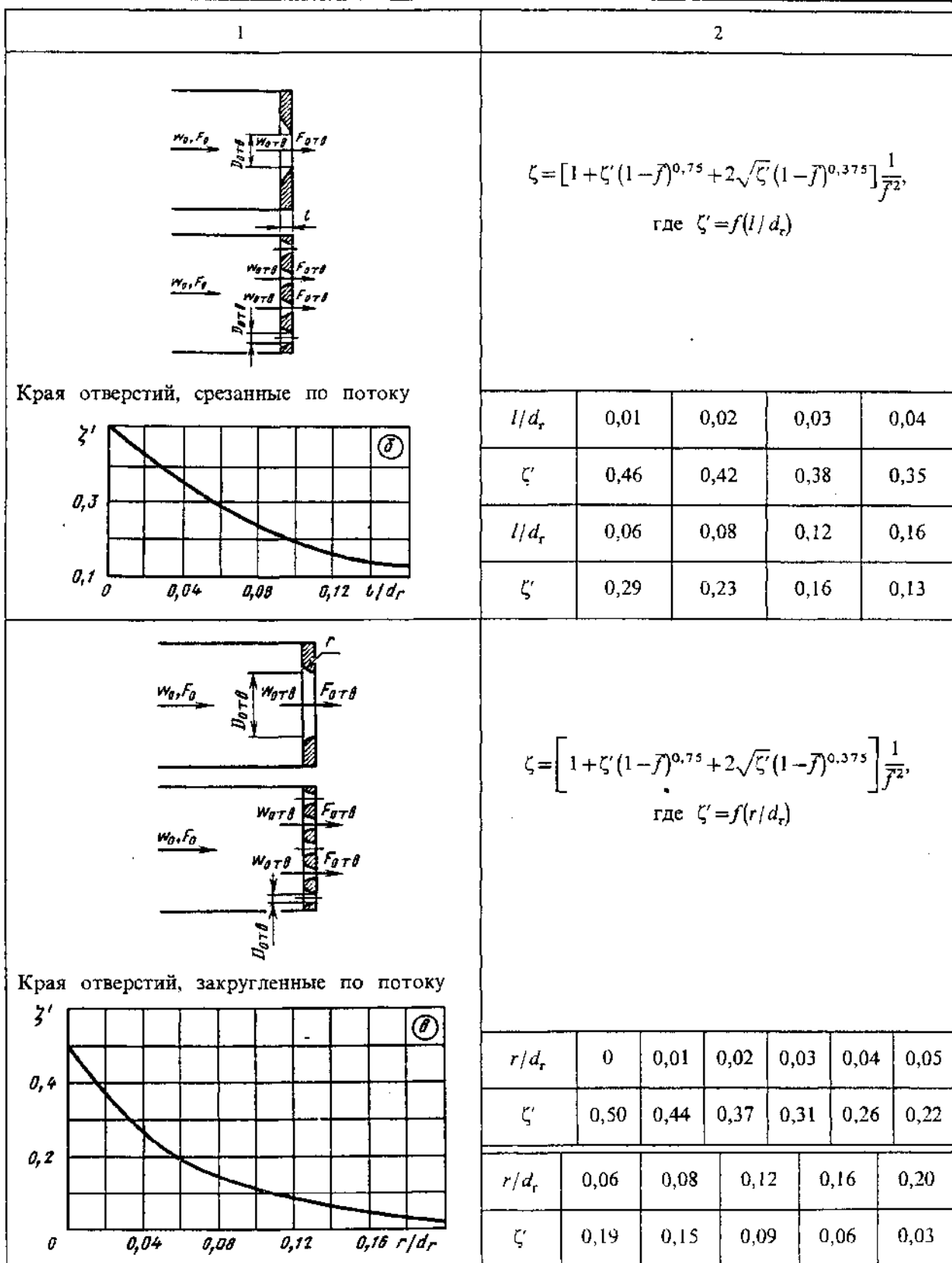
$\bar{f}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45		
$\zeta$	1107	273	119	66	41,4	28,2	20,3	15,2	11,8		
$\bar{f}$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,9	0,95	1,0
$\zeta$	9,30	7,49	6,12	5,05	4,20	3,52	2,95	2,47	2,06	1,63	1,0

Выход из прямой трубы через шайбу или решетку с различными формами краев отверстий; $Re = w_{отв} d_r / \nu > 10^4$ [11-16—11-18]								Диаграмма 11-23	
---	--	--	--	--	--	--	--	--------------------	--

Схема и график	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$																								
1	2																								
<p><math>\bar{f} = F_{отв} / F_0</math>; <math>d_r = 4f_0 / \Pi_{отв}</math></p>  <p>Края отверстий, утолщенные</p> 	<p><math>\zeta = \left[ 1 + 0,5(1 - \bar{f})^{0,75} + \tau(1 - \bar{f})^{0,375} + \lambda \frac{l}{d_r} \right] \frac{1}{\bar{f}^2}</math>, где <math>\lambda</math> см. диаграммы 2-1—2-6; <math>\tau = f(l/d_r)</math></p> <table border="1"> <tr> <td><math>l/d_r</math></td> <td>0</td> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td><math>\tau</math></td> <td>1,35</td> <td>1,22</td> <td>1,10</td> <td>0,84</td> <td>0,42</td> </tr> <tr> <td><math>l/d_r</math></td> <td>1,0</td> <td>1,2</td> <td>1,6</td> <td>2,0</td> <td>2,4</td> </tr> <tr> <td><math>\tau</math></td> <td>0,24</td> <td>0,16</td> <td>0,07</td> <td>0,02</td> <td>0</td> </tr> </table>	$l/d_r$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	$\tau$	1,35	1,22	1,10	0,84	0,42	$l/d_r$	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	$\tau$	0,24	0,16	0,07	0,02	0
$l/d_r$	0	0,2	0,4	0,6	0,8																				
$\tau$	1,35	1,22	1,10	0,84	0,42																				
$l/d_r$	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4																				
$\tau$	0,24	0,16	0,07	0,02	0																				

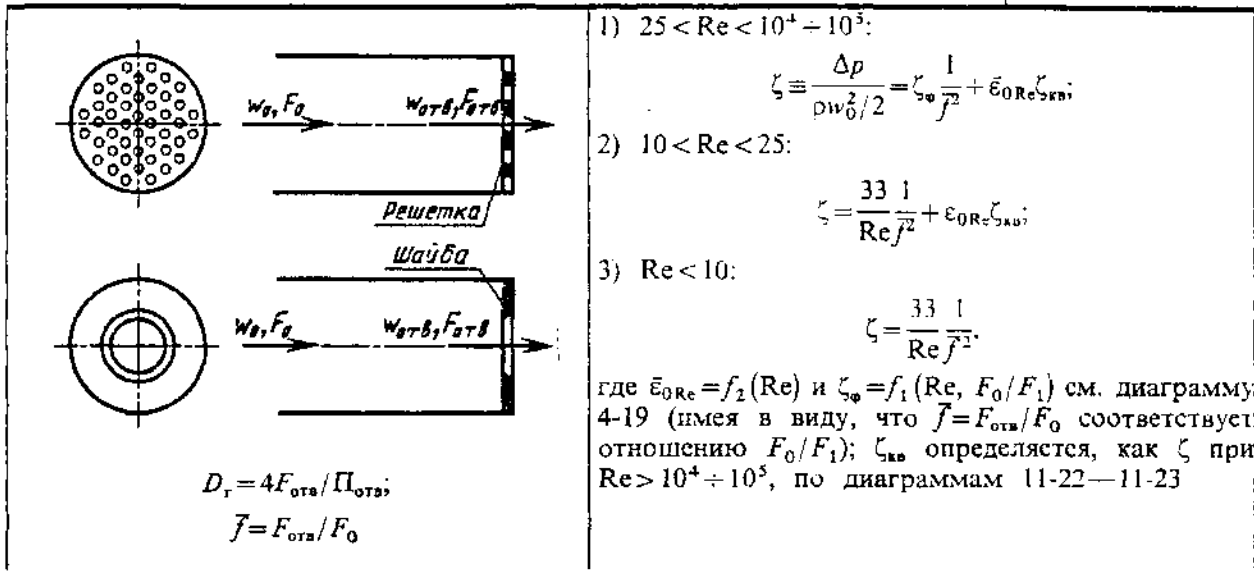
Выход из прямой трубы через шайбу или решетку  
с различными формами краев отверстий;  $Re = w_{отв} d_r / \nu > 10^4$   
[11-16—11-18]

Диаграмма  
11-23



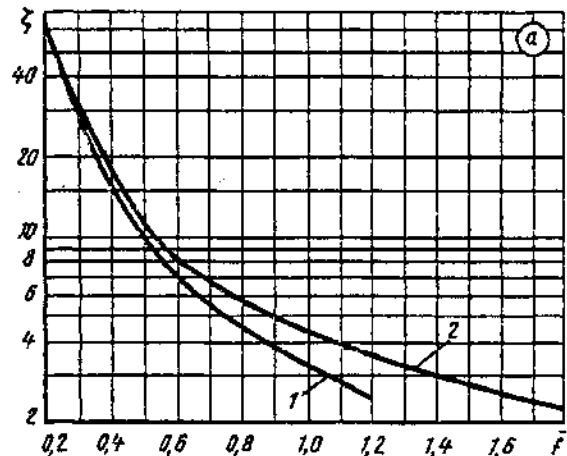
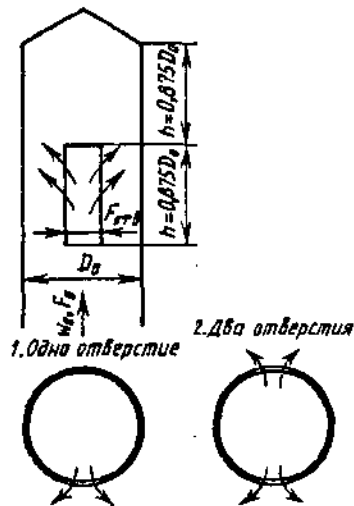
Выход из трубы через шайбу или решетку с различными формами краев отверстий в переходной и ламинарной областях  
 ( $Re = w_{отв} D_r / \nu < 10^4 - 10^5$ , ориентировочно) [11-16—11-18]

Диаграмма  
11-24



Выход (боковой) из последнего отверстия трубопровода круглого сечения (данные автора и [11-36])

Диаграмма  
11-25



$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(\bar{f});$$

$$\bar{f} = F_{\text{отв}}/F_0$$

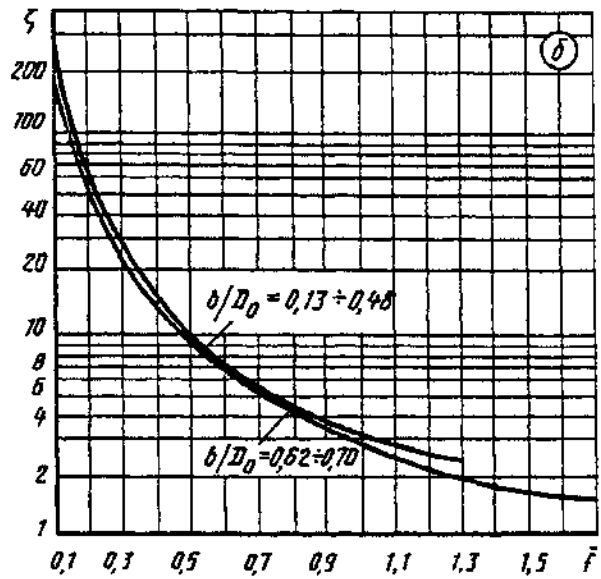
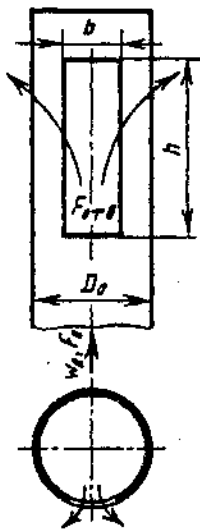
Значения  $\zeta$

Число отверстий	$\bar{f}$												
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Одно (кривая 1)	65,7	30,0	16,4	10,0	7,30	5,50	4,48	3,67	3,16	2,44	—	—	—
Два (кривая 2)	67,7	33,0	17,2	11,6	8,45	6,80	5,86	5,00	4,38	3,47	2,90	2,52	2,25



Выход (боковой) из последнего отверстия трубопровода  
круглого сечения (данные автора и [11-36])

Диаграмма  
11-25

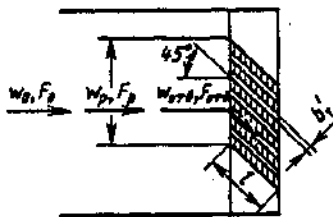


Значения  $\zeta$

$b/D_0$	$f$																
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
0,13	253	63,3	28,1	15,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,26	248	62,0	27,7	15,7	10,2	7,22	5,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,38	244	61,0	27,1	15,5	10,1	7,12	5,36	4,25	3,56	3,00	—	—	—	—	—	—	—
0,48	240	60,0	26,6	15,3	9,90	7,00	5,26	4,17	3,46	2,93	2,93	2,56	2,29	—	—	—	—
0,62	228	57,0	25,6	14,6	9,60	6,80	5,15	4,07	3,36	2,85	2,48	2,22	2,01	1,86	1,73	—	—
0,70	220	55,0	24,8	14,3	9,30	6,60	5,05	4,00	3,31	2,80	2,44	2,18	1,92	1,82	1,69	1,56	1,52

Выход из прямого канала через неподвижную  
жалюзийную решетку [11-39, 11-40]

Диаграмма  
11-26



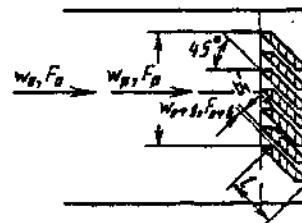
№ 1. Кромки перьев  
срезаны вертикально

1)  $l/b' \geq (l/b')_{\text{огт}}$  [где  $(l/b')_{\text{огт}} \approx 11(1-f)$ ]:

$$\zeta \approx \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \left[ 1 + 0,85 \left( 1 - f \frac{F_p}{F_0} \right) + \zeta_{\text{тр}} \right] \frac{k_1}{f^2} \left( \frac{F_0}{F_p} \right)^2 = k_1 \zeta';$$

2)  $l/b' < (l/b')_{\text{огт}}$ :

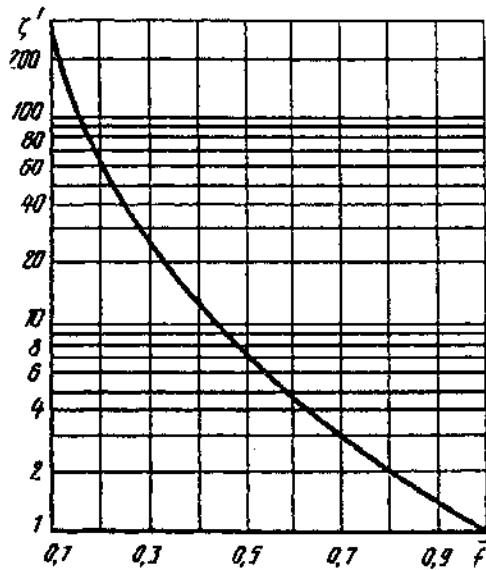
$$\zeta = k_1 \zeta' + \Delta \zeta,$$



№ 2. Кромки перьев  
срезаны горизонтально

Выход из прямого канала через неподвижную жалюзийную решетку [11-39, 11-40]

Диаграмма 11-26



где  $k=1,0$  для № 1;  $k=0,6$  для № 2;  $\Delta\zeta \approx 0,5 [0,5 [11(1-\bar{f}) - 1/b'_1]]$ ;  $\zeta_{гр} = \lambda l/b'_1$ ;  $\lambda$  см. диаграммы 2-1—2-6.

При  $l/b'_1 = (l/b'_1)_{отг}$ ;  $\bar{f} = F_{отг}/F_p = F_{отг}/F_0$  и  $\lambda = 0,064$  (при  $Re = w_0 b'_1 / \nu = 10^3$ ), значения  $\zeta = f(\bar{f})$  см. график

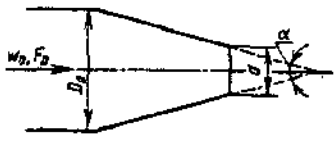
$\bar{f}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\zeta'$	247	55,0	23,8	12,3	7,00
$\bar{f}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta$	4,60	3,00	2,06	1,43	1,00

Выходные участки при различных условиях

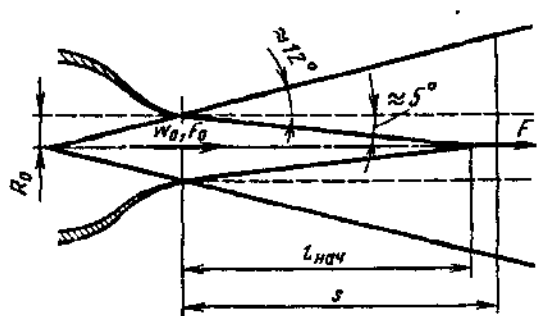
Диаграмма 11-27

Условия выхода	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
Из прямой трубы (канала) с сеткой на выходе		$\zeta = 1 + \zeta_c$ , где $\zeta_c$ определяется, как $\zeta$ сетки, по диаграмме 8-6 (приближенно)
Из тумбочки с сеткой $\bar{f} = \frac{F_{отг}}{F_c} \approx 0,8$		$\zeta = 1,1$ (ориентировочно)
Через штампованную стандартную жалюзийную решетку при $\bar{f} = F_{отг}/F_p \approx 0,8$ с поворотными перьями при их полном открытии		$\zeta \approx 3 \div 3,5$ (ориентировочно)

Выходные участки при различных условиях	Диаграмма 11-27
---	--------------------

Условия выхода	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$
Через штампованные или литые фигурные решетки	Схему см. диаграмму 3-21	$\zeta = f(\bar{f})$ см. диаграмму 11-22 (приближенно)
Через плавно сужающийся насадок (сопло)		$\zeta = 1,05 \left( \frac{D_0}{d} \right)^4$

Струя свободная осесимметричная [11-1]	Диаграмма 11-28
--	--------------------



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = 1 - \bar{e}$$

1. Начальный участок ( $\bar{s} \leq 9$ )\*<sup>1</sup>:  
 $\bar{q} \equiv Q/Q_0 = 1 + 0,073\bar{s} + 0,002\bar{s}^2 - 0,0001\bar{s}^3 + 0,000002\bar{s}^4$ ;  $\bar{e} \equiv 2E/m_0 w_0^2 = 1 - 0,036\bar{s} - 0,0008\bar{s}^2 + 0,00006\bar{s}^3 + 0,000002\bar{s}^4$ ;  
 $\bar{e}_н = (1 - 0,125\bar{s})^2 + 0,54\bar{s}(1 - 0,144\bar{s})K_1 - 0,27\bar{s}K_2$ ;  
 где  $K_1$  и  $K_2$  см. табл. 11-3 или формулы (11-6);  
 $\bar{F}_s \equiv F_s/F_0 = (1 + 0,144\bar{s})^2$ ;  $\bar{w}_m \equiv w_m/w_0 = 1$ .

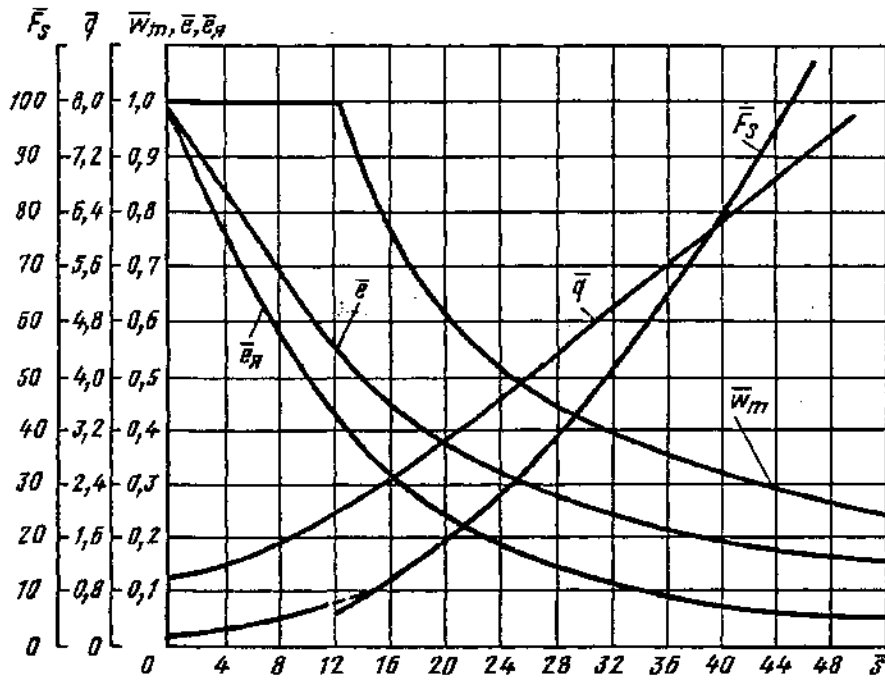
2. Основной участок ( $\bar{s} > 12$ ):  
 $\bar{q} \equiv Q/Q_0 = 0,155\bar{s}$ ;  $\bar{e} = 7,75/\bar{s}$ ;  $\bar{e}_н = 92H_1/\bar{s}$ , где  $H_1$  см. табл. 11-3 или формулу (11-7а);  
 $w_m \equiv w_m/w_0 \approx 12,4/\bar{s}$ ;  $\bar{F}_s = (0,22\bar{s})^2$ ;  $\bar{q}$  — относительный расход через данное сечение струи;  
 $\bar{e}$  — относительный запас энергии в данном сечении струи;  $\bar{F}_s$  — относительная площадь данного сечения струи

Параметры	$\bar{s} \equiv s/R_0$														
	0	2	4	6	9	10	11	12	12,5	15	20	25	30	40	50
$\bar{q}$	1,0	1,15	1,32	1,49	1,76	1,85	1,90	2,0	1,94	2,33	3,10	3,88	4,65	6,20	7,75
$\bar{e}$	1,0	0,93	0,86	0,77	0,67	0,60	0,58	0,55	0,53	0,52	0,39	0,31	0,26	0,19	0,16
$\bar{e}_н$	1,0	0,87	0,76	0,66	0,53	0,50	0,46	0,43	0,41	0,34	0,25	0,18	0,13	0,07	0,05
$\bar{w}_m$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	0,83	0,62	0,50	0,41	0,31	0,25
$\bar{F}_s$	1,0	1,66	2,48	3,48	5,27	6,25	6,5	7,0	7,50	10,9	19,4	30,3	43,6	77,5	121

\*<sup>1</sup> См. сноску к п. 32, параграф 11-1 (с. 508).

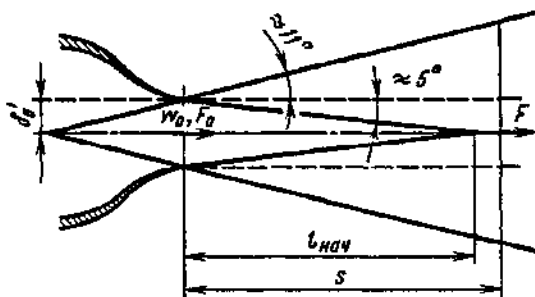
Струя свободная осесимметричная [11-1]

Диаграмма  
11-28



Струя свободная плоскопараллельная [11-1]

Диаграмма  
11-29



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 1 - \bar{e}$$

1. Начальный участок ( $\bar{s} \leq 9$ )\*<sup>1</sup>:

$$\bar{q} \equiv Q/Q_0 = 1 + 0,036\bar{s}; \quad \bar{e} \equiv 2E/(m_0 w_0^2) = 1 - 0,019\bar{s};$$

$$\bar{e}_x = 1 - 0,27\bar{s}(0,416 - K_1),$$

где  $K_1$  см. табл. 11-3 или формулу (11-6а).

2. Основной участок ( $\bar{s} > 12$ )

$$\bar{q} = 0,375\sqrt{\bar{s}}; \quad \bar{e} \approx 3,1/\sqrt{\bar{s}}; \quad \bar{w}_m \equiv w_m/w_0 = 3,8/\bar{s}; \quad \bar{F}_s \equiv F_s/F_0 = 0,22\bar{s};$$

$$\bar{e}_x = 12H_2/\sqrt{\bar{s}},$$

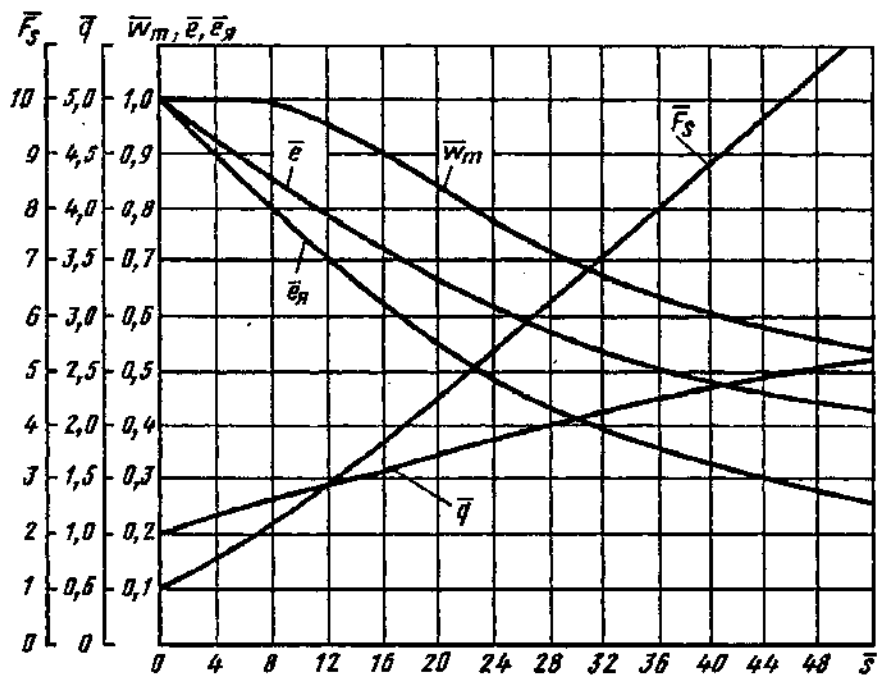
где  $H_2$  см. табл. 11-3 или формулу (11-76); обозначения см. диаграмму 11-28.

\*<sup>1</sup> См. сноску к п. 32, параграф 11-1 (с. 508)

Струя свободная плоскопараллельная [11-1]

Диаграмма  
11-29

Параметры	$\bar{s} \equiv s/b_0$														
	0	2	4	6	9	10	11	12	12,5	15	20	25	30	40	50
$\bar{q}$	1,0	1,07	1,14	1,22	1,32	1,35	1,38	1,40	1,42	1,45	1,68	1,88	2,05	2,372	2,65
$\bar{e}$	1,0	0,96	0,92	0,89	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,73	0,67	0,60	0,55	0,48	0,43
$\bar{e}_n$	1,0	0,95	0,89	0,84	0,77	0,75	0,73	0,71	0,71	0,65	0,55	0,47	0,40	0,33	0,26
$\bar{w}_m$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92	0,85	0,76	0,69	0,60	0,54
$\bar{F}_s$	1,0	1,32	1,63	1,95	2,42	2,50	2,60	2,70	2,90	3,30	4,40	5,50	6,60	8,80	11,0



## РАЗДЕЛ ДВЕНАДЦАТЫЙ

# СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЧЕРЕЗ РАЗЛИЧНЫЕ АППАРАТЫ (КОЭФФИЦИЕНТЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ АППАРАТОВ И ДРУГИХ УСТРОЙСТВ)

### 12-1. ПОЯСНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

#### Газовоздухоочистные аппараты

1. Газовоздухоочистные аппараты можно разделить на несколько групп в соответствии с принципами, на которых основаны процессы очистки газа (воздуха) от взвешенных в нем частиц. Рассмотрим сопротивление инерционных жалюзийных пылеотделителей, циклонов — одиночных, групповых и батарейных, мокрых газоочистных аппаратов, фильтров — пористых и тканевых, электрофильтров.

2. В инерционных жалюзийных пылеотделителях пыль отделяется от газа (воздуха) вследствие того, что поток, разбиваемый лопастями жалюзийной решетки на мелкие струйки, резко поворачивается вокруг этих лопастей (рис. 12-1). При этом возникают центробежные силы, под действием которых частицы пыли выделяются из потока. Этому способствуют удар и отражение частиц от поверхности лопастей решетки.

Степень очистки газа (воздуха) зависит от скорости движения потока в момент подхода к лопастям решетки, от размеров частиц пыли, их плотности, вязкости и плотности газов, радиуса кривизны траектории, описываемой стружкой, проходящей через решетку, а также от конструкции пылеотделителя.

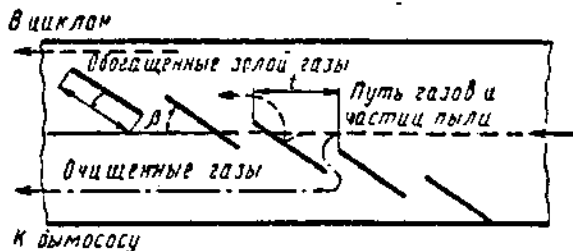


Рис. 12-1. Схема работы жалюзийного пылеуловителя

3. Процесс отделения взвешенных частиц из потока в возвратно-противоточных циклонах основан на использовании сил инерции, возникающих при движении потока в корпусе циклона по спирали — в направлении от тангенциального входа к пылепропускному отверстию в днище корпуса (рис. 12-2). По мере течения по нисходящей (внешней) спирали часть потока с уменьшающейся скоростью направляется к выходной трубе, а взвешенные в нем частицы отбрасываются к стенке корпуса и вместе с остальной частью потока продолжают двигаться к пылепропускному отверстию.

Некоторая часть потока, вращающегося по внешней спирали, проходит через пылепропускное отверстие корпуса в бункер, вынося с собой взвешенные частицы. В бункере

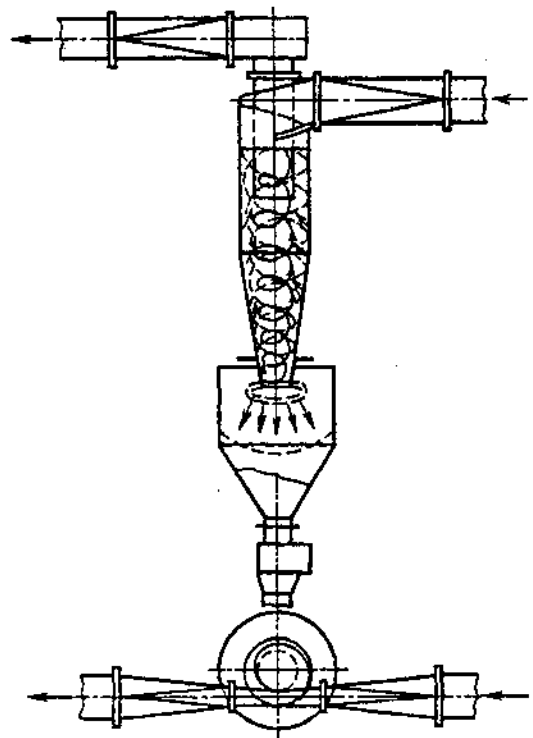


Рис. 12-2. Схема течения в корпусе циклона с раскрывающейся улиткой на выходе

скорость потока постепенно теряется, вследствие чего выпадают взвешенные в нем частицы.

Очищенный поток из бункера входит обратно в корпус циклона через то же пылепропускное отверстие, но по восходящей (внутренней) спирали. Движение потока по этой спирали продолжается до входа в выходную трубу и в самой трубе. При этом по пути очищенный поток присоединяет к себе часть потока, отделяющегося от нисходящей спирали.

4. Степень очистки потока в циклонах зависит от конструкции и размеров циклонных аппаратов, скорости запыленного потока, физических свойств пыли и размеров ее частиц, физических свойств перемещающейся среды, концентрации пыли и от других факторов. Как правило, эффективное улавливание циклонами достигается при размерах частиц более 5 мкм.

5. Пропускная способность (производительность) циклона является прямой функцией его гидравлического сопротивления. Чем меньше коэффициент сопротивления циклона, тем больше его пропускная способность. Теоретически коэффициент сопротивления циклона может быть оценен по методу Л. С. Клячко [12-47] или Е. М. Минского [12-62].

Приведенные в справочнике значения коэффициентов сопротивления циклонов различных типов получены экспериментально.

Для сравнения работы циклонов наиболее характерным является скорость потока в их корпусе, а для расчета целесообразнее оперировать скоростью на входе. Поэтому даются два коэффициента сопротивления циклонов: приведенные к средней скорости на входе  $[\zeta_0 \equiv 2\Delta p / (\rho w_0^2)]$  и к средней скорости по поперечному сечению корпуса  $[\zeta_1 \equiv 2\Delta p / (\rho w_1^2)]$ .

6. При работе циклона в сети, когда движущаяся среда из циклона выходит в газовый тракт через сравнительно длинный прямой участок ( $l/d > 10$ ) диаметром  $d$ , равным диаметру выходного патрубка, к потерям полного давления непосредственно в циклоне прибавляются потери, связанные с раскручиванием и выравниванием потока за циклоном. При этом повышаются также потери на трение, поскольку при вращательном движении увеличивается градиент скорости в пристенной области. Все потери являются неотъемлемой частью «местных» потерь в циклоне.

7. При работе циклона на выход непосредственно в большой объем или окружающую среду потерянной для данного циклона является и вся кинетическая энергия вращающейся среды, выходящей из циклона в большой объем. Эта энергия больше энергии, теряемой в прямом выходном участке при раскручивании струи, примерно на величину кинетической энергии, взятой по средней скорости  $w_{\text{вых}}$  в сечении выходного патрубка.

Поэтому, если для первого случая (циклон в сети)

$$\Delta p_c \equiv \zeta_{1c} \rho w_1^2 / 2,$$

то для второго случая (полные потери)

$$\Delta p_n = \Delta p_c + \rho w_{\text{вых}}^2 / 2 = \Delta p_c + \left(\frac{D_1}{d}\right)^4 \rho w_1^2 / 2,$$

и соответственно

$$\zeta_{1n} = \zeta_{1c} + (D_1/d)^4,$$

где  $\zeta_{1c} \equiv 2\Delta p_c / (\rho w_1^2)$  — коэффициент сопротивления одиночного циклона, работающего в сети;  $\zeta_{1n} \equiv 2\Delta p_n / (\rho w_1^2)$  — коэффициент полного сопротивления одиночного циклона с выходом потока в большой объем.

8. Коэффициент сопротивления циклона  $\zeta_1$  зависит от числа Рейнольдса  $Re = w_1 D_1 / \nu$ , но в отличие от обычного коэффициента трения он возрастает с увеличением  $Re$  в определенных пределах и, наоборот, снижается с уменьшением этого числа. Это означает, что он также возрастает с увеличением скорости потока в циклоне  $w_1$  при постоянных  $D_1$  и  $\nu$  или диаметра циклона при постоянных  $w_1$  и  $\nu$ . Такое изменение  $\zeta_1$  объясняется влиянием сопротивления трения в циклоне на интенсивность вращения потока [12-30, 12-32]. Чем меньше  $Re$ , тем больше коэффициент трения  $\lambda$  и, следовательно, тем большее тормозящее действие оказывают стенки циклона на поток при его вращении. Так как основные потери в циклоне связаны с вращательным движением среды, то уменьшение интенсивности вращения приводит к снижению коэффициента полного сопротивления циклона.

9. На  $\zeta$  влияет и относительная шероховатость стенок циклона, а также относительная величина местных выступов (места сварки, швы и т. п.).

При постоянной абсолютной шероховатости стенок циклона коэффициент сопротивления  $\zeta_1$  с увеличением диаметра циклона возрастает еще более резко, так как при этом снижается относительная шероховатость, а следовательно, уменьшается коэффициент трения и его тормозящее действие.

Для циклонов типа ЦН коэффициент  $\zeta_1$  возрастает с увеличением диаметра циклона практически до  $D_1 = 500$  мм, после чего его можно считать постоянным\*<sup>1</sup>.

10. Повышение концентрации взвешенных в потоке частиц снижает сопротивление цик-

\*<sup>1</sup> Некоторые опыты показывают, что для циклонов других типов, например для циклонов типа СДК, коэффициент сопротивления с увеличением  $D_1$  неуклонно растет.

Технические характеристики типоразмерного ряда циклонов ЦН-15, а также циклонов других типов, не описанных в настоящем справочнике, приводятся в каталоге [12-15].

лона. Это обстоятельство объясняется рядом факторов: уменьшением турбулентности потока при наличии в нем взвешенных частиц; уменьшением части энергии, идущей на транспортирование твердых (или жидких) частиц, и уменьшением доли энергии, идущей на закручивание движущейся среды; эффектом дополнительного торможения вращательного движения среды осаждающимися на стенки циклона твердыми (или жидкими) частицами [12-30, 12-32]. Чем больше в известных пределах концентрация взвешенных в потоке частиц, тем значительно снижается сопротивление циклона\*<sup>1</sup>.

11. Сопротивление циклона существенно снижается при уменьшении закручивания потока в выходном патрубке. Последнее достигается установкой специального раскручивателя (см. схему *a* диаграммы 12-2) перед выходным патрубком или кольцевого диффузора на выходе из патрубка. Кольцевой диффузор эффективен как при работе циклона с выходом потока в большой объем (см. схему *b* диаграммы 12-2), так и при работе в сети (см. схему *в* диаграммы 12-2). Применять вместе раскручиватель и кольцевой диффузор нецелесообразно.

12. Небольшое снижение сопротивления циклона дает также и раскручивающая улитка (см. рис. 12-2 и схему *г* диаграммы 12-2), которая позволяет осуществить одновременно и изменение направления потока на 90°. Для изменения направления потока можно также использовать и обычный отвод (см. схемы *в* и *д* диаграммы 12-2). При установке отвода с углом поворота 90° и  $R_0/d=1,5$  в непосредственной близости от циклона сопротивление последнего не повышается. Только при расположении отвода далеко за циклоном (на расстоянии  $l/d > 12$ ) следует учитывать его дополнительное сопротивление [12-38].

13. Производительность циклона тем выше, чем больше его диаметр, но с увеличением диаметра снижается степень очистки. Поэтому для большого количества очищаемого потока вместо одиночных циклонов больших размеров целесообразнее применять группу циклонов меньших диаметров или батарейные циклоны, которые отличаются от групповых не только значительно меньшими размерами элементов, но и конструкцией. В частности, для обеспечения вращательного движения потока в элементах батарейного циклона устанавливаются специальные направляющие аппараты (розетки с лопастями под углом 25—30°

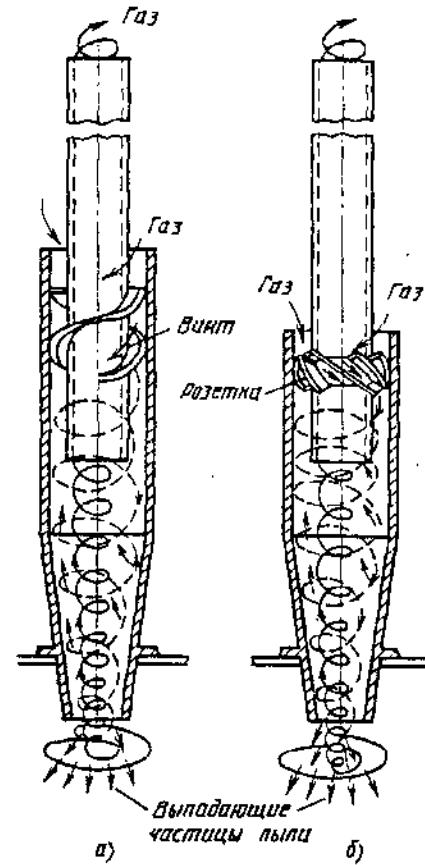


Рис. 12-3. Элементы батарейного циклона: а—с винтообразной лопастью; б—с розеткой

к оси циклона или винтообразные лопасти, рис. 12-3).

14. Общее гидравлическое сопротивление группового, а также батарейного циклона включает в себя сопротивление не только собственно циклонных элементов, но и подводящих и отводящих участков (от сечения 0—0 до сечения 2—2, см. схемы диаграмм 12-5 и 12-6). Кроме того, общее сопротивление учитывает и влияние условий входа в циклонные элементы.

Коэффициенты сопротивления  $\zeta_{1гр}$  группового циклона вычисляются по формулам, приведенным на диаграмме 12-5, а батарейного циклона  $\zeta_{1б}$  — по формулам, приведенным на диаграмме 12-6.

15. Во многих случаях целесообразно применять прямоочные циклоны, которые имеют небольшие габариты при относительно низких коэффициентах сопротивления.

Некоторые типы таких циклонов обеспечивают и достаточно высокие коэффициенты очистки (см. диаграмму 12-7). Эффективность очистки значительно зависит от степени отсоса  $\bar{q} = q/Q$  пылегазовой смеси из бункера циклона (где  $q$  — количество отсасываемой пылегазовой смеси, м<sup>3</sup>/с).

16. На диаграмме 12-7 приведены также оптимальные скорости потока в сечении корпуса прямоочного циклона, при которых

\*<sup>1</sup> Пока затраты энергии на транспортирование взвешенных частиц не станут превышать указанное сопротивление.



достигается практически максимальная эффективность очистки без дальнейшего увеличения этой скорости, а следовательно, увеличения его сопротивления. Наиболее низкий коэффициент сопротивления ( $\zeta = 1,5 \div 1,7$ ) обеспечивает циклон, разработанный С. Е. Бутаковым и Г. М. Барахтенко [12-9].

17. Прямоточные циклоны хорошо компонуются в группы (батареи), особенно циклоны с лопастными закручивателями.

Коэффициент сопротивления батареи прямоточных циклонов остается почти таким же, как и для одиночного циклона.

18. Для повышения степени очистки газа (воздуха) от взвешенных частиц часто применяют мокрые газоочистные аппараты. Улучшение улавливания в мокрых аппаратах достигается орошением газового потока жидкостью, разбрызгиваемой форсунками (соплами), или водяной пленкой, создаваемой на поверхности газоочистного аппарата.

На диаграммах 12-8—12-12 приведены значения коэффициентов сопротивления  $\zeta$  или абсолютные значения сопротивления  $\Delta p$  отдельных типов мокрых газоочистных аппаратов.

19. К мокрым газоочистным аппаратам, обеспечивающим высокий коэффициент очистки, относится и турбулентный промыватель (скруббер Вентури), состоящий из двух основных частей: трубы-распылителя 1 (рис. 12-4), выполняемой в виде трубы Вентури, и каплеуловителя 2. У этого аппарата достигается большая скорость потока в горловине (60—150 м/с).

Жидкость, вводимая в трубу Вентури струями или каплями, благодаря большой скорости газового потока в горловине дробится на мельчайшие капли с большой суммарной площадью поверхности (большим числом частиц в единице объема). Большая скорость, кроме того, повышает турбулентность потока. Эти факторы увеличивают вероятность со-

ударения жидких и твердых частиц в запыленном газе. Следовательно, процесс очистки в таком аппарате можно рассматривать в основном как коагуляционный процесс. Скоагулированные частицы в дальнейшем улавливаются второй частью турбулентного промывателя — каплеуловителем.

20. Коэффициент сопротивления трубы Вентури [12-64, 12-76, 12-83, 12-84, 12-88]

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_r w_r^2 / 2} = \zeta_r + \zeta_{ж} \frac{\rho_{ж}}{\rho_r} m_1,$$

где  $\zeta_r \equiv 2\Delta p_r / (\rho_r w_r^2)$  — коэффициент сопротивления трубы Вентури без жидкостного орошения;  $\zeta_{ж} \equiv 2\Delta p_{ж} / (\rho_r w_r^2)$  — коэффициент сопротивления трубы Вентури, учитывающий влияние орошения потока жидкостью;  $w_r$  — средняя скорость рабочего газа в горловине трубы-распылителя, м/с;  $\rho_r, \rho_{ж}$  — плотность соответственно рабочего газа в горловине трубы-распылителя и орошающей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $m_1$  — удельный расход орошающей жидкости (степень орошения), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

21. Коэффициент сопротивления «сухой» трубы Вентури (без орошения) может быть вычислен по приближенной формуле Ф. Е. Дубинской [12-22, 12-23], полученной на основе обработки экспериментальных данных:

$$\zeta_r = 0,165 + 0,034 l_0 / D_r - 3 \cdot 10^{-3} w_r (0,06 + 0,028 l_0 / D_r), \quad (12-1)$$

где  $D_r$  — гидравлический диаметр горловины трубы Вентури, м;  $l_0$  — длина горловины, м; коэффициент  $3 \cdot 10^{-3}$  — размерный (с/м).

Формула (12-1) применима для труб Вентури как круглого, так и прямоугольного (щелевого) сечения при шероховатости внутренней поверхности не более  $Ra = 3,2$  мкм и верна при  $w_r \leq 150$  м/с и  $0,15 \leq l_0 / D_r \leq 10$ .

22. Коэффициент сопротивления трубы Вентури, учитывающий орошение может быть вычислен по следующим эмпирическим формулам [12-22, 12-23]:

при  $w_r \leq 60$  м/с

$$\zeta_{ж} = 3,5 (l_0 / D_r)^{-0,266} \zeta_r m_1^2; \quad (12-2)$$

при  $w > 60$  м/с

$$\zeta_{ж} = 1,68 (l_0 / D_r)^{0,29} \zeta_r m_1^2, \quad (12-3)$$

где

$$B_1 = 1 - 0,98 (l_0 / D_r)^{0,026}; \quad (12-4)$$

$$B_2 = 1 - 1,12 (l_0 / D_r)^{-0,045}. \quad (12-5)$$

Формулы (12-2) — (12-5) получены для случаев подачи жидкости для орошения форсункой или наконечником в конфузорную часть трубы Вентури круглого или прямоугольного (щелевого) сечения при  $0,15 \leq l_0 / D_r \leq 12$ .

23. Часто по конструктивным и практическим соображениям применяют батарейные турбулентные промыватели, набранные из

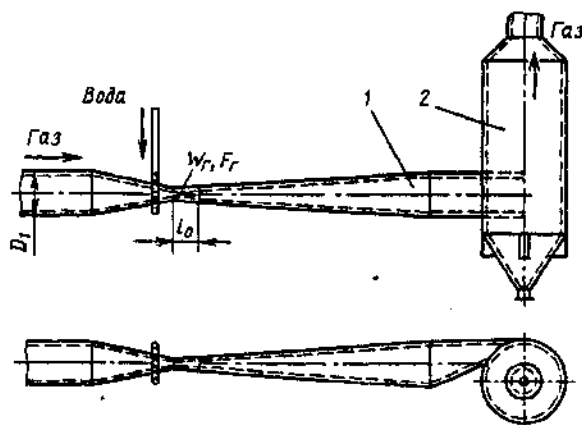


Рис. 12-4. Труба-распылитель (скруббер Вентури):

1 — труба Вентури (распылитель); 2 — каплеуловитель

нескольких десятков мелких труб Вентури. Для вычисления коэффициента сопротивления  $\zeta_{\text{ж}}$  батареи труб Вентури круглого сечения (диаметром  $D_1 \approx 90 \div 100$  мм,  $\alpha_1 \approx 60 \div 65^\circ$ ,  $\alpha \approx 7^\circ$ ,  $l_0/D_1 = 0,15$ ) с орошением, подаваемым в конфузор каждой трубы Вентури с помощью механических форсунок различного типа, Ф. Е. Дубинской [12-22, 12-23] рекомендуется следующая эмпирическая формула:

$$\zeta_{\text{ж}} = 0,215 \zeta_{\text{г}} m_1^{-0,54}$$

24. Гидравлическое сопротивление каплеуловителя определяется в зависимости от выбранного типа этого аппарата.

25. В мокром пылеуловителе с провальными решетками (см. схему диаграммы 12-10) при взаимодействии газа с жидкостью возникают различные гидродинамические режимы: а) смоченной решетки; б) барботажный; в) пенный; г) волновой.

Обычно пылеуловитель работает в пенном режиме.

26. Сопротивление провальной решетки со слоем пены определяется по формуле, предложенной А. Ю. Вальдбергом [12-66, 12-76, 12-88]:

$$\Delta p = 0,5 A^2 \rho_r w_r^2 / \bar{f}^2 + \Delta p_{\sigma},$$

где

$$A = 39 L^{-0,57} (L/G)^{0,7} (\rho_r/\rho_{\text{ж}})^{0,35};$$

$\bar{f} = F_{\text{отв}}/F_p$  — коэффициент живого сечения решетки;  $w_r$  — скорость газового потока в свободном сечении аппарата, м/с;  $L$  и  $G$  — массовый расход соответственно жидкости и газа через единицу поверхности решетки, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\Delta p_{\sigma}$  — гидравлическое сопротивление, вызванное силами поверхностного натяжения, Па.

Для щелевых решеток

$$\Delta p_{\sigma} = 2\sigma/b_{\text{щ}}$$

Для дырчатых решеток (по формуле, предложенной Д. С. Артамоновым)

$$\Delta p_{\sigma} = 4\sigma/(1,3d_{\text{отв}} + 0,08d_{\text{отв}}^2)$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение на границе раздела фаз газ — жидкость, Н/м;  $d_{\text{отв}}$  — диаметр отверстия решетки, м;  $b_{\text{щ}}$  — ширина щели решетки, м<sup>\*1</sup>.

27. Для очистки воздуха, подаваемого в помещение, от относительно крупных частиц (более 10 мкм) применяют масляные фильтры. Воздух в них очищается главным образом в результате инерционной сепарации частиц пыли на поверхности пористого слоя и связывания частиц масляными пленками, создаваемыми на этих поверхностях.

\*1 Технические сведения о других конкретных типах аппаратов мокрой очистки газов приведены в каталоге [12-15].

Гидравлическое сопротивление ячейковых унифицированных фильтров типа Фя приведено на диаграмме 12-13 (ФяР — конструкции Е. В. Рекка, заполнение гофрированной стальной сеткой; ФяП — обработанный пенополиуретаном; ФяУ — фильтрующим материалом ФСВУ — упругим стекловолокном [12-70, 12-77].

28. В рукавных фильтрах газ очищается в результате фильтрации через ткань, задерживающую пыль.

Основные потери давления в рукавных фильтрах происходят в тканевых рукавах; поэтому сопротивление таких фильтров, как правило, может быть оценено на основании данных по сопротивлению различных тканей.

На диаграммах 12-14—12-17 приведены характеристики и сопротивление фильтров различных типов (ФВК, ФРУ, ФРП, ЛАИК, АФА).

Более полные сведения о рукавных и других фильтрах см. каталог [12-15], а также справочник [12-76].

29. К фильтрам тонкой очистки вентиляционного воздуха относятся фильтры, обеспечивающие очистку приточного и вытяжного воздуха, а также воздуха систем кондиционирования и рециркуляции [12-68].

Наиболее распространенной конструкцией вентиляционных фильтров (см. диаграмму 12-16) является конструкция рамочного фильтра ЛАИК, разработанного лабораторией аэрозолей ФХИ им. Л. Я. Карпова.

Сопротивление фильтра ЛАИК в пределах скоростей фильтрации  $w = 0,01 \div 0,1$  м/с примерно в 2 раза больше сопротивления фильтрующего материала ФП (фильтрующий материал И. В. Петрянова), которым снаряжен этот фильтр.

30. В пределах скоростей фильтрации до  $w = 10 \div 20$  м/с для материалов ФП сохраняется пропорциональность сопротивления  $\Delta p$  (Па) скорости  $w$  (м/с):

$$\Delta p = \Delta p_0 w,$$

где  $\Delta p_0$  — стандартное сопротивление, т. е. сопротивление в Па, при скорости  $w = 1$  м/с.

Сопротивление фильтрующих материалов может быть определено по формуле Фукса — Стечкиной (в Па):

$$\Delta p = 9,81 \frac{4w\mu m_1}{a^2 \rho_n (-1,15 \lg \beta - \varepsilon)},$$

где  $m_1$  — плотность волокон;  $\rho_n$  — плотность полимера волокон материала;  $\beta$  — плотность упаковки (доля объема слоя, занятого волокнами);  $a$  — радиус волокон;  $\varepsilon$  — коэффициент, равный 0,75 для параллельных волокон; 0,4 для системы изотропно распределенных волокон, подобных материалам ФП.

Формула справедлива только в том случае, когда радиус волокон фильтра намного больше средней свободной длины пробега молекул газа.

31. Материалы ФП применяются также в аналитических аэрозольных фильтрах АФА, предназначенных для контроля и анализа загрязненности воздуха аэрозольными примесями. Такие фильтры отличаются высокой задерживающей способностью, которая дает возможность улавливать практически все находящиеся в воздухе частицы независимо от их размера.

32. Для улавливания пыли применяются также слоевые фильтры из сыпучего или кускового материала (песок, гравий, шлак, кольца Рашига и др.), фильтры из набора металлических сеток или из специально приготовленных пористых материалов, бумажные фильтры и т. д.

Гидравлическое сопротивление таких фильтров может быть определено по тем же данным, что и для насадок и сеток (см. восьмой раздел).

33. В промышленных электрофильтрах почти всех типов потери давления в основном складываются из потерь входа в рабочую камеру (электрополя); потерь выхода из рабочей камеры (последнего электрополя); потерь при прохождении через межэлектродное пространство (в случае пластинчатого электрофильтра — между осадительными пластинами, а в случае трубчатого электрофильтра — по осадительным трубам).

Общий коэффициент сопротивления установки электрофильтра

$$\zeta \cong 2\Delta p / \rho w_0^2 = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вых}} + \zeta_{\text{к}}$$

где  $\zeta_{\text{вх}}$  — коэффициент сопротивления входного участка аппарата;  $\zeta_{\text{вых}}$  — коэффициент сопротивления выходного участка;  $\zeta_{\text{к}}$  — коэффициент сопротивления рабочей камеры (электрополей) аппарата с осадительными элементами. Все коэффициенты приведены к скорости  $w_0$ .

34. В электрофильтрах так же, как почти во всех технологических аппаратах, поток из подводящего газохода входит в рабочую камеру с внезапным расширением\*<sup>1</sup> (см. схемы диаграммы 12-19), поэтому коэффициент сопротивления входа в случае отсутствия газораспределительных устройств

$$\zeta_{\text{вх}} \cong \frac{\Delta p_{\text{вх}}}{\rho w_0^2 / 2} = N_0 \left( 1 - \frac{2}{3n_1} \right) + \frac{1}{n_1^2} - \frac{4}{3n_1},$$

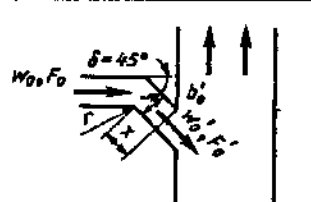
где  $n_1 = F_x / F_0$  — степень расширения аппарата (отношение площади рабочей камеры к входному отверстию);  $N_0 = 1 / F_0 \int_F (w/w_0)^3 dF$  —

коэффициент кинетической энергии, характеризующий распределение скоростей на входе в аппарат.

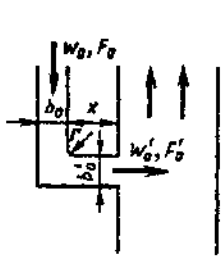
Значения этого коэффициента, а также коэффициента количества движения  $M_0 = 1 / F_0 \int_F (w/w_0)^2 dF$  (грубо ориентировочно) для различных случаев подвода потока к аппарату приведены в табл. 12-1—12-7.

\*<sup>1</sup> В тех случаях, когда поток подводится через диффузор (горизонтальные электрофильтры), можно также считать, что имеет место внезапное расширение, так как угол расширения диффузора, как правило, больше 60—90°.

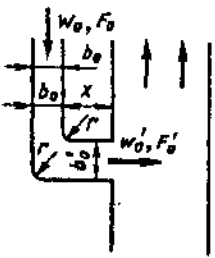
12-1. Колено  $\delta = 45^\circ$ ;  $r/b_0 = 0$

	Коэффициент	$x/b'_0$		
		0—1,2	3,25	$\geq 5,0$
	$M_0$	1,12	1,08	1,02
	$N_0$	1,36	1,25	1,06

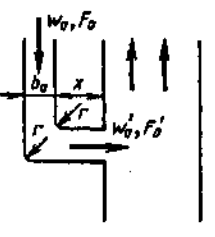
12-2. Колено  $\delta = 90^\circ$ ;  $r/b_0 = 0$ ;  $b'_0/b_0 = 1,0$

	Коэффициент	$x/b'_0$			
		1,2	3,0	6,0	10
	$M_0$	1,80	1,50	1,10	1,02
	$N_0$	3,50	2,80	1,30	1,06

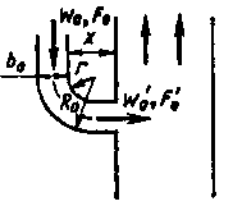
12-3. Колено  $\delta=90^\circ$ ;  $r/b_0=0,1$ ;  $b'_0/b_0=1$

	Кoeffициент	$x/b_0$				
		0—0,5	1,5	3,0	6,0	8,0
	$M_0$ $N_0$	1,40 2,30	1,25 1,75	1,12 1,36	1,06 1,18	1,02 1,06

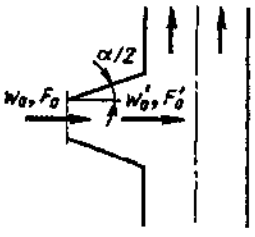
12-4. Колено  $\delta=90^\circ$  с расширением ( $F'_0/F_0=1,3$ );  $r/b_0=0,18$

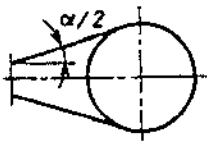
	Кoeffициент	$x/b'_0$				
		0—0,5	1,5	3,0	6,0	10
	$M_0$ $N_0$	1,70 3,20	1,40 2,30	1,25 1,75	1,10 1,30	1,02 1,06

12-5. Отвод  $\delta=90^\circ$ ;  $r/b_0=0,5$ ;  $R_0/b_0=1,5$

	Кoeffициент	$x/b_0$				
		0—0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
	$M_0$ $N_0$	1,25 1,80	1,13 1,40	1,07 1,21	1,03 1,10	1,02 1,06

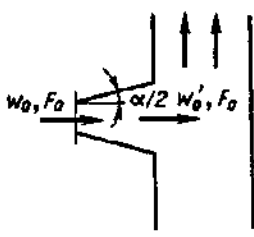
12-6. Диффузор круглого или прямоугольного сечения с расширением в двух плоскостях

	Кoeffициенты	$n_1 = F'_0/F_0$							
		3,0	4,0	6,0	10	3,0	4,0	6,0	10
	$M_0$	$\alpha=6^\circ$				$\alpha=10^\circ$			
		1,15	1,20	1,40	1,25	1,20	1,30	1,90	1,40
	$N_0$	1,45	1,60	2,20	1,75	1,60	1,90	3,70	2,20
	$M_0$	$\alpha=15^\circ$				$\alpha=30^\circ$			
		1,50	1,85	2,30	1,80	2,00	2,50	3,10	2,55
$N_0$	2,50	3,50	4,80	3,40	4,00	5,30	7,20	5,70	



Кoeffициенты	$n_1 = F'_0/F_0$							
	3,0	4,0	6,0	10	3,0	4,0	6,0	10
$M_0$	$\alpha = 45^\circ$				$\alpha = 60^\circ$			
	2,50	2,90	3,90	4,5	2,70	3,30	4,50	5,90
$N_0$	6,00	6,90	9,70	11,5	5,80	8,00	11,5	15,7
$M_0$	$\alpha = 90^\circ$				$\alpha = 180^\circ$			
	2,80	3,75	5,20	7,0	4,00	5,10	7,30	9,00
$N_0$	6,90	9,00	13,5	19,0	10,0	13,0	20,0	25,0

12-7. Диффузор плоский

Кoeffициенты	$n_1 = F'_0/F_0$						Кoeffициенты	$n_1 = F'_0/F_0$							
	1,21	1,40	1,60	1,86	2,07	2,28		3,0	4,0	6,0	10	3,0	4,0	6,0	10
$M_0$	$\alpha^\circ$						$M_0$	$\alpha = 6^\circ$				$\alpha = 10^\circ$			
	2	4	6	8	10	12		1,10	1,15	1,35	1,15	1,12	1,20	1,60	1,30
	1,0	1,07	1,11	1,15	1,20	1,27		$N_0$	1,30	1,45	2,05	1,45	1,36	1,60	2,80
$N_0$	1,0	1,28	1,33	1,45	1,60	1,86	$M_0$	$\alpha = 15^\circ$				$\alpha = 30^\circ$			
$M_0$								1,40	1,50	1,70	1,40	1,80	2,50	2,20	1,80
								$N_0$	2,20	2,50	3,10	2,20	3,40	5,40	4,60
							$M_0$	$\alpha = 45^\circ$				$\alpha = 60^\circ$			
2,00	2,60	2,30	2,00	2,10	2,90	3,70		3,50							
$N_0$	4,00	5,80	4,90	4,00	4,30	7,00	9,00	8,50							
$M_0$	$\alpha = 90^\circ$				$\alpha = 180^\circ$										
	2,25	3,20	4,80	6,60	3,00	4,50	7,00	8,00							
$N_0$	5,10	7,80	13,5	17,0	7,00	11,5	19,0	22,0							

35. Коэффициент сопротивления выхода из аппарата (электрофилтра) через конфузор или выхода с внезапным сужением (см. схемы диаграммы 12-19) может быть определен на основании формулы (3-1):

$$\zeta_{\text{вых}} \equiv \frac{\Delta p_{\text{вых}}}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta' (1 - F_{\text{вых}} / F_0) (F_0 / F_{\text{вых}})^2,$$

где  $\zeta'$  — коэффициент смягчения входа, определяемый, как  $\zeta$  входного участка, по диаг-

раммам 3-1, 3-2, 3-4 и 3-7;  $F_{\text{вых}}$  — площадь узкого сечения выходного участка, м<sup>2</sup>.

36. Коэффициент сопротивления рабочей камеры в виде трубчатого электрофильтра

$$\zeta_k = \zeta_s \equiv \frac{\Delta p_k}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta'_{\text{вх}} + \zeta'_{\text{вых}} + \zeta_{\text{тр}},$$

где  $\zeta'_{\text{вх}} = 0,5(1 - F_2/F_x)(F_0/F_2)^2$  — коэффициент сопротивления входа в осадительные трубы;  $\zeta'_{\text{вых}} = (1 - F_2/F_x)^2(F_0/F_2)^2$  — коэффициент сопротивления выхода из осадительных труб;  $\zeta_{\text{тр}} = \lambda l_2/D_2(F_0/F_2)^2$  — коэффициент сопротивления трения осадительных труб;  $F_2$  — суммарная площадь сечения осадительных труб;  $D_2$  и  $l_2$  — их диаметр и длина.

37. Коэффициент сопротивления пластинчатого электрофильтра может быть определен по формуле автора:

$$\zeta_k = \zeta_s \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = n_x k_x (\zeta_{\text{эл}} + 0,5n_z) (F_0/F_x)^2,$$

где  $\zeta_{\text{эл}}$  — коэффициент сопротивления межэлектродного канала, зависящий от формы осадительных электродов, формы коронирующих электродов и стоек, рамы их крепления; расчеты показывают, что значение этого коэффициента лежит в пределах 0,2—0,3;  $n_z$  — число элементов осадительных электродов в одном электрополе;  $n_x$  — число электрополей;  $k_x \equiv \zeta_{\text{эл}}^{\text{н}} / \zeta_{\text{эл}}^{\text{б}}$  — отношение коэффициента сопротивления межэлектродного канала при наличии коронного разряда к этому коэффициенту при отсутствии коронного разряда; это отношение зависит от скорости газового потока в электрофильтре: чем меньше скорость, тем оно значительнее (рис. 12-5).

38. Во многих аппаратах (не только в электрофильтрах) для равномерной раздачи потока после его входа в рабочую камеру устанавливают газораспределительные решетки. Весь участок от конечного сечения подводящего патрубка до решетки включительно можно рассматривать как единый.

Поток в рабочую камеру большинства промышленных аппаратов может быть подведен по следующим трем основным схемам

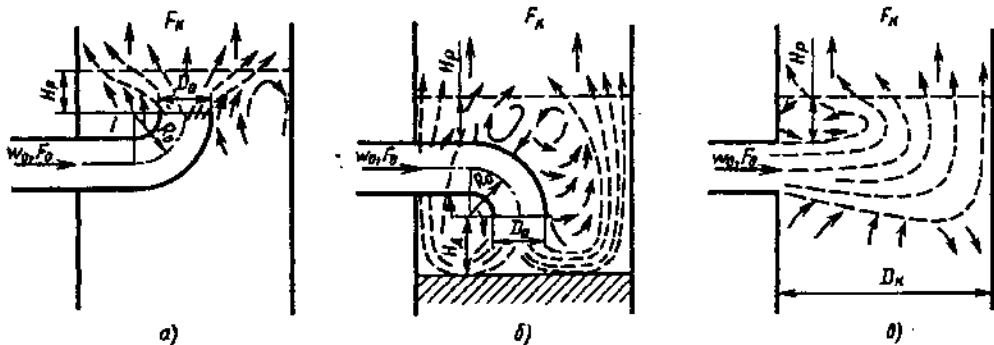


Рис. 12-6. Различные схемы подвода потока к аппаратам:

а — центральное (фронтальное) набегание потока на газораспределительную решетку; б — периферийное набегание потока на газораспределительную решетку; в — боковое набегание потока на газораспределительную решетку

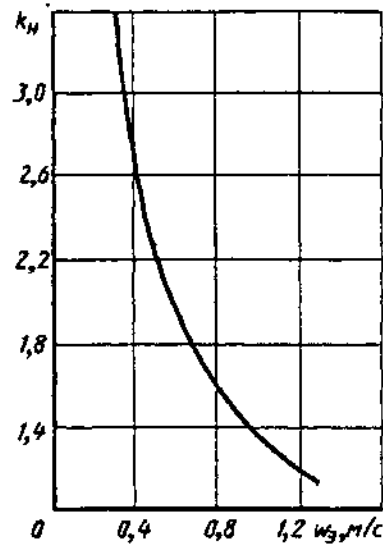


Рис. 12-5. Зависимость коэффициента  $k_x$  от  $w_3$  при длине электрополя  $L=6$  м и электронапряжении 45 кВ [12-87]

набегания потока на решетку: 1) центральное (фронтальное) (рис. 12-6, а); 2) периферийное (рис. 12-6, б); 3) боковое (рис. 12-6, в).

В зависимости от отношения площадей  $F_x/F_0$  применяют или одиночную решетку, или систему последовательно установленных решеток [12-27, 12-28].

39. Коэффициент сопротивления входного участка аппарата при фронтальном набегании потока на решетку\*<sup>1</sup> вычисляется по формуле автора [12-27, 12-28]:

$$\zeta_{\text{вх}} = \zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta'_{0 \text{ отв}} + N_0 + 0,7\zeta_{\text{р}} (F_0/F_x)^2 + \frac{0,013}{(H_p/D_0)^2} \sqrt[3]{\zeta_{\text{р}} - \sqrt[3]{\zeta_{\text{р}}}}, \quad (12-6)$$

\*<sup>1</sup> Имеется в виду не только плоская решетка (перфорированный лист), но и другие виды сопротивления, равномерно распределенные по сечению (различные насадки или слои кускового или сыпучего материала и т. п.).

где  $\zeta'_{0\text{ отв}} = 0,5\zeta_{0\text{ отв}}$ ;  $\zeta_{0\text{ отв}}$  — коэффициент сопротивления отвода, через который поток подводится к решетке; он определяется, как  $\zeta$ , по соответствующим диаграммам шестого раздела;  $\zeta_p$  — коэффициент сопротивления решетки, определяемый, как  $\zeta$ , по диаграммам восьмого раздела;  $H_p$  — расстояние от выходного отверстия подводящего отвода до решетки, м.

Последний член правой части формулы (12-6) следует принимать во внимание только при  $H_p/D_0 < 1,2$ .

40. Коэффициент сопротивления входного участка аппарата при периферийном набегаии потока на решетку [12-27, 12-28]

$$\zeta_{\text{вх}} = \zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \zeta'_{0\text{ отв}} + 0,9N_0 + 0,63\zeta_p \left(\frac{F_0}{F_x}\right)^2 + \frac{0,05}{(H_d/D_0)^2}, \quad (12-7)$$

где  $H_d$  — расстояние от выходного отверстия подводящего отвода до днища аппарата или до экрана (если экран установлен за отводом).

Последний член правой части формулы (12-7) следует принимать во внимание только при  $H_d/D_0 < 1,2$ .

41. Коэффициент сопротивления входного участка аппарата при боковом набегаии потока на решетку [12-27, 12-28]

$$\zeta_{\text{вх}} = \zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = N_0 + 0,7\zeta_p \left(\frac{F_0}{F_x}\right)^2 + 0,1 + (2 - 20H_p/D_x), \quad (12-8)$$

где  $D_x$  — диаметр или большая сторона сечения камеры, м.

Последний член правой части формулы (12-8) следует учитывать только при  $H_p/D_x < 0,1$ .

42. Для системы последовательно установленных решеток в аппарате коэффициенты сопротивления входного участка определяют по формулам (12-6) — (12-8), но вместо  $\zeta_p$  подставляют сумму коэффициентов сопротивления всех решеток системы, приведенных к одной и той же скорости  $w_x$  [12-27]:

$$\sum_{i=1}^{m_p} \zeta_{x.p.i} = \zeta_{x.p.1} + \zeta_{x.p.2} + \dots + \zeta_{x.p.m},$$

где  $m_p$  — количество последовательно установленных решеток.

43. Подвод потока к электрофильтрам часто осуществляется по схемам, представленным на рис. 12-7, а—г. При этом для более равномерного распределения потока и направления его параллельно оси электрофильтра в местах поворота его к рабочей камере (электродам) устанавливают направляющие лопатки (схема НИИОГаза, рис. 12-7, а) или пространственные уголки (схема МЭИ, рис. 12-7, б). В случае фронтального подвода потока к электрофильтру (рис. 12-7, г) для лучшего распределения скоростей в диффузоре устанавливают разделительные стенки (см. рис. 5-19, г и д). При этом значение коэффициента сопротивления входа  $\zeta_{\text{вх}}$  заметно снижается (на 20—30%) по сравнению с тем, что дает расчет по формуле (12-8) [12-34, 12-35]. Технические сведения о конкретных типах электрофильтров приведены в каталогах [12-15, 12-101].

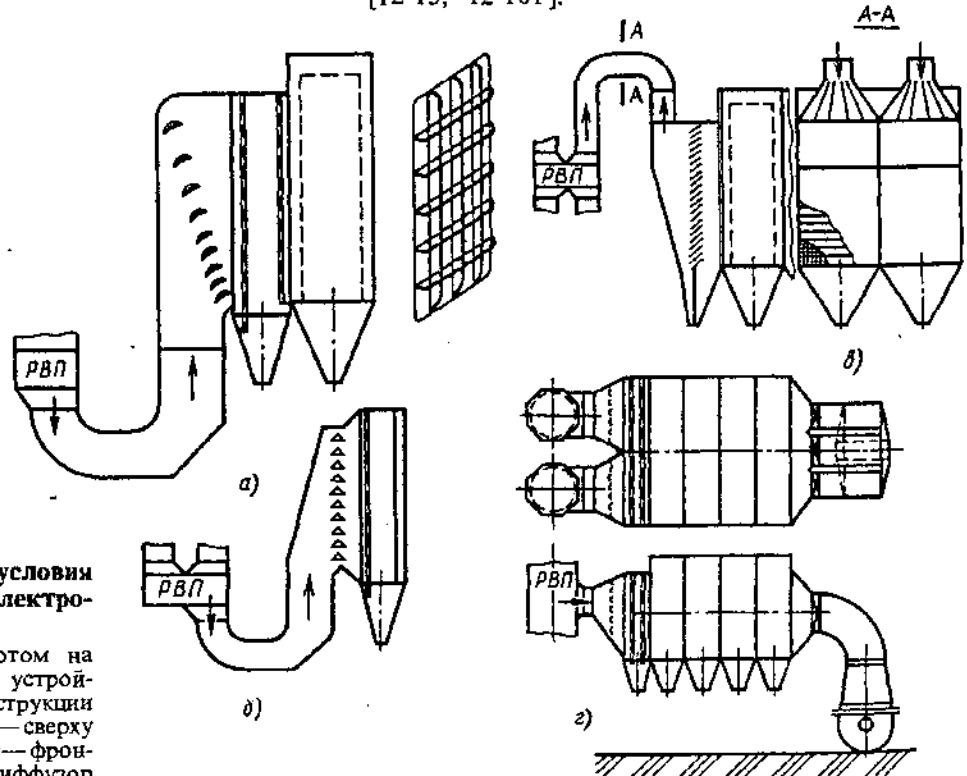


Рис. 12-7. Различные условия подвода потока к электрофильтрам:

а и б — снизу с поворотом на 90°; распределительные устройства соответственно конструкции НИИОГаза и МЭИ; в — сверху с поворотом на 90°; г — фронтальный через двойной диффузор

## Теплообменные аппараты

44. Общие потери давления в сотовых радиаторах, применяемых для охлаждения воздуха, складываются из потерь на вход в трубку радиатора, на трение в трубках и на внезапное расширение потока при выходе из трубок в общий канал. Коэффициент сопротивления сотового радиатора определяется по формуле Н. Б. Марьямова [12-61]:

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{\text{вх}} w_1^2 / 2} = \lambda \left( 3 + \frac{l_0}{d_r} \right) \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 + (F_1 / F_0 - 1)^2 + (1,7 + \lambda l_0 / d_r) (F_1 / F_0)^2 \bar{T} = \lambda (3 + l_0 / D_r) (F_1 / F_0)^2 + \zeta_{\text{вд}} + \Delta \zeta_r,$$

где  $\zeta_{\text{вд}} = (F_1 / F_0 - 1)^2$ ;  $\Delta \zeta_r = (1,7 + \lambda l_0 / d_r) (F_1 / F_0)^2 \bar{T}$ ;  $d_r = 4F_0 / \Pi_0$ ;  $\bar{T} = (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) / T_{\text{вх}}$  — отношение разности температур выходящей и входящей среды к температуре входящей среды;  $\lambda = 2 \Delta p / \rho w_0^2 l_0 / d_r$  — коэффициент сопротивления трения по длине трубки (глубине) радиатора; индексы 0 указывают, что соответствующие величины относятся к трубке радиатора.

45. Для сотовых радиаторов с круглыми и шестигранными трубками коэффициент сопротивления трения [12-61]

$$\lambda = 0,375 \text{Re}^{*-0,1} \bar{\Delta}^{0,4}$$

при  $35 < \text{Re}^* \leq 275$ ;

$$\lambda = 0,214 \bar{\Delta}^{0,4}$$

при  $275 \leq \text{Re}^* \leq 500$ ,

где  $\text{Re}^* = w_{0 \text{ вх}} \Delta / \nu$ ;  $\bar{\Delta} = \Delta / d_r$  — относительная шероховатость трубок радиатора.

46. Общие потери давления в трубчато-ребристых и трубчато-пластинчатых радиаторах складываются из потерь на трение и потерь на сужение и расширение потока при переходе от одного ряда трубок к другому.

Коэффициент сопротивления таких радиаторов [12-60]

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{\text{вх}} w_1^2 / 2} = \left( z_p \zeta_c + \lambda \frac{l_0}{d_r} \right) \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 + (1,7 + \lambda l_0 / d_r) (F_1 / F_0)^2 \bar{T} = (z_p \zeta_c + \lambda l_0 / d_r) \times (F_1 / F_0)^2 + \Delta \zeta_r,$$

где  $\zeta_c = 1,5(1 - F_0 / F_0')^2$ ;  $\Delta \zeta_r = (1,7 + \lambda l_0 / d_r) \times (F_1 / F_0)^2 \bar{T}$ ;  $d_r = 2b_0 h_2 / (b_0 + h_2)$ ;  $F_0$  — площадь самого узкого сечения радиатора (между трубками), м<sup>2</sup>;  $F_0'$  — площадь сечения каналов между пластинками в межрядном участке, м<sup>2</sup>;  $z_p$  — число рядов трубок;  $b_0$  — средний просвет между ребрами или пластинками, м;  $h_2$  — просвет между соседними трубками радиатора, м.

47. Коэффициент сопротивления трения для трубчато-ребристых радиаторов при  $3000 < \text{Re} = w_{0 \text{ вх}} d_r / \nu < 25000$  [12-60]

$$\lambda = 0,77 / \sqrt[3]{\text{Re}}.$$

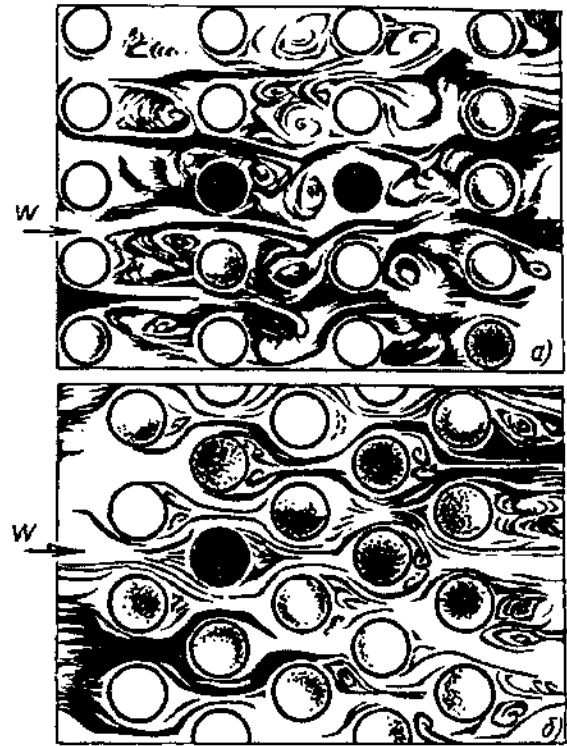


Рис. 12-8. Пучок труб: а — коридорный; б — шахматный

48. Коэффициент сопротивления трения для трубчато-пластинчатых радиаторов [12-60]

$$\lambda = 0,98 / \sqrt[3]{\text{Re}}$$

при  $4 \cdot 10^3 \leq \text{Re} = w_{0 \text{ вх}} d_r / \nu \leq 10^4$ ;

$$\lambda = 0,21 / \sqrt[6]{\text{Re}}$$

при  $\text{Re} > 10^4$ .

49. Сопротивление калориферов аналогично сопротивлению радиаторов (охладителей). Оно складывается также из потерь на вход, на трение и на удар при выходе из узкого сечения между трубками и пластинками калорифера. Основным параметром, которым пользуются при подборе калориферов, является массовая скорость в его живом сечении  $\rho_{\text{ср}} w$  (где  $\rho_{\text{ср}}$  — средняя плотность нагретого воздуха, проходящего через калорифер, кг/м<sup>3</sup>). Поэтому сопротивление калориферов дается в виде зависимости  $\Delta p$  (Па) от  $\rho_{\text{ср}} w_0$  [кг/(м<sup>2</sup>·с)].

Технологические характеристики и конструктивные размеры современных калориферов приведены В. М. Зусмановичем [12-77].

50. Поперечные пучки труб теплообменных аппаратов располагают как в коридорном порядке, так и в шахматном. При течении через пучок труб, расположенных в коридорном порядке, из пространства между трубками первого ряда выходят струйки и, расширяясь, распространяются в межрядном пространстве (рис. 12-8). К основному ряду потока примешиваются присоединенные массы из теневых областей, а подходя ко второму



ряду труб, струйки разделяются. При этом основное ядро проходит во второй ряд трубок, а присоединенные массы образуют замкнутую циркуляцию потока (вихревую зону) в теньевых областях. Схема течения в последующих межрядных пространствах аналогична описанной\*<sup>1</sup>. Таким образом, природа потерь давления в пучке труб сходна с природой потерь в свободной струе [12-1].

51. Значение коэффициентов сопротивления пучков труб зависит от числа рядов и распределения труб, а также от числа Рейнольдса  $Re$ . Скорость потока в них определяют по сжато му сечению газохода, расположенному в осевой плоскости труб перпендикулярно потоку. Коэффициент сопротивления пучка учитывает также и сопротивление входа в ряды труб и выхода из них.

52. Коэффициент сопротивления гладкотрубного шахматного пучка при  $3 \cdot 10^3 < Re_{cp} < 10^5$  вычисляют по следующим формулам [12-6, 12-58]:

1)  $S_1/d_n < 1,44$  и  $0,1 \leq \bar{s} < 1,7$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_0^2_{cp}/2} = \{ 3,2 + 0,66(1,7 - \bar{s})^{1,5} + (13,1 - 9,1 S_1/d_n) [0,8 + 0,2(1,7 - \bar{s})^{1,5}] \} Re_{cp}^{-0,27} (z_p + 1); \quad (12-9)$$

2)  $S_1/d_n \geq 1,44$  и  $0,1 \leq \bar{s} < 1,7$ :

$$\zeta = 3,2 + 0,66(1,7 - \bar{s})^{1,5} Re_{cp}^{-0,27} (z_p + 1); \quad (12-10)$$

3)  $S_1/d_n < 1,44$  и  $1,7 \leq \bar{s} \leq 6,5$ :

$$\zeta = (1,88 - S_1/d_n)(\bar{s} + 1)^2 Re_{cp}^{-0,27} (z_p + 1); \quad (12-11)$$

4)  $1,44 \leq S_1/d_n \leq 3,0$  и  $1,7 \leq \bar{s} \leq 6,5$ :

$$\zeta = 0,44(\bar{s} + 1)^2 Re_{cp}^{-0,27} (z_p + 1); \quad (12-12)$$

5)  $3 < S_1/d_n \leq 10$  и  $\bar{s} > 1,7$ :

$$\zeta = 1,83(S_1/d_n)^{-1,46} Re_{cp}^{-0,27} (z_p + 1), \quad (12-13)$$

где  $w_0_{cp} = w_{вх} T_{cp}/T_{вх}$ ;  $T_{cp} = (T_{вх} + T_{внх})/2$ ;  $\rho_{cp} = 273 \rho_0/T_{cp}$ ;  $Re_{cp} = w_0_{cp} d_n/\nu$ ;  $\bar{s} = (S_1 - d_n)/(S_2 - d_n)$ ;  $z_p$  — число рядов труб по глубине пучка;  $\nu$  принимают по среднеарифметической температуре  $T_{cp}$  (см. параграф 1-2).

Коэффициент сопротивления, приведенный к скорости перед пучком труб, дается через коэффициент  $\zeta$ :

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2/2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2.$$

\*<sup>1</sup> В действительности поток после обтекания первого поперечного ряда труб турбулизуется и тем самым несколько меняются условия обтекания последующих рядов.

53. Коэффициент сопротивления гладкотрубного коридорного пучка при  $3 \cdot 10^3 < Re_{cp} < 10^5$  [12-6, 12-58]\*<sup>1</sup>  $S_1/d_n \leq S_2/d_n$  и  $0,06 \leq \bar{s}_1 \leq 1,0$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_0^2_{cp}/2} = 1,8(S_1/d_n - 1)^{-0,5} \times Re_{cp}^{-0,2} z_p; \quad (12-14)$$

$S_1/d_n > S_2/d_n$ :  
 $1,0 < \bar{s}_1 \leq 8,0$ :

$$\zeta = 0,34(\bar{s}_1 - 0,94)^{-0,59} (S_1/d_n - 1)^{-0,5} \times Re_{cp}^{-0,2/s_1^2} z_p, \quad (12-15)$$

где  $\bar{s}_1 = (S_1 - d_n)/(S_2 - d_n)$ .

При переменных значениях шагов  $S_1$  и  $S_2$ , чередующихся в пределах пучка, сопротивление рассчитывают по их среднему значению.

54. Расчет сопротивления пучков с неравномерными поперечными шагами (рис. 12-9) рекомендуется [12-65] проводить по среднему коэффициенту сопротивления  $\zeta_{cp}$ , определяемому по формуле (12-16) и учитывающему различие как геометрии каналов, так и скоростей омывающего потока в каналах разного сечения.

Формула для определения значения  $\zeta_{cp}$ , приведенного к средней расходной скорости потока, имеет вид

$$\zeta_{cp} = \zeta_y \left[ \frac{F}{F_y + F_m \sqrt{\zeta_y/\zeta_m}} \right] = \zeta_y \left\{ \frac{n_{np} [(s_1/d_n)_{cp} - 1]}{n_y [(s_1/d_n)_y - 1] + n_m [(s_1/d_n)_m - 1] \sqrt{\zeta_y/\zeta_m}} \right\}, \quad (12-16)$$

где  $F$  — осевое сечение поперечного ряда труб для прохода потока;  $n_{np}$  — число проходов между поперечными рядами труб;  $\zeta_y$  и  $\zeta_m$  — коэффициенты сопротивления пучков соответственно с «узкими»  $[(s_1/d_n)_y]$  и «широкими»

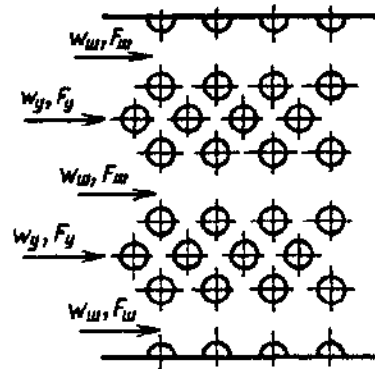


Рис. 12-9. Пучок труб переменного шага

$[(s_1/d_n)_{\text{ш}}]$  поперечными шагами. Последние рассчитываются не только в зависимости от фактических шагов  $s_1/d_n$  и параметров  $\bar{s}$  и соответственно  $\bar{s}_1$ , но и по значению  $Re$ , вычисленному по средней скорости потока.

55. Если в пучке труб имеется теплообмен, то к значениям  $\zeta$ , рассчитанным по формулам (12-9) — (12-16), необходимо прибавить член  $\Delta\zeta_1$ , учитывающий потерю давления на ускорение (замедление) потока в пределах пучка вследствие уменьшения (увеличения) плотности рабочей среды [12-63]:

$$\Delta\zeta_1 = 2(T_{\text{вх}} - T_{\text{вн}})/T_{\text{ср}}$$

(см. п. 33 восьмого раздела).

56. При косом обдуве пучка труб сопротивление его уменьшается [12-42], так как при этом улучшаются условия обтекания труб. Степень понижения сопротивления (коэффициент «направления» потока)  $\psi = \zeta_{\theta}/\zeta_{90^\circ}$  зависит при этом как от угла наклона  $\theta$ , так и от других параметров пучка. Однако для практических расчетов влиянием других параметров можно пренебречь, считая среднее значение  $\psi$  постоянным для каждого угла наклона. Ниже даны средние значения  $\psi$ .

Коридорное расположение пучка труб		Шахматное расположение пучка труб	
$\theta = 60^\circ$ ,	$\psi = 0,82$	$\theta = 60^\circ$ ,	$\psi = 0,80$ ,
$\theta = 45^\circ$ ,	$\psi = 0,54$	$\theta = 45^\circ$ ,	$\psi = 0,57$ ,
$\theta = 30^\circ$ ,	$\psi = 0,30$	$\theta = 30^\circ$ ,	$\psi = 0,34$ .

57. Для увеличения поверхности нагрева (охлаждения) часто применяют ребристые, а также плавниковые трубы.

Коэффициент сопротивления пучка с шахматным расположением ребристых труб (см. схему диаграммы 12-30) [12-6]

$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ср}} w_{\text{ср}}^2 / 2} = c_2 c_s Re_i^{-0,25} z_p,$$

где  $c_2 = f(z_p)$  — поправка на число рядов труб для малорядных пучков ( $z_p \leq 5$ ); при  $z_p \geq 6$   $c_2 = 1,0$  (см. диаграмму (12-30)).

При  $l/d_t = 0,16 \div 6,55$  и  $Re_i = 2,2 \cdot 10^3 \div 1,8 \cdot 10^5$

$$c_s = 5,4(l/d_t)^{0,3}.$$

При  $Re_i > 1,8 \cdot 10^5$

$$\zeta = 0,26(l/d_t)^{0,3} c_2 (z_p + 1),$$

где  $Re_i = w_{0 \text{ ср}} l / \nu$ .

Для труб с круглыми ребрами

$$l = \frac{(D^2 - d_n^2) m_p}{2L\beta} + \frac{(D^2 - d_n^2) m_p}{2d_n L\beta} \times \sqrt{0,785(D^2 - d_n^2)}, \quad (12-17)$$

где  $D$  — диаметр по вершинам ребер (диаметр оребрения), м;  $L$  — длина трубы, м;  $\beta$  — коэффициент оребрения (отношение полной площади поверхности к площади поверхности

гладкой трубы диаметром  $d_n$ );  $m_p$  — число ребер на трубе с общей площадью поверхности  $H_{\text{рб}}$ .

Гидравлический диаметр

$$d_r = \frac{4F_0}{\Pi_0} = \frac{2[S_{\text{рб}}(S_1 - d_n) - 2\delta h]}{2h + S_{\text{рб}}}, \quad (12-18)$$

где  $h$ ,  $\delta$  — соответственно высота и толщина ребер, м;  $S_{\text{рб}}$  — расстояние между средними плоскостями двух соседних ребер, м.

Для труб с квадратными ребрами

$$l = \frac{\pi d_n^2 (S_{\text{рб}} - \delta)}{H/m_p} + \frac{2[(2h + d_n)^2 - 0,785 d_n^2] + 4(2h + d_n)\delta}{H/m_p} \times \sqrt{(2h + d_n)^2 - 0,785 d_n^2}, \quad (12-19)$$

где  $H/m_p = \pi d_n (S_{\text{рб}} - \delta) + 2[(2h + d_n)^2 - 0,785 d_n^2] + 4(2h + d_n)\delta$ ; (12-20)

$H$  — полная площадь поверхности оребренной трубы, м<sup>2</sup>.

58. Коэффициент сопротивления пучка с коридорным расположением ребристых труб [12-6]

$$\zeta \cong \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ср}} w_{\text{ср}}^2 / 2} = c'_2 c'_s Re_i^{-0,08} z_p,$$

где  $c'_2 = f(z_p)$  — поправка на число рядов для малорядных пучков ( $z_p \leq 5$ ); при  $z_p \geq 6$   $c'_2 = 1,0$  (см. диаграмму 12-30). При  $l/d_t = 0,9 \div 11$ ,  $\bar{s}_1 = 0,5 \div 2,0$  и  $Re_i = 4,3 \cdot 10^3 \div 1,6 \cdot 10^5$

$$c'_s = 0,52(l/d_t)^{0,3} \bar{s}_1^{-0,68}.$$

59. Для уменьшения сопротивления поперечно омываемого пучка труб часто применяют обтекаемые трубы. Данные для определения коэффициентов сопротивления обтекаемых и других типов труб в пучке приведены на диаграмме 12-31.

60. В многоходовых теплообменниках поток, поперечно омывающий пучок труб, при переходе из одного хода в следующий поворачивается на  $180^\circ$ . При этом, как и в П-образном колене без пучка труб, после второго поворота потока на  $90^\circ$  у внутренней стенки создается вихревая зона, но несколько меньшая из-за выравнивающего действия пучка труб.

Чтобы повысить эффективность теплообмена, следует по возможности уменьшить или полностью устранить вихревую зону. Для этого на повороте потока устанавливают направляющие лопатки (по дуге окружности). Иногда употребляют устройство [12-102] в виде выдвинутой вперед (в сторону поворотной части) прямой или загнутой против потока перегородки (см. схему диаграммы 12-32).

## Дефлекторы и аэрационные фонари

61. Дефлекторы применяют в тех случаях, когда желательно использовать энергию ветра для усиления вентиляции. Действие ветра заключается в том, что при обдуве им дефлектора на части поверхности дефлектора создается разрежение, способствующее перемещению воздуха из помещения наружу. Полная потеря давления в дефлекторе состоит из потерь в его сети и из потери динамического давления на выходе.

Наибольший интерес представляют дефлекторы типа ЦАГИ, Шанар-Этуаль и Григоровича. Коэффициенты сопротивления этих дефлекторов приведены на диаграмме 12-35.

62. Для естественного удаления загрязненного воздуха из промышленных зданий применяют аэрационные фонари, устанавливаемые на кровле зданий. К наиболее производительным относятся фонарь-здание и фонарь конструкции ЛенПСП, а также фонари КТИС, двухъярусный, Гипротиса и Рюкина — Ильинского. К числу практически незадуваемых можно отнести фонари: прямоугольный с панелями, Батурина — Брандта, ЛенПСП, КТИС, ПСК-2, Гипротиса и фонарь-здание.

Значения коэффициентов сопротивления фонарей различных типов приведены на диаграммах 12-36, 12-37.

Для прямоугольных фонарей с панелями коэффициент сопротивления может быть вычислен по данным В. Н. Талиева [12-80] и И. А. Фрухта [12-92, 12-93]:

$$\zeta \approx 2\Delta p / (\rho w_0^2) = 3(h/l)^2 + 2h/l + a,$$

где  $w_0$  — средняя скорость в проемах фонарей, м/с;  $l$  — расстояние от панели до внешнего края створки, м;  $h$  — высота всех проемов на одной стороне фонаря, м; коэффициент  $a$ , зависящий от угла  $\alpha$  открытия створки, см. диаграмму 12-37.

### Взаимное влияние местных гидравлических сопротивлений

63. В общей гидравлической (воздушной) сети расстояния между следующими друг за другом отдельными фасонными частями, препятствиями, запорными или регулирующими устройствами и т. п. часто бывают небольшими (а иногда и вовсе отсутствуют), и имеющиеся прямолинейные участки недостаточны для стабилизации потока. В этих случаях наблюдается взаимное влияние местных сопротивлений. Вследствие этого изменяется степень деформации потока во втором и последующих элементах. Соответственно изменяется и коэффициент местного гидравлического сопротивления взаимодействующих элементов по сравнению с коэффициентами сопротивления изолированных элементов.

64. В зависимости от вида фасонных частей и других элементов, составляющих рассмат-

риваемую систему (узел), и их взаимного расположения общий коэффициент сопротивления узла может быть больше или меньше суммы изолированных элементов данной системы (узла). Поэтому систему, состоящую из нескольких фасонных частей, других препятствий, соединенных между собой короткими участками [менее  $(10-20)D_0$ ], следует рассматривать как совокупное местное сопротивление, имеющее свой собственный коэффициент сопротивления. Его определение возможно, как правило, только путем эксперимента. Вместе с тем некоторые данные для учета взаимного влияния отдельных фасонных частей и регулирующих устройств приводятся ниже. В частности, на основе исследований по взаимному влиянию запорной арматуры авторы работ [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90] предлагают следующую формулу:

$$\psi = \frac{\zeta_{1+2}}{\zeta_1 + \zeta_2} = \frac{\zeta_\Sigma}{\sum \zeta} = 0,5(2 - \beta), \quad (12-21)$$

где  $\zeta_\Sigma = \zeta_{1+2}$  — суммарный коэффициент сопротивления двух запорных устройств, полученный экспериментально при их совместной работе;  $\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2$  — сумма коэффициентов сопротивления соответственно первого и второго запорных устройств при их изолированной работе;  $\beta$  — коэффициент, зависящий от относительного расстояния  $l/D_0$  между запорными устройствами, определяемый для всех их видов, кроме прямогочного, по формуле [12-74]

$$\beta = 4,17 \cdot 10^{-5} (l/D_0)^2 - 5 \cdot 10^{-3} l/D_0 + 0,15, \quad (12-22)$$

справедливой в диапазоне  $0 \leq l/D_0 \leq 60$  и  $Re = w_0 D_0 / \nu > 500$ .

Для арматуры, по конструкции близкой к прямогочной, предлагается принять [12-69]

$$\beta = 22,2 \cdot 10^{-5} (l/D_0)^2 - 26,7 \cdot 10^{-3} l/D_0 + 0,8. \quad (12-23)$$

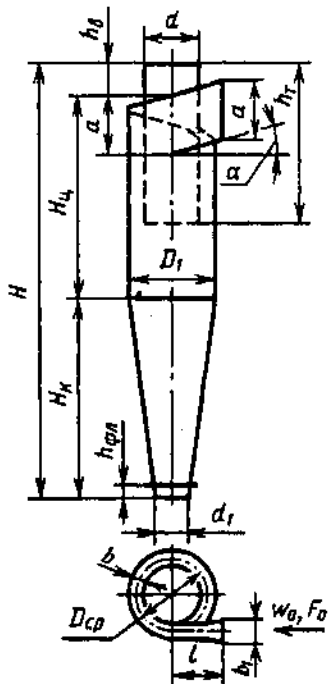
65. По данным тех же авторов, формулы (12-21) — (12-23) с достаточной для практики точностью применимы для учета взаимного влияния и других пар фасонных частей, например, внезапное сужение + запорное устройство; клапан + колено и т. п.

66. Взаимное влияние  $\psi$  для других фасонных частей (тройник + тройник; тройник + арматура; отвод + тройник; тройник + отвод; отвод + отвод; отвод + арматура; арматура + отвод; арматура + тройник и др., [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]), приведено на диаграммах 12-39 — 12-44 в зависимости от основных параметров фасонных частей, относительного расстояния  $l/D_0$  между ними и их взаимной ориентации.

12-2. ДИАГРАММЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Циклоны НИИОГаза типа ЦН (без раскручивающих устройств);  
 $w_1 \geq 3$  м/с [12-28, 12-29, 12-31, 12-33, 12-38, 12-97]

Диаграмма  
12-1



Параметры	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11
	$d=0,59D_1; d_1=0,3-0,4D_1; b=0,2D_1; b_1=0,26D_1; l=0,6D_1;$ $D_{ср}=0,8D_1$ (диаметр по средней линии циклона); $h_{фн}=0,1D_1$			
$\alpha^\circ$	15	15	24	11
$a$	$0,66D_1$	$0,66D_1$	$1,11D_1$	$0,48D_1$
$h_t$	$1,74D_1$	$1,50D_1$	$2,11D_1$	$1,56D_1$
$H_n$	$2,26D_1$	$1,51D_1$	$2,11D_1$	$2,06D_1$
$H_x$	$2,0D_1$	$1,50D_1$	$1,75D_1$	$2,0D_1$
$h_b$	$0,3D_1$	$0,3D_1$	$0,4D_1$	$0,3D_1$
$H$	$4,56D_1$	$3,31D_1$	$4,26D_1$	$4,38D_1$
$\zeta_{1c}(500)$	155	165	75	245
$\zeta_{1n}(500)$	163	170	80	250

$\zeta_{1c}(500) = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2}$  — коэффициент сопротивления циклона диаметром  $D_1 \geq 500$  мм при работе

«в сети» и при незапыленном потоке;  $\zeta_{1n}(500)$  — то же при работе циклона с выходом потока в большой объем.

При меньших  $D_1$  и запыленном потоке

$$\zeta_{1c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_0^2/2} = k_1 k_2 \zeta_{1c}(500); \quad \zeta_{1n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_1^2/2} = k_1 k_2 \zeta_{1n}(500);$$

$$\zeta_{0c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_0^2/2} = \zeta_{1c} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2; \quad \zeta_{0n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_0^2/2} = \zeta_{1n} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2;$$

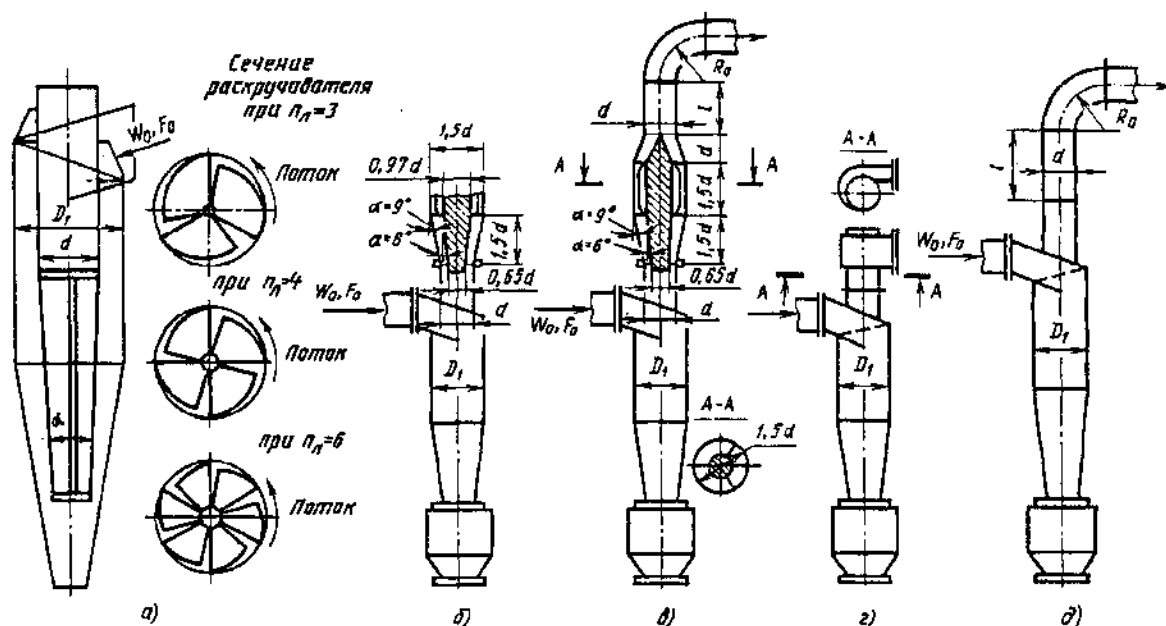
$$w_1 = Q/F_1, \text{ м/с}; \quad F_1 = \pi D_1^2/4; \quad Q — \text{расход, м}^3/\text{с}$$

Значения  $k_1$

Тип циклона	$D_1, \text{ мм}$				
	150	200	300	450	> 500
ЦН-15	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
ЦН-15у	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0

Значения  $k_2$

Тип циклона	Запыленность $\tau \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$						
	0	> 10—20	> 20—40	> 40—80	> 80—120	> 120—150	> 150
ЦН-15	1,0	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-25у	1,0	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,0	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
ЦН-11	1,0	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,86



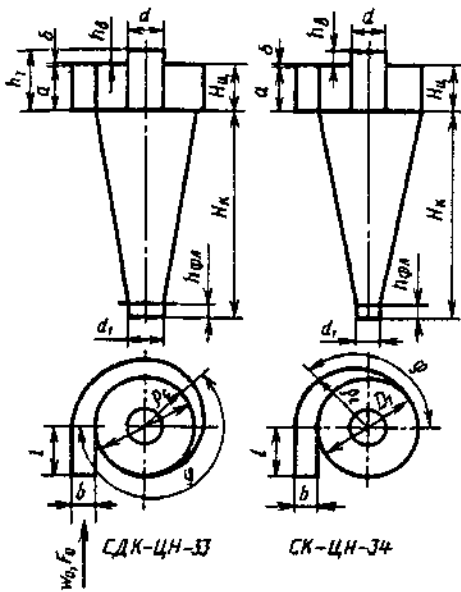
Значения  $\zeta_1$  при  $D_1 = 500$  мм

Тип циклона	С раскручивателем (схема а)		С кольцевым диффузором (схемы б и в)		С выходной улиткой (схема з)	С отводом при $\delta = 90^\circ$ $R_0/d = 1,5$ (схема д)	
	$\zeta_{1c}(500)$	$\zeta_{1n}(500)$	$\zeta_{1c}(500)$	$\zeta_{1n}(500)$	$\zeta_{1c}(500)$	$\zeta_{1c}(500)$ $l/d = 0 \div 12$	$\zeta_{1c}(500)$ $l/d > 12$
ЦН-15	115	121	132	140	150	155	160
ЦН-15у	148	152	140	148	158	165	170
ЦН-24	61	66	64	70	73	75	80
ЦН-11	—	—	207	215	235	245	250

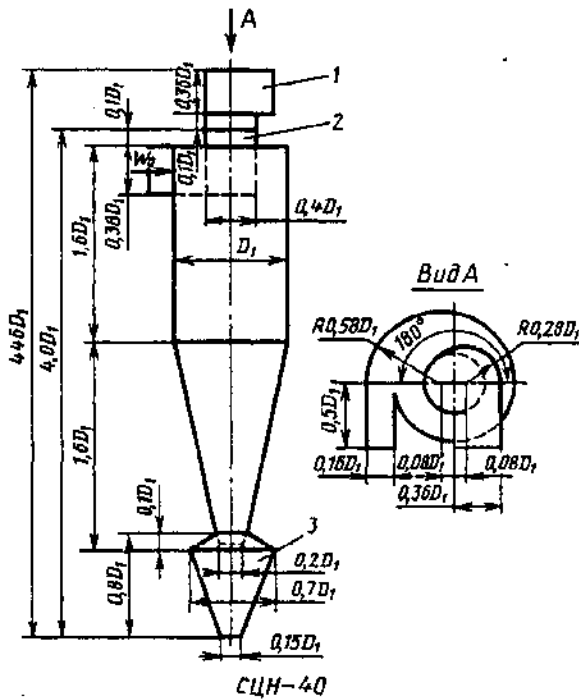
$$\zeta_{1c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_1^2 / 2} = k_1 k_2 \zeta_{1c}(500); \quad \zeta_{1n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_1^2 / 2} = k_1 k_2 \zeta_{1n}(500);$$

$$\zeta_{0c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{1c} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2; \quad \zeta_{0n} = \zeta_{1n} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2,$$

где  $k_1$  и  $k_2$  см. диаграмму 12-1;  $w_1 = Q/F_1$ , м/с;  $F_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$ ;  $Q$  — расход, м<sup>3</sup>/с.



Обозначения	Тип циклона	
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
$H_n$	$0,535D_1$	$0,515D_1$
$H_k$	$3,0D_1$	$2,11D_1$
$d$	$0,334D_1$	$0,340D_1$
$d_1$	$0,334D_1$	$0,229D_1$
$b$	$0,264D_1$	$0,214D_1$
$h_n$	$(0,2—0,3)D_1$	$0,515D_1$
$h_{фп}$	$0,1D_1$	$0,1D_1$
$a$	$0,535D_1$	$(0,2—0,3)D_1$
$l$	$0,6D_1$	$0,6D_1$
$h_T$	$a+h_n+\delta$	$a+h_n+\delta$
$\rho_c$	$D_1/2+b\varphi/(2\pi)$	$D_1/2+b\varphi/\pi$
$\zeta_{1c}(500)$	520	1050
	500 (с улиткой)	—
	560 (с отводом)	—
$\zeta_{1n}(500)$	600	1150



Циклон СЦН-40:  $D_1 = 300 - 1000$  мм  $I^1$  — улитка; 2 — выхлопная труба; 3 — бункер

$$\zeta_{0c} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = 6,9; \quad \zeta_{1c} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2} = 1150;$$

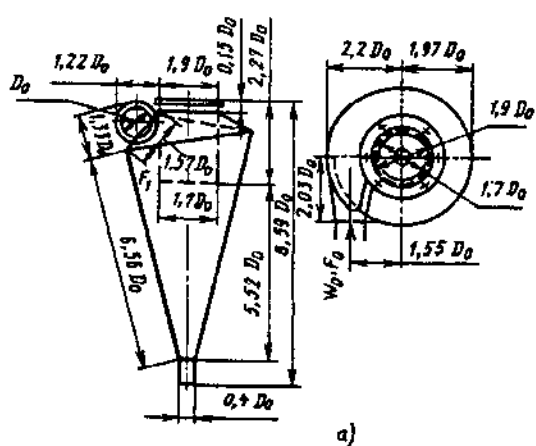
$$\zeta_{1c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_1^2/2} = k_2 \zeta_{1c}(500); \quad \zeta_{1n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_1^2/2} = k_2 \zeta_{1n}(500);$$

$$\zeta_{0c} \equiv \frac{\Delta p_c}{\rho w_0^2/2} = \zeta_{1c} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2; \quad \zeta_{0n} \equiv \frac{\Delta p_n}{\rho w_0^2/2} = \zeta_{1n} \left( \frac{F_0}{F_1} \right)^2;$$

$$w_1 = Q/F_1, \text{ м/с}; \quad F_1 = \pi D_1^2/4; \quad Q — \text{расход, м}^3/\text{с}$$

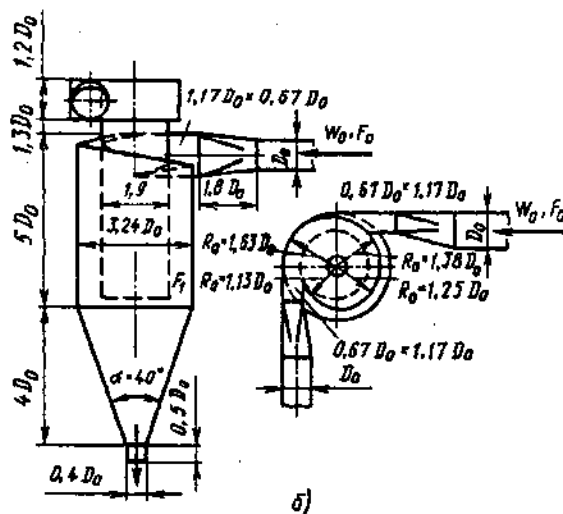
Значения  $k_2$  при запыленности  $z \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>

Тип циклона	0	>10—20	>20—40	>40—80	>80—120	>120—150	>150
СДК-ЦН-33	1,0	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
СК-ЦН-34	1,0	0,98	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90
СЦН-40	1,0	0,98	0,96	0,94	—	—	—



а)

СИОТ (конический)



б)

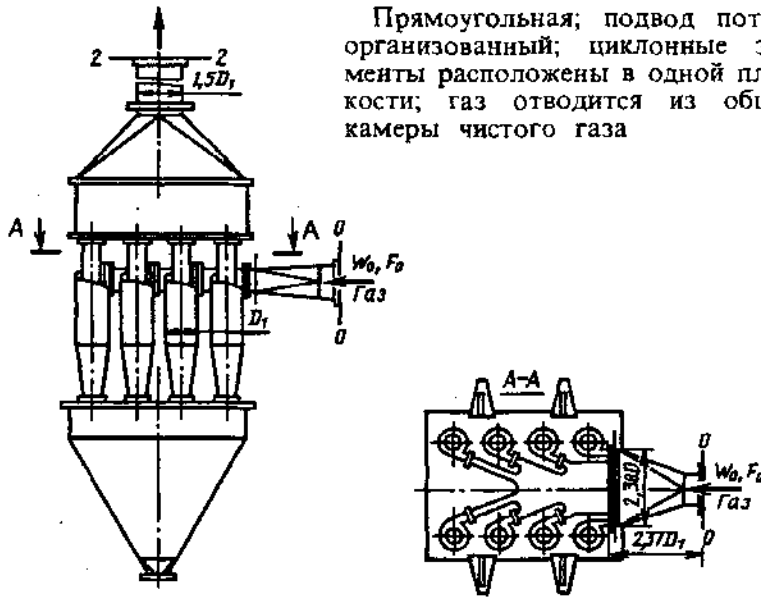
ЛИОТ (укороченный с раскручивающей улиткой)

Тип циклона	Коэффициенты сопротивления		Тип циклона	Коэффициенты сопротивления	
	$\zeta_0 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$	$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$		$\zeta_0 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$	$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$
СИОТ (конический): с улиткой	4,2	—	УЦ-38 ( $D_0=0,7$ м): без улитки	12,5	1990
без улитки	6,0	—	с улиткой	11,7	1800
ЛИОТ (укороченный): с улиткой	3,7	411	4Б ЦШ ( $D_0=0,3$ м): без улитки	3,7	190
без улитки	4,2	460	с улиткой	3,9	200
«Клайпеда» Гипро- древпрома	5,0	—	СЦК-ЦН-38 ( $D_0=0,45$ м): без улитки	11,0	1640
Ц Гипродревпрома	5,4	—	с улиткой	12,8	1920
УЦ-38 ( $D_0=0,6$ м): без улитки	11,9	1730	ВЦНИОТ ( $D_0=0,37$ м): без улитки	9,3	—
с улиткой	10,7	1560	с улиткой	10,4	—
			Т-4/630 ( $D_0=0,63$ м) без улитки	10,1	—

Компоновка циклонов и схема

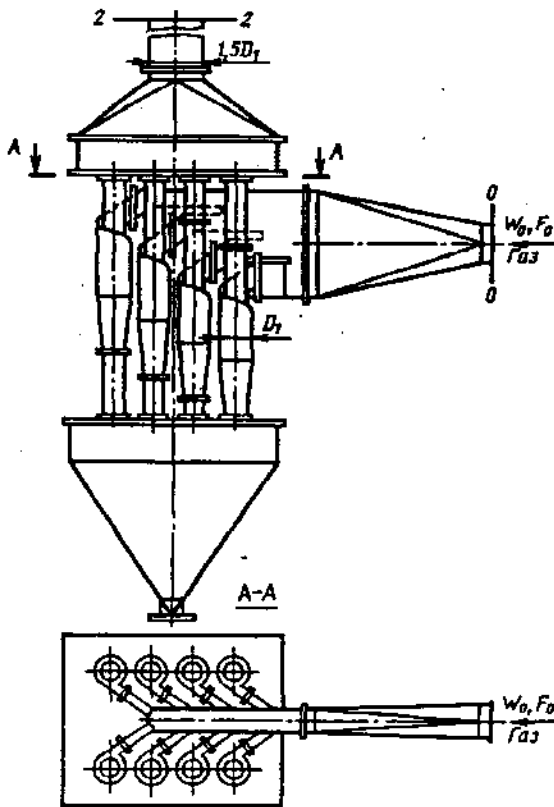
Коэффициент сопротивления  
циклона на участке 0—0—2—2

$$\zeta_{гр} = \frac{\Delta p_{гр}}{\rho w^2 / 2}$$



Прямоугольная; подвод потока организованный; циклонные элементы расположены в одной плоскости; газ отводится из общей камеры чистого газа

Ступенчатая; условия подвода и отвода потока те же, что и в п. 1



$$\zeta_{гр} = k_1 k_2 \zeta_{1c} (500) + 35$$



Циклоны НИИОгаза (групповые) [12-31, 12-97]

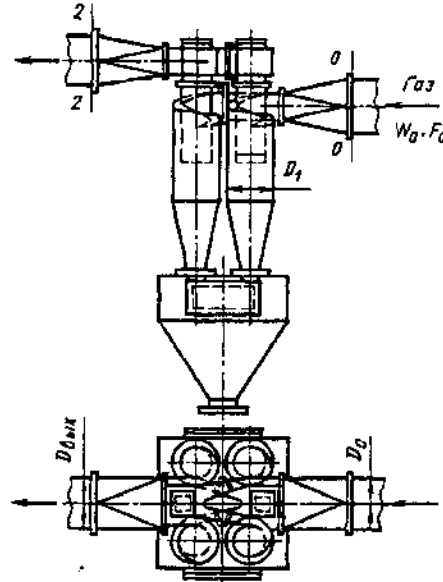
Диаграмма  
12-5

Компоновка циклонов и схема

Коэффициент сопротивления  
циклона на участке 0—0—2—2

$$\zeta_{1гр} = \frac{\Delta p_{гр}}{\rho w_1^2 / 2}$$

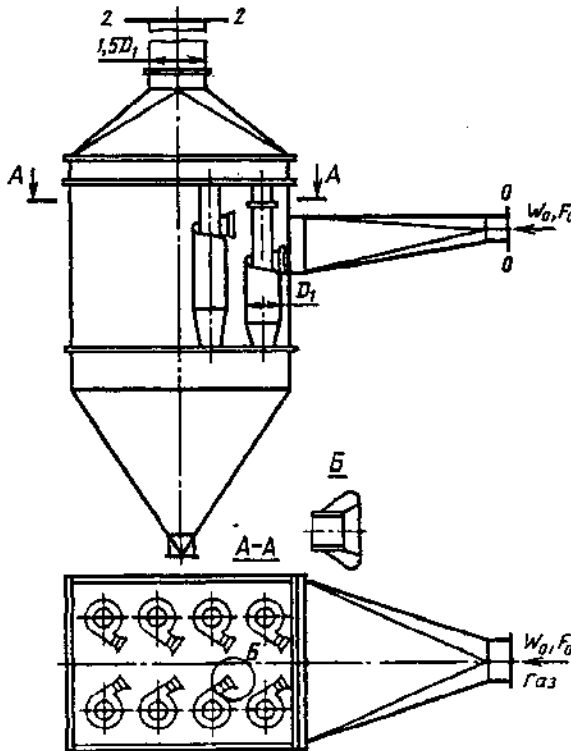
Прямоугольная; усло-  
вия подвода потока те  
же, что в п. I; газ из  
циклонных элементов от-  
водится через улитку



$$\zeta_{1гр} = k_1 k_2 \zeta_{1c} (500) + 28$$

Прямоугольная; поток подводится в общую камеру

$$\zeta_{1гр} = k_1 k_2 \zeta_{1c} (500) + 60$$



Циклоны НИИОгаза (групповые) [12-31, 12-97]

Диаграмма  
12-5

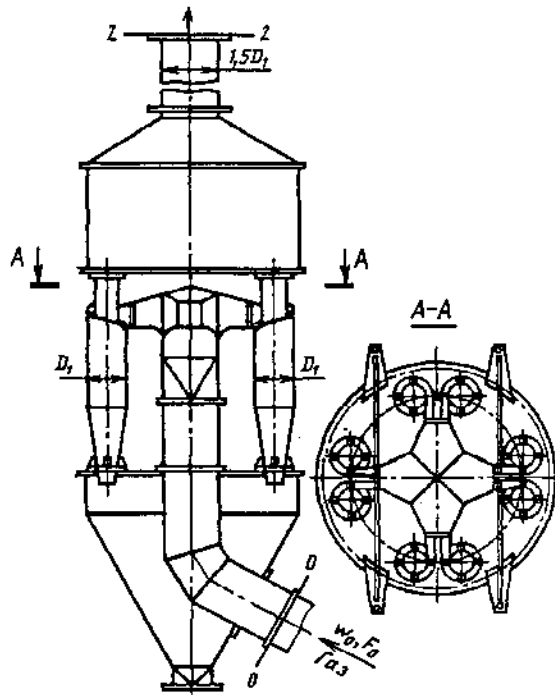
Компоновка циклонов и схема

Коэффициент сопротивления  
циклона на участке 0—0—2—2

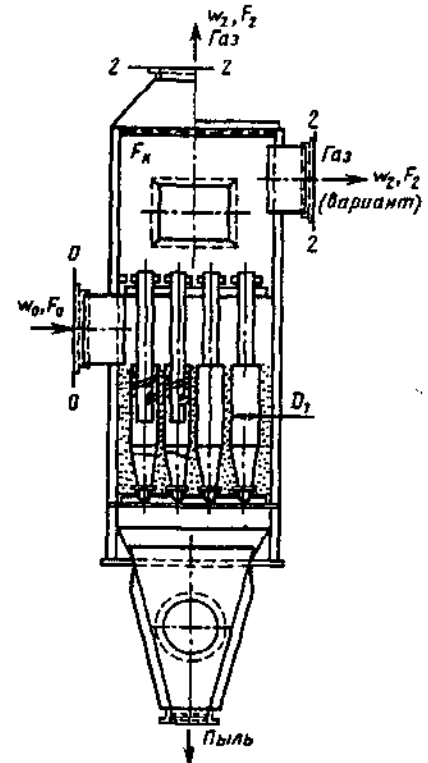
$$\zeta_{1cp} = \frac{\Delta p_{cp}}{\rho w_1^2 / 2}$$

Круговая; газ подво-  
дится снизу

$$\zeta_{1cp} = k_1 k_2 \zeta_{1c}(500) + 60$$





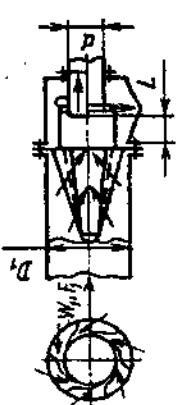
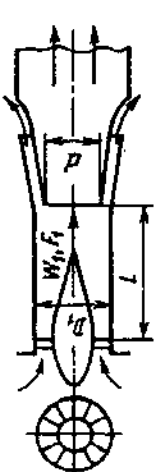
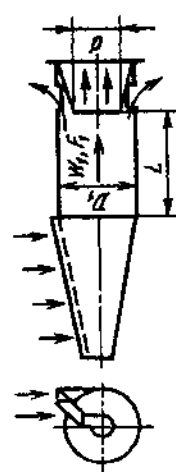
$\zeta_{1c}(500)$  см. диаграммы 12-1—12-3;  $k_1, k_2$  см. диаграмму 12-1 и соответственно диаграмму 12-2;  $w_1 = Q / (m_n F_1)$ , м/с,  $F_1 = \pi D_1^2 / 4$ ;  $m_n$  — число элементов в группе;  $Q$  — суммарный расход, м<sup>3</sup>/с.

Характеристика циклона и схема	Коэффициент сопротивления циклона на участке 0—0—2—2 $\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$
С винтом	$\zeta_1 = 85$
С розеткой: $\alpha = 25^\circ$	$\zeta_1 = 90$
 <p><math>\alpha = 30^\circ</math></p>	$\zeta_1 = 65;$ $w_1 = \frac{Q}{F_1}$
<p>Общий коэффициент сопротивления батарейного циклона на участке 0—0—2—2</p> $\zeta_{1,6} = \zeta_1 + \zeta_{\text{выт}} \left( \frac{F_1}{F_2} \right)^2 = \zeta_1 + \zeta' \left( 1 - \frac{F_2}{F_x} \right) \left( \frac{F_1}{F_2} \right)^2;$ <p><math>\zeta'</math> определяется, как <math>\zeta_1</math>, по диаграмме 3-7:</p> $w_1 = \frac{Q}{m_n F_1}, \text{ м/с}; \quad F_1 = \frac{\pi D_1^2}{4};$ <p><math>F_x</math> — площадь корпуса аппарата; <math>Q</math> — суммарный расход, м<sup>3</sup>/с; <math>m_n</math> — число элементов в батарее.</p>	

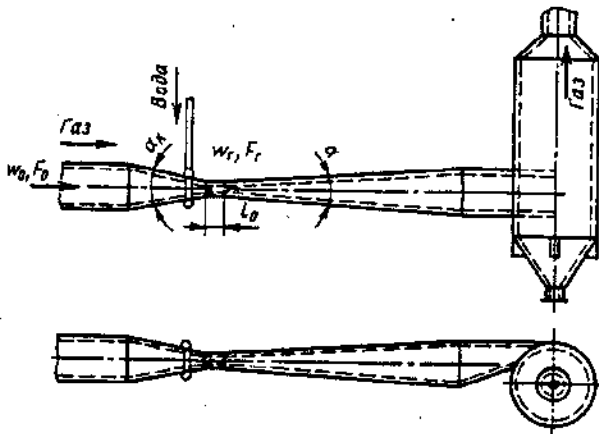
Циклоны (прямоточные) [12-9, 12-25, 12-36, 12-44, 12-46]

Диаграмма 12-7

Характеристика и схема	Основные размеры			Оптимальная средняя скорость потока в корпусе циклона $w_1$ , м/с	Фракционный коэффициент очистки $\eta_{фр}$ % при $\bar{q} = 15\%$ и скорости вращения частиц $w_1$ , м/с						Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2/2}$ при степени отсоса $\bar{q}$ , %				
	$D_1$ , мм	$L = \frac{L}{D_1}$	$\bar{a} = \frac{d}{D_1}$		6	7	8	9	10	0	5	10	15		
														>0,001— -0,008	>0,001— -0,008
1	100	2,5	0,6— -0,7	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Четырехлопастной закручиватель с улиточным выходом пыли (типа НИИОГаза)				11—13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,5	
															
Четырехлопастной закручиватель с пылеотбивной шайбой	350	1,0	0,7	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6—7	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Радиальный закручиватель с пылеотбивной шайбой	150	4,7	0,8	16,4	45	82	93,5	98	100	10,5	8,1	7,1	7,0
													
Шестигрунтовой конический вход с пылеотбивной шайбой (конструкция Бугакова — Баряхтенко)	150	0,73	0,8	16—18	57	86	95	98,5	100	1,7	1,6	1,55	1,5
													
Двадцатиплостный закручиватель с выходом пыли через кольцевой диффузор	50	5,0	0,8	11,8	13	82	98	100	100	—	—	—	1,5
													
Тангенциальный конический вход (типа Америклоп)	100	1,3	0,65	20—24	—	—	—	—	—	—	—	—	5,9
													

Тип циклона	Схема	Оптимальная средняя скорость потока в корпусе циклона $w_1$ , м/с	Расход воды $m_0$ , л/м <sup>3</sup>	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2}$
Бутакова — Барахтенко ЦКТИ «Центргипро- шахта»		20 — 22 4,0 6,0 — 7,0	0,10 0,15 0,12	1,8 13,0 22,0



Одиночная труба Вентури

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_r w_r^2 / 2} = \zeta_r + \zeta_{\text{ж}} \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_r} m_1,$$

$$\text{где } \zeta_r = 0,165 + 0,034 \frac{l_0}{D_r} \left[ 0,06 + 0,028 \left( \frac{l_0}{D_r} \right) \right] \cdot 3 \cdot 10^{-3} w_r;$$

формула верна при  $w_r \leq 150$  м/с и  $0,15 \leq l_0/D_r \leq 10$ ,  
где  $D_r = 4F_0/\Pi_0$ ;  
при  $w_r \leq 60$  м/с

$$\zeta_{\text{ж}} = 3,5(l_0/D_r)^{-0,266} \zeta_r m_1^{\beta_1};$$

при  $w_r > 60$  м/с

$$\zeta_{\text{ж}} = 1,68(l_0/D_r)^{0,29} \zeta_r m_1^{\beta_2};$$

формулы для  $\zeta_{\text{ж}}$  верны при  $0,15 \leq l_0/D_r \leq 12$ ;

$$B_1 = 1 - 0,98(l_0/D_r)^{+0,026} \text{ и } B_2 = 1 - 1,12(l_0/D_r)^{-0,045}$$

см. кривые графика а;  $(l_0/D_r)^{-0,266}$  и  $(l_0/D_r)^{0,29}$   
см. кривые графика б.

Батарея труб Вентури

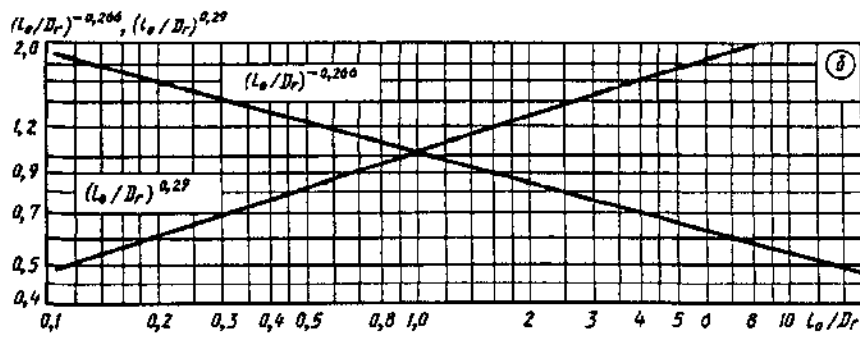
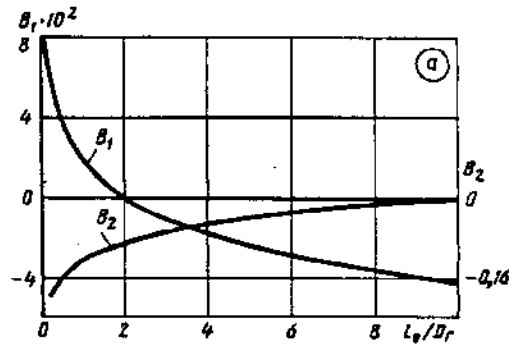
$$\zeta_r \text{ см. п. 1; } \zeta_{\text{ж}} = 0,215 \zeta_r m_1^{-0,54},$$

где  $m_1^{-0,54}$  см. кривую графика в

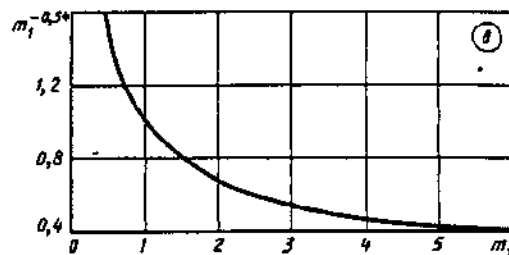
$l_0/D_r$	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
$B_1 \cdot 10^2$	6,7	6,0	5,0	4,3	3,8	3,3	2,6	2,0	1,0
$B_2$	-0,22	-0,21	-0,18	-0,17	-0,16	-0,15	-0,13	-0,12	-0,10
$(l_0/D_r)^{-0,266}$	1,66	1,53	1,38	1,28	1,20	1,15	1,06	1,00	0,90
$(l_0/D_r)^{0,29}$	0,58	0,63	0,70	0,77	0,82	0,86	0,94	1,00	1,12
$l_0/D_r$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
$B_1 \cdot 10^2$	0,2	-0,8	-1,6	-2,2	-2,7	-3,1	-3,4	-3,8	-4,0
$B_2$	-0,09	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01
$(l_0/D_r)^{-0,266}$	0,83	0,75	0,69	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
$(l_0/D_r)^{0,29}$	1,22	1,38	1,48	1,58	1,68	1,76	1,83	1,90	1,95

Турбулентный промыватель (труба Венгури) [12-13, 12-22, 12-23]

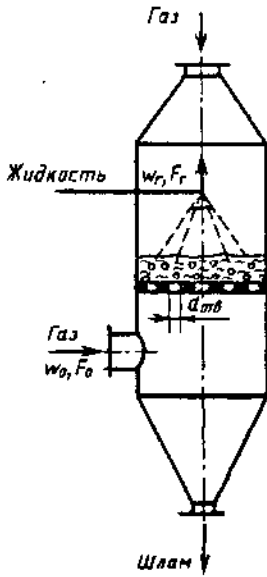
Диаграмма 12-9



$m_1$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$m_1^{-0,54}$	1,64	1,32	1,13	1,00	0,84	0,69	0,55	0,47	0,42	0,38







$$\Delta p = \frac{A^2}{f^2} \cdot \frac{\rho_r w_r^2}{2} + \Delta p_\sigma,$$

где  $A = 39L^{-0.57} \left[ \left( \frac{L}{G} \right)^2 \frac{\rho_r}{\rho_x} \right]^{0.35} = 39a_1 b_1$  (см. график б);  $a_1 = L^{-0.57}$  см.

график а;  $b_1 = \left[ \left( \frac{L}{G} \right)^2 \frac{\rho_r}{\rho_x} \right]^{0.35}$  см. график б;  $\Delta p_\sigma = \frac{4\sigma}{1,3d_{отв} + 0,08d_{отв}^2}$

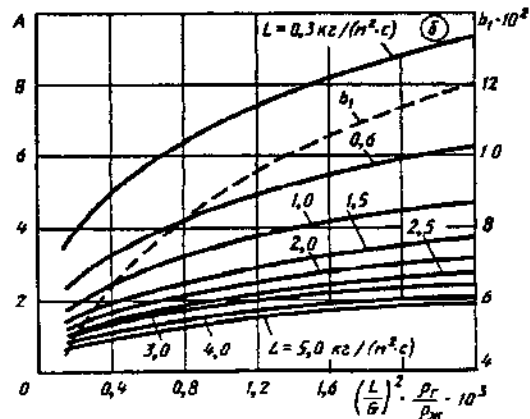
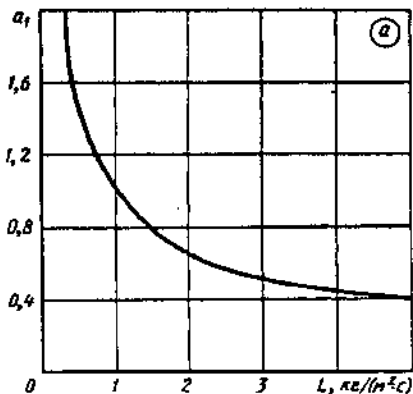
для решеток с круглыми отверстиями;  $\Delta p_\sigma = \frac{2\sigma}{b_{ш}}$  — для щелевых

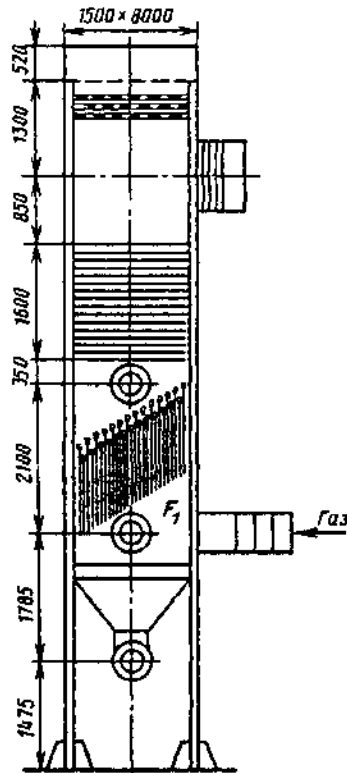
решеток;  $G$  — массовый расход газа через единицу поверхности решетки, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $L$  — массовый расход жидкости через единицу поверхности решетки, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $d_{отв}$  — диаметр отверстия решетки, м;  $b_{ш}$  — ширина щели решетки, м;  $f = F_{отв}/F_p$  — коэффициент живого (свободного) сечения решетки;  $w_r$  — скорость газового потока в свободном сечении аппарата, м/с;  $\sigma$  — поверхностное натяжение на границе фаз газ-жидкость, Н/м<sup>2</sup>.

$L$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,3	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$a_1 = L^{-0.57}$	1,99	1,34	1,00	0,79	0,67	0,59	0,53	0,49	0,45	0,42	0,40

Значения  $A$  при  $L=0,3 \div 5,0$  кг/(м<sup>2</sup>·с)

$\left( \frac{L}{G} \right)^2 \cdot \frac{\rho_r}{\rho_x} \cdot 10^3$	0,15	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$b_1 \cdot 10^2$	4,59	6,47	8,24	9,50	10,5	11,4	12,1
$L=0,3$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	3,55	5,01	6,38	7,36	8,13	8,83	9,37
0,6	2,40	3,38	4,30	4,96	5,48	5,95	6,31
1,0	1,79	2,52	3,21	3,70	4,10	4,45	4,72
1,5	1,42	1,99	2,55	2,94	3,25	3,54	3,74
2,0	1,21	1,70	2,16	2,50	2,76	3,00	3,18
2,5	1,06	1,50	1,91	2,20	2,43	2,64	2,80
3,0	0,95	1,35	1,72	1,98	2,19	2,38	2,52
3,5	0,88	1,23	1,57	1,81	2,01	2,18	2,31
4,0	0,80	1,13	1,46	1,68	1,86	2,02	2,14
4,5	0,75	1,06	1,36	1,57	1,74	1,88	2,00
5,0	0,71	1,01	1,28	1,48	1,64	1,78	1,9

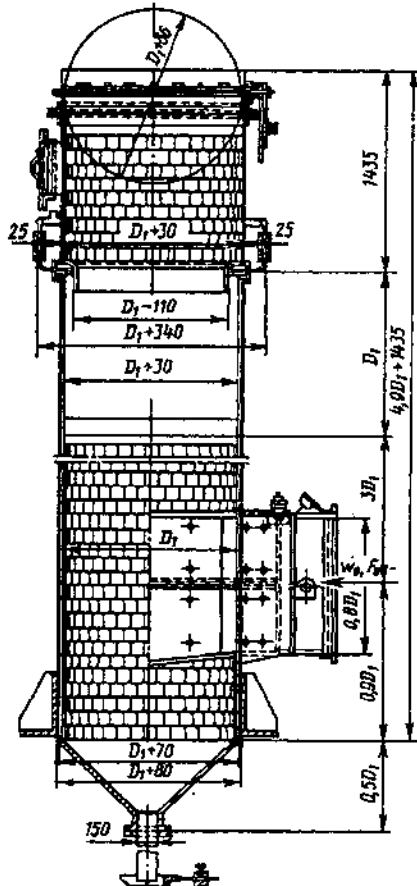




Плотность орошения  $A \approx 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

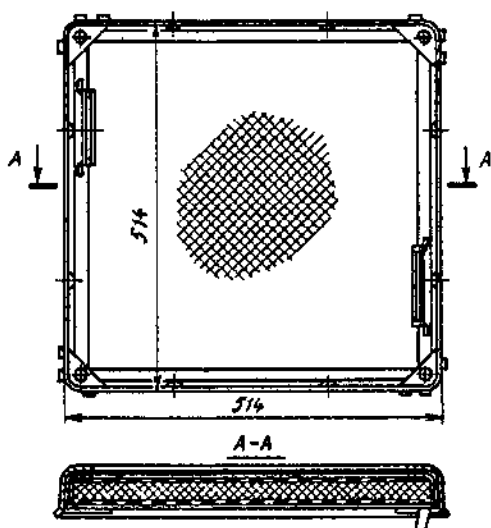
$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = 960;$$

$$w_1 = \frac{Q}{F_1} \quad (F_1 \text{ — площадь полного сечения корпуса скруббера)}$$



$$\zeta_0 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(D_0)$$

$D_0, \text{ м}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Расход воды на орошение, кг/с	0,22	0,28	0,33	0,39	0,45
$\zeta_0$	3,38	3,17	3,04	2,94	2,87
$D_0, \text{ м}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Расход воды на орошение, кг/с	0,50	0,56	0,61	0,70	0,78
$\zeta_0$	2,81	2,76	2,72	2,68	2,65



Характеристика	Тип фильтра			
	ФяР	ФяВ	ФяП	ФяУ
Площадь рабочего сечения $F$ , м <sup>2</sup>	0,22	0,22	0,22	0,22
Пропускная способность $Q$ (м <sup>3</sup> /с) при удельной нагрузке $q=2$ м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	0,43	0,43	0,43	0,43
Сопротивление $\Delta p$ чистого фильтра, Па	39	49	59	29,5
Пылеемкость $z_n$ фильтров ФяР, ФяП и ФяВ (при увеличении сопротивления в 2 раза) и ФяУ (при увеличении сопротивления $\Delta p$ от 30 до 40 Па), кг/м <sup>2</sup>	1,5	2,0	0,2	0,3
Эффективность очистки (по методу НИИСТ) $\eta_n$ , % не более	80	80	80	80
Масса, кг	7,9	4,3	3,3	3,0

Зависимость  $\Delta p$  от  $q$  и  $z_n$  для отдельных фильтров — см. графики а и б.

Кривые 1 относятся к фильтрам типа ФяР с заполнением пяти сеток ячейками размером 2,5 мм; четырех сеток — ячейками размером 1,2 мм и трех — ячейками размером 0,63 мм; кривые 2 — к фильтрам типа ФяВ; кривые 3 — к фильтру ФяП, материал — пенополиуретан (ППУ) ( $\alpha$  — толщина слоя 10 мм,  $\beta$  — 20 мм,  $\gamma$  — 40 мм) и к фильтру ФяУ, материал — упругое стекловолокно (ФСВУ, кривая 3а).

$$z_n = 0$$

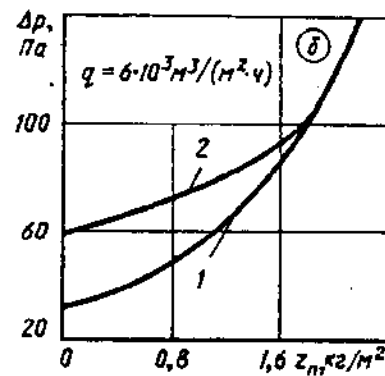
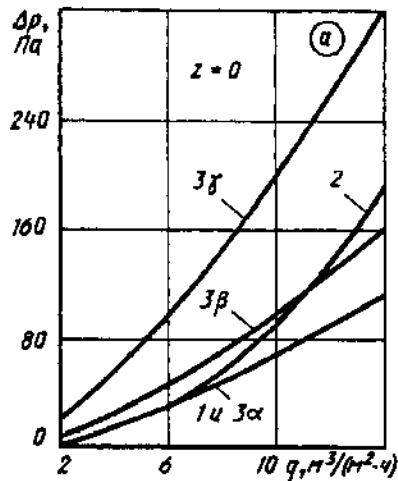
$q$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$
$q$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9
$\Delta p$ , Па (кривые 1 и 3а)	14,7	29,4	49,0	68,7	88,3	108
$\Delta p$ , Па (кривая 2)	14,7	29,4	58,8	88,3	137	187
$\Delta p$ , Па (кривая 3б)	24,5	49,0	73,5	98,1	132	162
$\Delta p$ , Па (кривая 3г)	58,8	98,1	147	196	255	314

$$q = 6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

$z_n$ , кг/м <sup>2</sup>	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,2
$\Delta p$ , Па (кривая 1)	34,3	39,2	49,0	63,7	83,3	118	137
$\eta_n$ , %	82	82	83	83	84	85	85
$\Delta p$ , Па (кривая 2)	58,8	63,7	68,7	78,5	88,3	—	—
$\eta_n$ , %	76	76	76	76	76	—	—

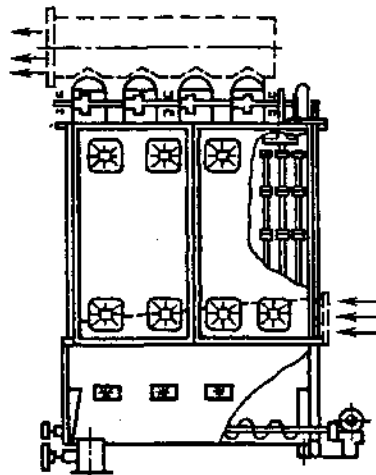
Фильтры (ячейковые, унифицированные) типа Фя  
[12-70, 12-76]

Диаграмма  
12-13

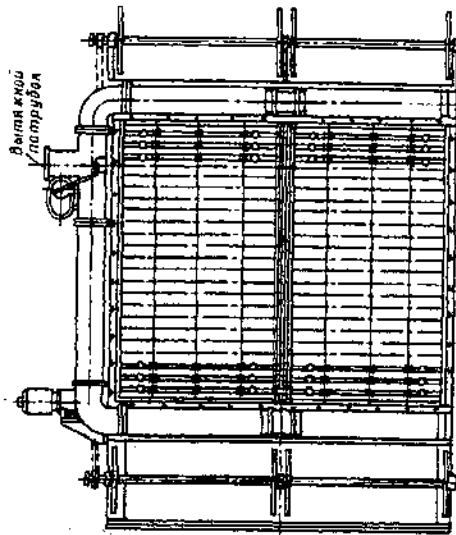


Фильтр (рукавный) типа ФВК [12-70]

Диаграмма 12-14



Характеристика	Тип фильтра		
	ФВК-30	ФВК-60	ФВК-90
Площадь поверхности фильтровальной ткани, м <sup>2</sup>	30	60	90
Пропускная способность Q, м <sup>3</sup> /с:			
по чистому воздуху	1,38	2,78	4,12
по газу, содержащему до 20 г/м <sup>3</sup> пыли	0,35—0,418	0,70—0,835	1,05—1,28
Сопротивление Δp фильтра, Па	800—900	800—900	800—900
Число:			
секций	2	4	6
рукавов в секции	18	18	18
рукавов в фильтре	36	72	108
Материал рукава	Сукно фильтровальное		
Мощность электродвигателя: привода механизма встряхивания и привода шнека, кВт	0,6	0,6	0,6
Масса фильтра (без входного и выходного коллекторов), кг	1053	1682	2300



Характеристика	Тип фильтра				
	Ф2РУ7	Ф4РУ4	Ф16РУ6	Ф8РУ2	Ф12РУ1
Пропускная способность $Q$ , м <sup>3</sup> /с	5,56	11,1	16,7	22,2	33,3
Сопротивление $\Delta p^*$ фильтра [при удельной воздушной нагрузке $q=2,78 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ], Па	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50
Площадь $F$ рабочего сечения, м <sup>2</sup>	2	4	6	7,9	12
Фильтрующий материал	ФСВУ				
Эффективность очистки (по методу НИИСТ) $\eta_n$ , %	80	80	80	80	80
Пылеемкость (при увеличении сопротивления $\Delta p$ с 40 до 140 Па), кг/м <sup>2</sup>	До 0,3	До 0,3	До 0,3	До 0,3	До 0,3
Мощность электродвигателя, Вт	270	270	270	270	270
Число секций по фронту фильтра при ширине, м:					
0,8	2	—	2	—	—
1,05	—	2	1	3	3
Ширина фильтрующего материала в рулоне, м	0,77	1,02	0,77 и 1,02	1,02	1,02
Длина фильтрующего материала в рулоне, м	25	25	25	25	25
Число катушек	4	4	6	6	6
Масса, кг	353	408	623	717	970

Для ФРП  $\Delta p=f(q)$  см. кривую 2 графика а;  $\Delta p=f(z_n)$  см. график б; для ФРУ  $\Delta p=f(q)$  см. кривую 1 графика а

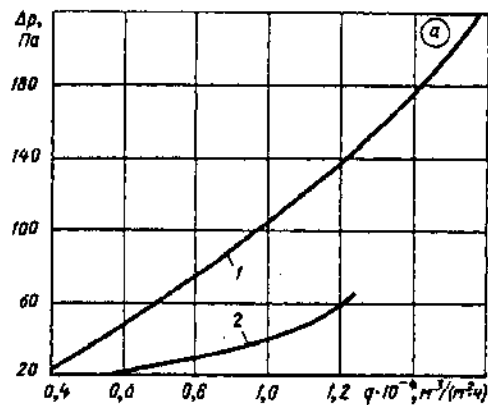
Характеристика	Тип фильтра				
	Ф2РП7	Ф4РП4	Ф6РП6	Ф8РП2	Ф12РП1
Пропускная способность $Q$ , м <sup>3</sup> /с	5,56	11,1	16,7	22,2	33,3
Сопротивление $\Delta p$ при удельной нагрузке $q=2,78 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , Па	98–118	98–118	98–118	98–118	98–118
Площадь рабочего сечения $F$ , м <sup>2</sup>	2	4	6	7,9	12
Фильтрующий материал	ФВН				
Пылеемкость (при увеличении сопротивления в 2 раза) $z_n$ , кг/м <sup>2</sup>	До 0,13	До 0,13	До 0,13	До 0,13	До 0,13

Фильтры (рулонные) типа ФРУ [12-70, 12-76]	Диаграмма 12-15
--	--------------------

Характеристика	Тип фильтра				
	Ф2РП7	Ф4РП4	Ф6РП6	Ф8РП2	Ф12РП1
Мощность электродвигателя, Вт	270	270	270	270	270
Число секций по фронту фильтра при ширине: 0,8 м	2	—	2	—	—
1,05 м	—	2	1	3	3
Ширина фильтрующего материала в рулоне, м	0,77	1,02	0,77 и 1,02	1,02	1,02
Длина фильтрующего материала в рулоне, м	100	100	100	100	100
Число катушек, шт.	4	4	6	6	6
Масса фильтра, кг	406	—	597	—	—
Необходимый расход воздуха через отсасывающее отверстие, м <sup>3</sup> /с	0,194	0,255	0,320	0,384	0,384
Эффективность $\eta_n$ при улавливании волокнистой пыли, %	95-96	95-96	95-96	95-96	95-96

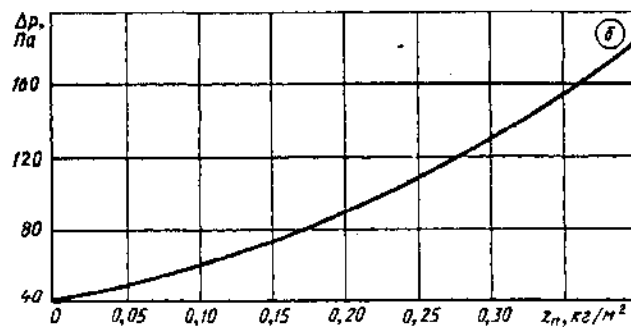
Для кривой 1

$q \cdot 10^{-4}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
$q, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,88	4,44
$\Delta p, \text{ Па}$	24,5	49	78,5	108	137	177	226



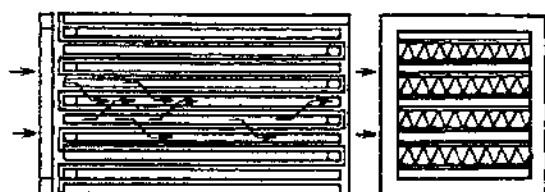
Для кривой 2

$q \cdot 10^{-4}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$q, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33
$\Delta p, \text{ Па}$	15	22	29	39	59



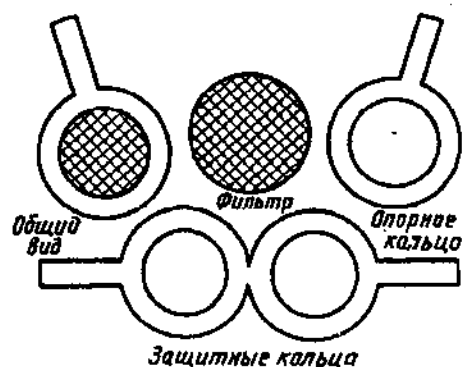
Для графика б

$z_n, \text{ кг/м}^2$	0	0,1	0,2	0,3	0,4
$\eta_n, \%$	—	81	81	81	81
$\Delta p, \text{ Па}$	39	59	88	127	176



Материал ФПП-15 (допускаемая температура 60° С)  $\Delta p = \Delta p_0 w$  ( $w$  — скорость фильтрации, м/с)

Марка фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м <sup>2</sup>	Размеры, мм		Расход при нормальных условиях, м <sup>3</sup> /с	Сопротивление	
		Входное сечение	Длина		$\Delta p$ , Па	$\Delta p_0$ , Па
				при нагрузке 0,0417 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с) [150 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)]		при $w = 1$ м/с
ЛАИК СП-3/15 ЛАИК СП-6/15	15,1	565 × 735	780	0,625	177 245	4248 5880
ЛАИК СП-3/17 ЛАИК СП-6/17	17,5	615 × 995	355	0,710	147 206	3528 4944
ЛАИК СП-3/21 ЛАИК СП-6/21	21,0	650 × 690	625	0,875	285 334	6840 8016
ЛАИК СП-3/26 ЛАИК СП-6/26	26	660 × 665	750	1,10	392 452	9408 10848
ЛАИК-СЯ (ФяЛ1)	16	550 × 680	310	0,667	157	3768



$\Delta p$  увеличивается линейно с ростом скорости  $w$ :

$$\Delta p = \Delta p_0 w$$

Фильтры (аналитические аэрозольные) типа АФА [12-10]					Диаграмма 12-17
Тип фильтра	$\eta$ , при скорости фильтрации $w=0,01$ м/с	$\Delta p$ , Па при $w=0,01$ м/с	Максимальная нагрузка $Q$ , л/мин	Рабочая площадь $S_0$ , дм <sup>2</sup>	Температура исследуемого газа (не выше), °С
АФА-В-18	0,995	14,7	100	18	60
АФА-В-10	0,995	14,7	55	10	60
АФА ХА-18	0,970	19,6	100	18	150
АФА ХМ-18	0,990—0,995	19,6	100	18	50
АФА ХП-18	0,995	14,7	100	18	60
АФА ХС-18	0,990—0,995	19,6	100	18	70
АФА РМП-3	0,995	39—98	20	3,0	60
АФА РМП-10	0,995	39—98	50	10	60
АФА РМП-20	0,995	39—98	100—120	20	60
АФА РМА-20	0,970	39—98	100—120	20	150
АФА РГ-3	0,950	790—1470	0,3	3,0	60
АФА-Д-3	0,995	30—50	10	3,0	60
АФА-Б-3	0,970—0,990	19,6	20	3,0	150

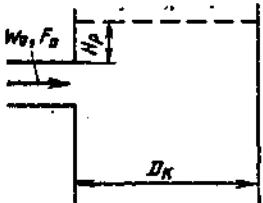
Входные участки электрофильтров и других аппаратов с решеткой, насадкой или другим видом сопротивления, помещаемым в рабочей камере [12-27, 12-28]	Диаграмма 12-18
--	-----------------

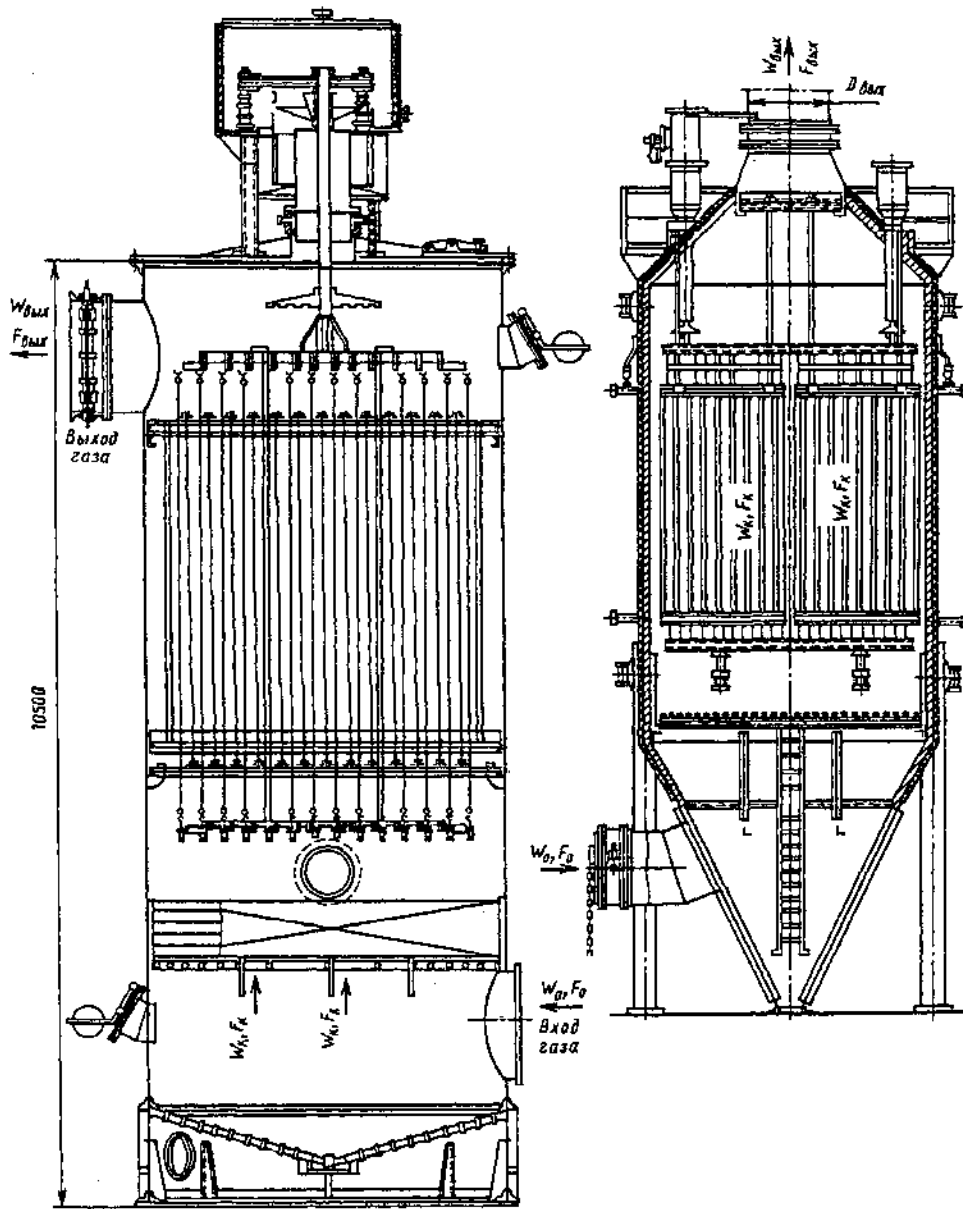
Условия набегания потока на решетку	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
Центральное		$\zeta = \zeta'_{0 \text{ отв}} + N_0 + 0,7\zeta_p \left( \frac{F_0}{F_*} \right)^2 + \frac{0,013}{(H_p/D_0)^2} \times \sqrt[3]{\zeta_p - \sqrt[3]{\zeta_p}}$ <p>где <math>\zeta'_{0 \text{ отв}}</math> определяют, как <math>0,5\zeta</math> данного отвода, по диаграммам шестого раздела; <math>N_0</math> находят по табл. 12-1—12-7; <math>\zeta_p</math> определяют, как <math>\zeta</math> решетки, насадки или другого вида сопротивления, по данным диаграмм восьмого раздела; величина <math>\frac{0,013}{(H_p/D_0)^2} \sqrt[3]{\zeta_p - \sqrt[3]{\zeta_p}}</math> учитывается только в пределах</p> $0 < H_p/D_0 < 1,2$
Периферийное		$\zeta = \zeta'_{0 \text{ отв}} + 0,9 \left[ N_0 + 0,7\zeta_p \left( \frac{F_0}{F_*} \right)^2 \right] + \frac{0,05}{(H_n/D_0)^2}$ <p>величина <math>\frac{0,05}{(H_n/D_0)^2}</math> учитывается только при <math>\frac{H_n}{D_0} &lt; 1,2</math></p>



Входные участки электрофильтров и других аппаратов с решеткой, насадкой или другим видом сопротивления, помещенным в рабочей камере [12-27, 12-28]

Диаграмма  
12-18

Условия набегающего потока на решетку	Схема	Коэффициент сопротивления $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
Боковое		$\zeta = N_0 + 0,7 \zeta_p \left( \frac{F_0}{F_p} \right)^2 + 0,1 + \left( 2 - 20 \frac{H_p}{D_k} \right);$ <p>величина <math>\Delta \zeta = 2 - 20 H_p / D_k</math> учитывается только при <math>H_p / D_k &lt; 0,1</math></p>
<p>При системе последовательно установленных решеток вместо <math>\zeta</math> принимают сумму</p> $\sum_{i=1}^m \zeta_{x.p. i} = \zeta_{x.p. 1} + \zeta_{x.p. 2} + \dots + \zeta_{x.p. i} + \dots + \zeta_{x.p. m},$ <p>где <math>m_p</math> — число последовательно установленных решеток; <math>\zeta_{x.p. i} \equiv \frac{\Delta p_i}{\rho w_x^2 / 2}</math></p>		

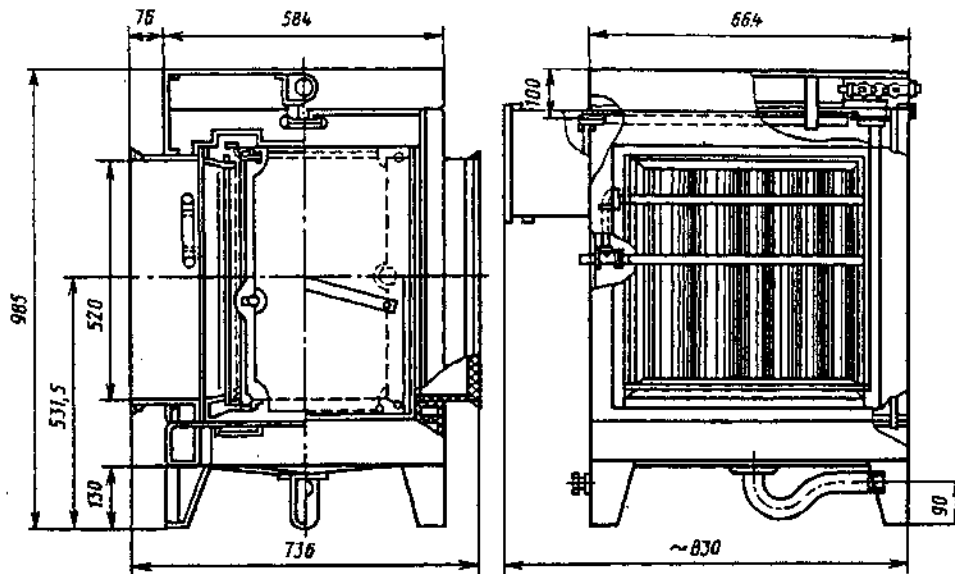


$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w \delta^2 / 2} = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вмх}} + \zeta_{\text{х}},$$

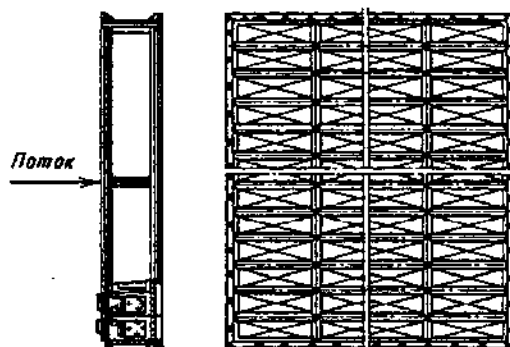
где  $\zeta_{\text{вх}}$  находят, как  $\zeta$ , по диаграмме 12-18;

$$\begin{aligned} & - \zeta_{\text{вмх}} = \zeta' (1 - F_{\text{вмх}}/F_{\text{х}}) (F_0/F_{\text{вмх}})^2 \\ \zeta' & \text{ получают, как } \zeta, \text{ по диаграмме 3-6 в зависимости от } \alpha^\circ \text{ и } l/D_{\text{вмх}}; \text{ при } l/D_{\text{вмх}} = 0 \zeta' = 0,5; \\ \zeta_{\text{х}} & = \zeta_{\text{вх}}'' + \zeta_{\text{вмх}}'' + \zeta_{\text{тр}}''; \zeta_{\text{вх}}'' = 0,5(1 - F_0/F_{\text{х}}) (F_0/F_{\text{х}})^2; \\ \zeta_{\text{вмх}}'' & = (1 - F_0/F_{\text{х}})^2 (F_0/F_{\text{х}})^2; \\ \zeta_{\text{тр}}'' & = \lambda l_s / D_{\text{д}} (F_0/F_{\text{х}})^2 \end{aligned}$$

в зависимости от  $Re$  и  $\bar{D}$  см. диаграммы 2-1—2-6;  $D_s = 4F_s/\Pi_s$ ;  $F_s$ ,  $\Pi_s$  — соответственно площадь сечения и периметр просветов между осадительными пластинами или осадительных труб

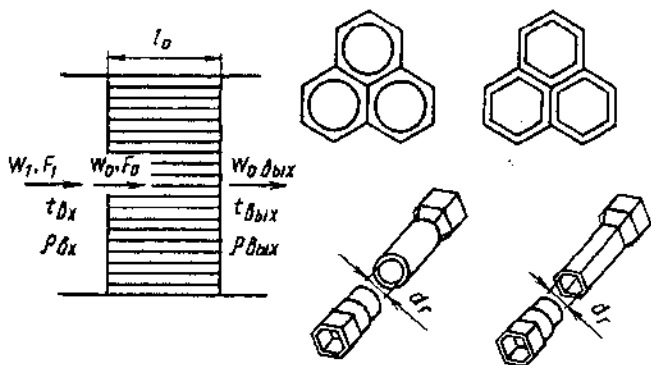


Пропускная способность $Q$ , м <sup>3</sup> /с, не более	0,56	Потребляемый ток, мА	1
Начальное сопротивление с противуносным фильтром $\Delta p$ , Па	39	Суммарная площадь поверхности осадительных электродов $S_0$ , м <sup>2</sup>	13,8
Эффективность очистки (по методике НИИСТ) $\eta_n$ , %	95	Расход воды на одну промывку, л, не менее	50
Пылеемкость при увеличении сопротивления в 2 раза, кг/м <sup>2</sup>	0,3	Время одной промывки, ч	3
Мощность, потребляемая агрегатом питания из сети, Вт	80	Время между двумя промывками, недель	4—6
		Число форсунок	15
		Масса без питающего устройства, кг...	90



Показатели	Тип фильтра						
	Ф1Э1	Ф3Э2	Ф5Э3	Ф8Э4	Ф10Э5	Ф14Э6	Ф18Э7
Площадь рабочего сечения $F, \text{м}^2$	1,5	2,9	4,9	8,2	9,8	14	18,5
Пропускная способность при скорости потока 2 м/с и удельной воздушной нагрузке $7200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ $Q, \text{м}^3/\text{с}$	2,78	5,30	9,20	15,3	18,0	27,8	36,0
Эффективность очистки (по методу НИИСТ) $\eta_n, \%$	90—95	90—95	90—95	90—95	90—95	90—95	90—95
Начальное сопротивление $\Delta p^{*1}$ :							
с противоуносным фильтром	39/4	39/4	39/4	39/4	39/4	39/4	39/4
без противоуносного фильтра	4,9/0,5	4,9/0,5	4,9/0,5	4,9/0,5	4,9/0,5	4,9/0,5	4,9/0,5
Пылеемкость $z_d$ ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) рабочего сечения фильтра (при увеличении его сопротивления с противоуносным фильтром в 2 раза)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Напряжение на коронирующих электродах, В	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000
Напряжение на осадительных электродах, В	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500
Потребляемый ток, мА	7	14	24	42	54	81	110
Потребляемая мощность, Вт	100	200	380	600	800	1100	1500
Расход воды для промывки фильтра (при давлении 0,3 МПа), $\text{м}^3/\text{ч}$	0,5	1,5	2,5	4,0	5,0	7,0	9,0
Число секций шириной:							
765 мм	7	14	—	24	—	—	—
1015 мм	—	—	18	12	36	54	72
Масса фильтра, кг	205	367	583	963	1120	1640	2150

\*<sup>1</sup> В числителе  $\Delta p$  дано в Па, в знаменателе в  $\text{кгс}/\text{м}^2$ .



$$d_r = 4f_0/\Pi_0,$$

$f_0, \Pi_0$  — площадь и периметр поперечного сечения одной трубки;  $F_0$  — живое сечение радиатора

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{0x} w^2 / 2} = \lambda \left( 3 + \frac{l_0}{d_r} \right) \times \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 + \zeta_{y\lambda} + \Delta\zeta_{\tau},$$

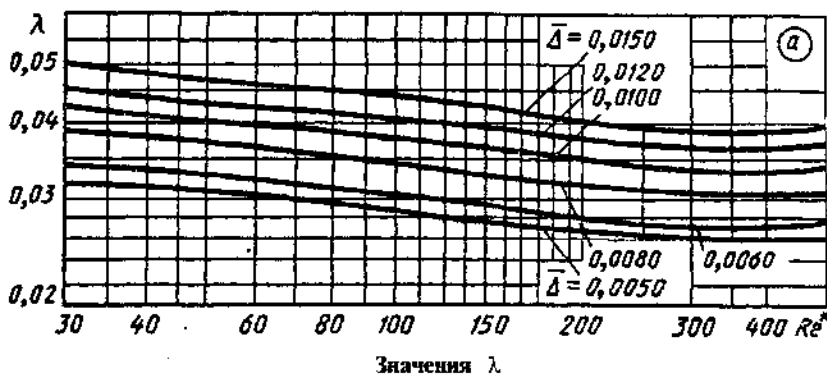
где: 1) при  $35 \leq Re^* = w_{0_{max}} \Delta / \nu \leq 275$   
 $\lambda = 0,375 Re^{*-0,1} \bar{\Delta}^{0,4}$  см. график а;  
 2) при  $275 \leq Re^* \leq 500$   
 $\lambda = 0,214 \bar{\Delta}^{0,4}$  см. график а;

$$\zeta_{y\lambda} = (F_1/F_0 - 1)^2 \text{ см. график б};$$

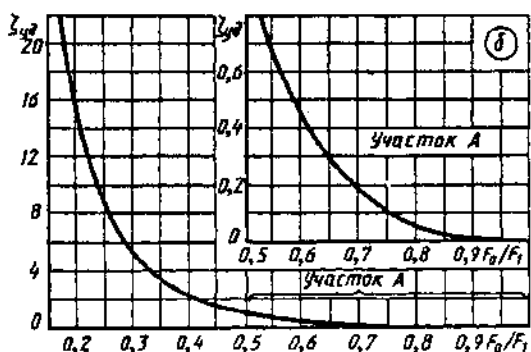
$$\Delta\zeta_{\tau} = (1,7 + \lambda l_0/d_r) (F_1/F_0)^2 \bar{T};$$

$$\bar{T} = \frac{T_{0_{max}} - T_{0_{min}}}{T_{0_{min}}}; \quad \bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d_r};$$

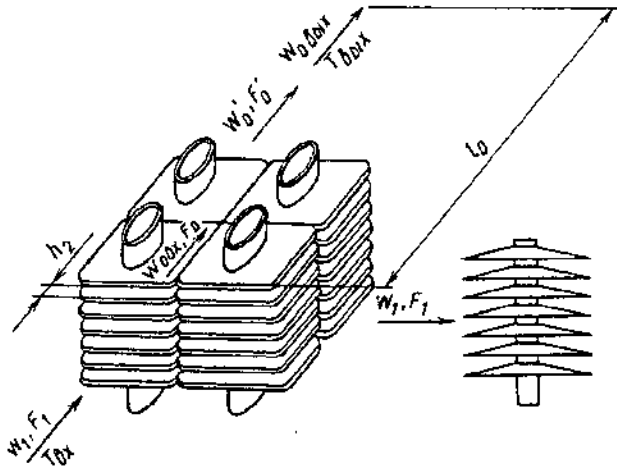
$\Delta$  см. табл. 2-3



Re*	$\bar{\Delta}$					
	0,0050	0,0060	0,0080	0,0100	0,0120	0,0150
30	0,032	0,034	0,039	0,043	0,046	0,050
40	0,031	0,033	0,038	0,042	0,045	0,049
60	0,030	0,032	0,036	0,040	0,043	0,047
80	0,029	0,032	0,035	0,039	0,042	0,046
100	0,028	0,031	0,034	0,038	0,041	0,045
150	0,028	0,030	0,034	0,036	0,039	0,042
200	0,027	0,029	0,033	0,035	0,038	0,041
300	0,026	0,028	0,031	0,034	0,037	0,039
500	0,026	0,028	0,031	0,034	0,037	0,039



$F_0/F_1$	$(F_1/F_0)^2$	$\zeta_{y\lambda}$	$F_0/F_1$	$(F_1/F_0)^2$	$\zeta_{y\lambda}$
0	$\infty$	$\infty$	0,6	2,78	0,45
0,1	100	81,0	0,7	2,04	0,18
0,2	25,0	16,0	0,8	1,56	0,06
0,3	11,1	5,43	0,9	1,23	0,01
0,4	6,25	2,25	1,0	1,00	0
0,5	4,00	1,00			



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{\text{вх}} w_1^2 / 2} = \left( z_p \zeta_c + \lambda \frac{l_0}{d_r} \right) \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 + \Delta \zeta_r,$$

где  $\lambda = 0,77 / \sqrt[3]{\text{Re}}$  см. график *a* в зависимости от  $\text{Re} = w_{0,\text{вх}} d_r / \nu$ , взятого в пределах  $3000 \leq \text{Re} \leq 25\,000$ ;  $\zeta_c = 1,5 (1 - F_0/F_0')^2$  см. график *b*

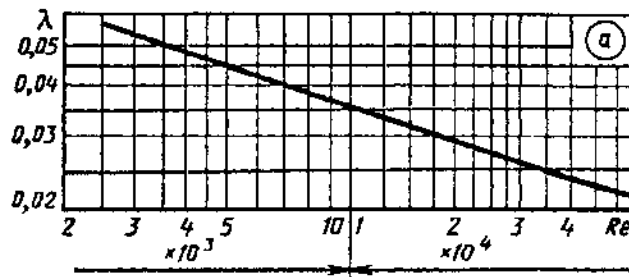
$$\Delta \zeta_r = \left( 1,7 + \lambda \frac{l_0}{d_r} \right) \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 \bar{T};$$

$$\bar{T} = \frac{T_{\text{вхк}} - T_{\text{вх}}}{T_{\text{вх}}};$$

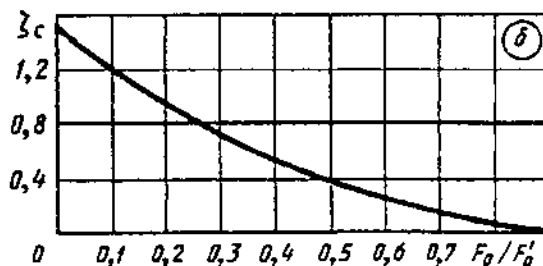
$z_p$  — число рядов трубок

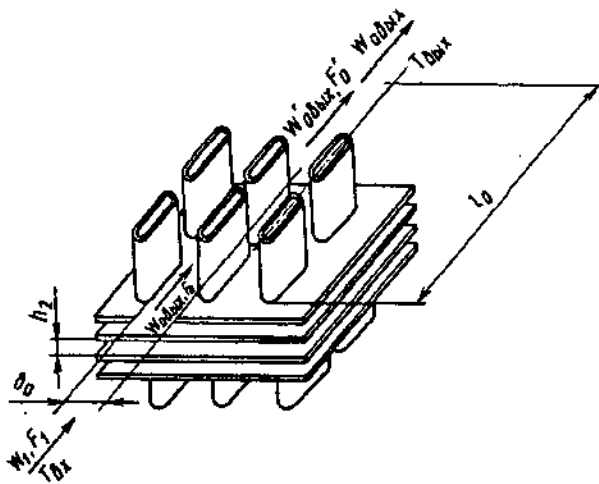
$$d_r = \frac{2h_2 b_0}{h_2 + b_0}$$

$\text{Re} \cdot 10^{-4}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0
$\lambda$	0,061	0,054	0,049	0,045	0,043	0,039	0,036	0,034	0,030	0,029	0,027	0,025



$\frac{F_0}{F_0'}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_c$	1,50	1,22	0,96	0,74	0,54	0,38	0,24	0,14	0,06	0,02	0





$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{\text{вх}} w_1^2 / 2} = \left( z_p \zeta_0 + \lambda \frac{l_0}{d_r} \right) (F_1 / F_0)^2 + \Delta \zeta_0,$$

где: 1) при  $4000 < Re = w_{0\text{вх}} d_r / \nu \leq 10\,000$

$$\lambda = 0,98 / \sqrt[3]{Re} = f(Re);$$

2) при  $Re > 10\,000$

$$\lambda = 0,21 / \sqrt[4]{Re} = f(Re);$$

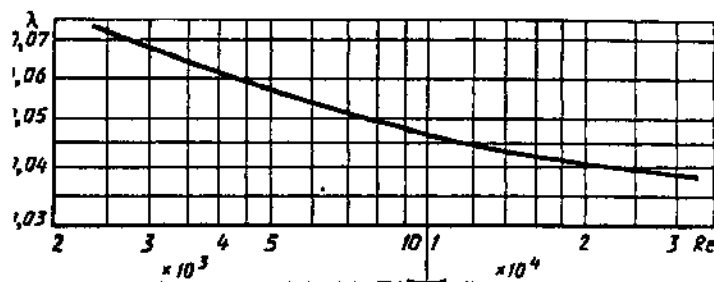
$\zeta_0$  см. график б диаграммы 12-23;

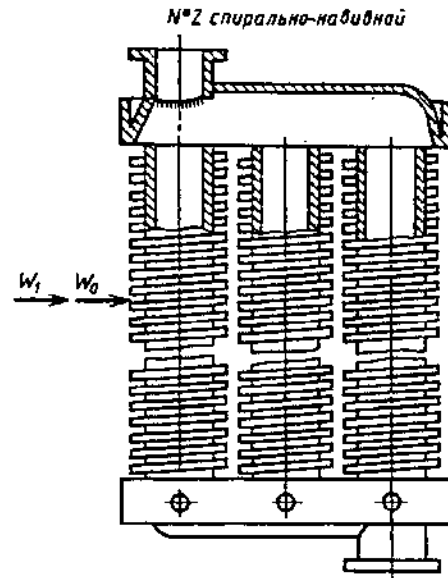
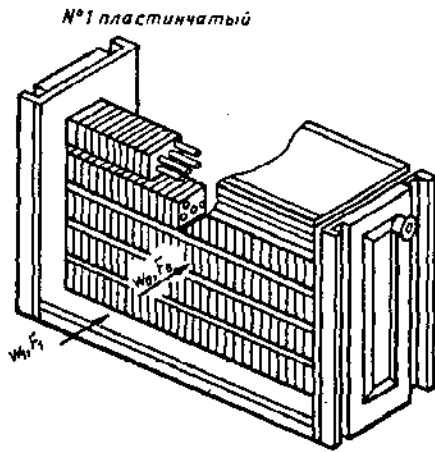
$$\Delta \zeta_0 = \left( 1,7 + \lambda \frac{l_0}{d_r} \right) \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2 \bar{T}; \quad \bar{T} = \frac{T_{\text{вх}} - T_{\text{вх}}}{T_{\text{вх}}},$$

$z_p$  — число рядов трубок

$$d_r = \frac{2h_2 b_0}{h_2 + b_0}$$

$Re \cdot 10^{-4}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0	2,5	3,0
$\lambda$	0,068	0,062	0,057	0,054	0,050	0,046	0,043	0,040	0,039	0,038





Тип и характеристика калориферов	Сопротивление воздушному потоку $\Delta p^*$ одного ряда калориферов при массовой скорости потока в живом сечении $\rho w_0$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с) ( $w_0 = Q/F_0$ ; $F_0$ — живое сечение)												Формула сопротивления $\Delta p$ , Па
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
КВБ — пластинчатый, одноходовой, средней модели; по направлению движения воздуха имеет три ряда трубок с зигзагообразным расположением	—	$\frac{15,6}{1,6}$	—	$\frac{31,0}{3,2}$	—	$\frac{50,4}{5,1}$	—	$\frac{73,5}{7,5}$	—	$\frac{100,4}{10,2}$	—	$\frac{133}{13,6}$	$1,5(\rho w_0)^{1,69}$
КФС — одноходовой, КМС — многоходовой; пластинчатый, средней модели; по направлению движения воздуха имеют три ряда трубок с коридорным расположением	$\frac{8,9}{0,9}$	$\frac{13,7}{1,4}$	$\frac{20,6}{2,1}$	$\frac{28,5}{2,9}$	$\frac{37,3}{3,8}$	$\frac{47,0}{4,8}$	$\frac{57,0}{5,8}$	$\frac{68,7}{7,0}$	$\frac{81,5}{8,3}$	$\frac{95,1}{9,7}$	$\frac{109}{11,1}$	$\frac{126}{12,8}$	$1,2(\rho w_0)^{1,76}$
КФБ — одноходовой, КМБ — многоходовой; пластинчатый, большой модели; по направлению движения воздуха	$\frac{11,8}{1,2}$	$\frac{18,7}{1,9}$	$\frac{27,5}{2,8}$	$\frac{37,3}{3,8}$	$\frac{49,0}{5,0}$	$\frac{60,8}{6,2}$	$\frac{75,5}{7,7}$	$\frac{90,5}{9,2}$	$\frac{106}{10,8}$	$\frac{125}{12,7}$	$\frac{143}{14,6}$	$\frac{160}{16,3}$	$1,73(\rho w_0)^{1,72}$

\* В числителе  $\Delta p$  дано в Па, в знаменателе в кгс/м<sup>2</sup>.



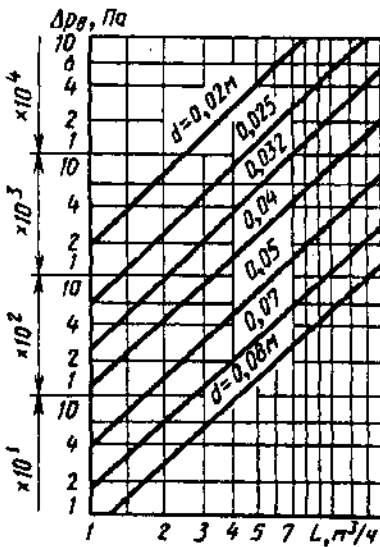
## Калориферы [12-77]

Диаграмма  
12-25

Тип и характеристика калориферов	Сопротивление воздушному потоку $\Delta p^*$ одного ряда калориферов при массовой скорости потока в живом сечении $\rho w_0$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с) ( $w_0 = Q/F_0$ ; $F_0$ — живое сечение)												Формула сопротивления $\Delta p$ , Па	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
имеют четыре ряда трубок с коридорным расположением														
КФСО — спирально-навивной, одноходовой, средней модели; по направлению движения воздуха имеет три ряда трубок в шахматном порядке	$\frac{30,4}{3,1}$	$\frac{53,0}{5,4}$	$\frac{83,5}{8,5}$	$\frac{116}{11,8}$	$\frac{165}{16,8}$	$\frac{215}{21,9}$	$\frac{270}{27,5}$	$\frac{336}{34,2}$	$\frac{405}{41,2}$	$\frac{486}{49,5}$	$\frac{572}{58,2}$	$\frac{656}{66,8}$	$3,3(\rho w_0)^{2,01}$	
КФБО — спирально-навивной, одноходовой, большой модели; по направлению движения воздуха имеет четыре ряда трубок, расположенных в шахматном порядке	$\frac{36,3}{3,7}$	$\frac{64,7}{6,6}$	$\frac{99,0}{10,1}$	$\frac{141}{14,3}$	$\frac{191}{19,4}$	$\frac{245}{24,9}$	$\frac{308}{31,4}$	$\frac{381}{38,8}$	$\frac{458}{46,7}$	$\frac{543}{55,2}$	$\frac{628}{64,0}$	$\frac{721}{73,5}$	$4,2(\rho w_0)^{1,94}$	
СТД 3009В — одноходовой и СТД 3010В — многоходовой; пластинчатые; средней модели; имеют плоские трубки, расположенные параллельно потоку воздуха	$\frac{9,8}{1,0}$	$\frac{16,7}{1,7}$	$\frac{24,5}{2,5}$	$\frac{34,4}{3,5}$	$\frac{44,2}{4,5}$	$\frac{56,0}{5,7}$	$\frac{68,6}{7,0}$	$\frac{82,5}{8,4}$	$\frac{97,2}{9,9}$	$\frac{115}{11,7}$	$\frac{133}{13,5}$	$\frac{151}{15,4}$	$1,54(\rho w_0)^{1,73}$	

Калориферы [12-77]

Диаграмма 12-25



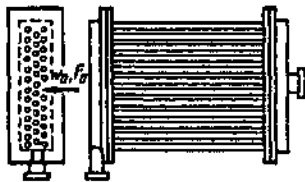
Сопротивление потоку воды калориферов всех типов определяют по графику  $\Delta p_n = f(L, d)$  с поправочным коэффициентом  $k_1 = f(m_x)$ :  $\Delta p_{n, mx} = k_1 \Delta p_n$

Число ходов в калорифере $m_x$	1	2	3	4	5	6
$k_1$	1,0	1,5	2,0	2,7	3,3	4,1
Число ходов в калорифере $m_x$	7	8	9	10	11	12
$k_1$	4,7	5,4	6,1	6,8	7,5	8,2

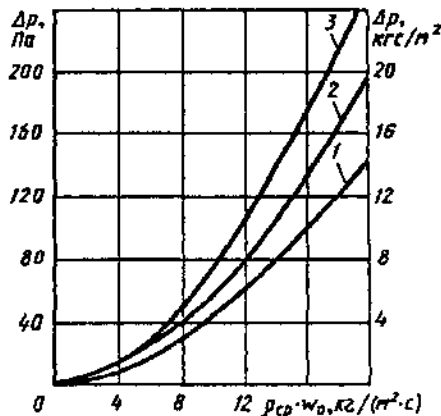
Калорифер гладкотрубчатый

Диаграмма 12-26

Двухрядные:  $\Delta p = 0,613 (\rho_{cp} w_0)^{1,81}$  Па см. кривую 1; трехрядные:  $\Delta p = 0,86 (\rho_{cp} w_0)^{1,81}$  Па см. кривую 2; четырехрядные:  $\Delta p = 1,11 (\rho_{cp} w_0)^{1,81}$  Па см. кривую 3



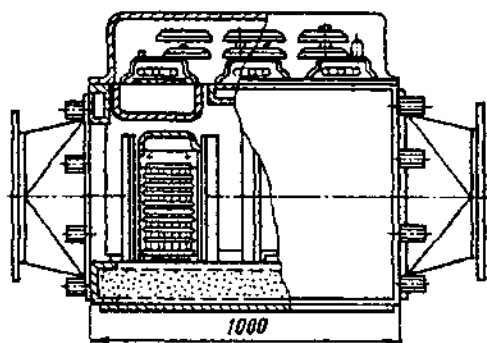
$w_0 = Q/F_0$   
 $F_0$  — живое сечение



Значения Δp

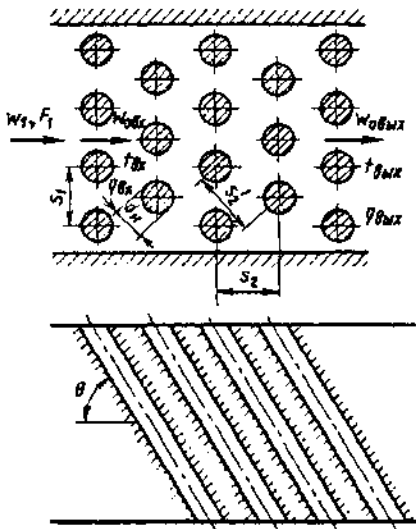
Кривая	$\rho_{cp} w_0, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$					
	1	2	4	6	8	10
Па						
1	0,59	2,16	7,55	15,7	26,5	39,2
2	0,79	3,04	10,8	21,6	37,3	55,8
3	1,08	3,92	13,7	28,5	48,1	71,5
кгс/м <sup>2</sup>						
1	0,06	0,22	0,77	1,60	2,70	4,00
2	0,08	0,31	1,10	2,20	3,80	5,70
3	0,11	0,40	1,40	2,90	4,90	7,30

Кривая	$\rho_{cp} w_0, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$				
	12	14	16	18	20
Па					
1	58,7	76,5	96,3	115	140
2	77,5	102	129	160	197
3	100	132	168	206	255
кгс/м <sup>2</sup>					
1	6,00	7,80	9,80	11,7	14,3
2	7,90	10,4	13,2	16,3	20,1
3	10,2	13,4	17,1	21,0	26,0



Характеристика	Тип калорифера					
	СФО-25/1-Т	СФО-40/1-Т	СФО-60/1-Т	СФО-100/1-Т	СФО-160/2-Т	СФО-250/1-Т
Мощность, кВт	25	40	60	100	160	250
Мощность одной секции, кВт	6,25	10	15	25	40	62,5
Площадь $F$ живого сечения для прохода воздуха, м <sup>2</sup>	0,076	0,133	0,255	0,318	0,555	0,800
Перепад температуры, °С	48	43	42	46	46	47
Пропускная способность (по воздуху) $G$ , кг/с	0,592	0,94	1,43	2,50	3,33	5,20
Сопротивление потоку воздуха $\Delta p^*$	$\frac{24,7}{2,52}$	$\frac{21,4}{2,18}$	$\frac{18,0}{1,83}$	$\frac{20,0}{2,10}$	$\frac{15,2}{1,56}$	$\frac{17,7}{1,80}$
Масса, кг	67	100	134	197	312	421
Размеры, м:						
длина	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
ширина	0,63	0,75	0,87	0,99	1,23	1,35
высота	0,657	0,807	0,957	1,107	1,407	1,707

\* В числителе  $\Delta p$  дано в Па, в знаменателе в кгс/м<sup>2</sup>.



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_0^2 d_n / 2} = \psi A Re_{cp}^{-0.27} (z_p + 1) + \Delta \zeta_{ci}$$

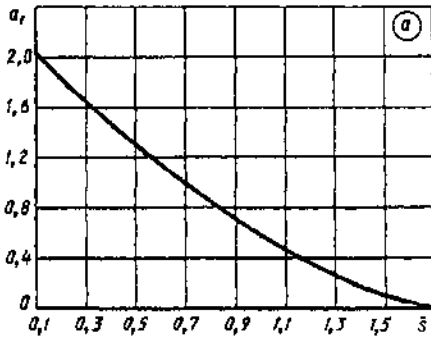
$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2$$

$$S'_2 = \sqrt{0,25 S_1^2 + S_2^2}$$

1)  $S_1/d_n < 1,44$  и  $0,1 \leq \bar{s} < 1,7$ :

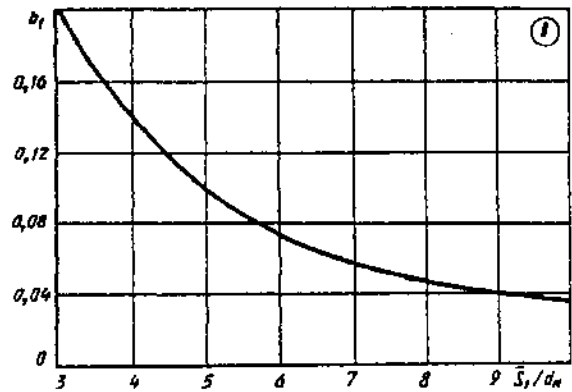
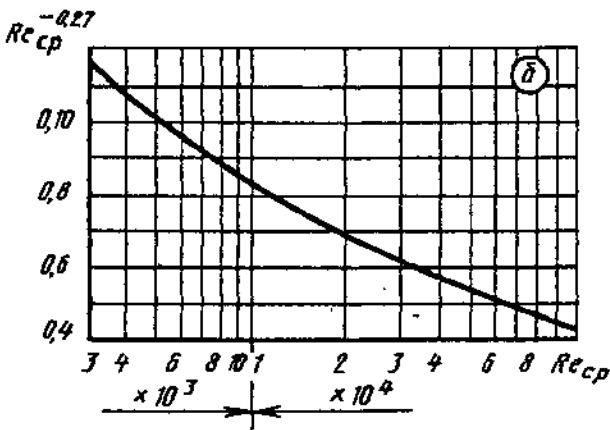
$$A = 3,2 + 0,66 a_1 + (13,1 - 9,1 S_1/d_n)(0,8 + 0,2 a_1),$$

где  $a_1 = (1,7 - \bar{s})^{1,3}$  см. график а;  $Re_{cp}^{-0,27}$  см. график б;  
 $\psi$  см. ниже;  $\bar{s} = (S_1 - d_n)/(S'_2 - d_n)$ ;



$\theta^\circ$	30	45	60	90
$\psi$	0,34	0,57	0,80	1,0

- 2)  $S_1/d_n \geq 1,44$  и  $0,1 < \bar{s} < 1,7$ :  $A = 3,2 + 0,66 a_1$ ;  
 3)  $S_1/d_n < 1,44$  и  $1,7 \leq \bar{s} < 6,5$ :  $A = (1,88 - S_1/d_n)(\bar{s} + 1)^2$ ;  
 4)  $1,44 \leq S_1/d_n \leq 3,0$  и  $1,7 \leq \bar{s} \leq 6,5$ :  $A = 0,44(\bar{s} + 1)^2$ ;  
 5)  $3 < S_1/d_n < 10$  и  $\bar{s} > 1,7$ :  $A = 1,83 b_1$ , где  $b_1 = (S_1/d_n)^{-1,46}$   
 см. график в.



$\bar{s}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,7
$a_1$	2,02	1,84	1,48	1,15	0,86	0,59	0,25	0

Пучок гладких труб (поперечный), расположенных в шахматном порядке;  
 $3 \cdot 10^3 < Re_{cp} = w_{0cp} d_w / \nu < 10^5$  [12-6, 12-58]

Диаграмма  
12-28

$Re_{cp}$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$10^4$	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	$10^5$
$Re_{cp}^{-0,27}$	0,117	0,106	0,095	0,089	0,083	0,069	0,057	0,051	0,047	0,045

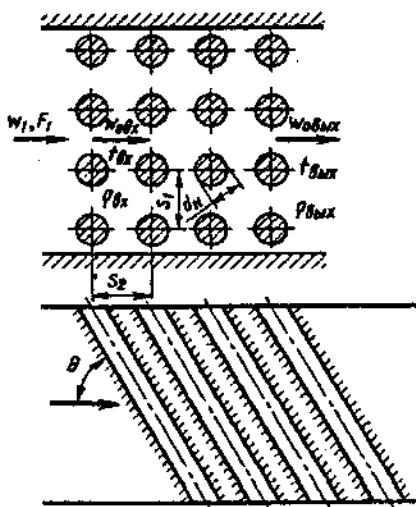
$S_1/d_w$	3	4	5	6	7	8	9	10
$b_1$	0,204	0,131	0,098	0,074	0,058	0,048	0,040	0,035

$$\Delta \zeta_t = 2 \frac{T_{вых} - T_{вх}}{T_{cp}}; T_{cp} = \frac{T_{вх} + T_{вых}}{2}; \rho_{cp} = \rho_0 \frac{273}{T_{cp}}; w_{0cp} = w_{0вх} \frac{T_{cp}}{T_{вх}}$$

$z_p$  — число поперечных рядов труб в пучке;  $\nu$  — в зависимости от  $T_{cp}$  см. параграф 1-2.  
 Для загрязненных пучков  $\zeta_{гр} \approx 1,3\zeta$

Пучок гладких труб (поперечный) с коридорным расположением  
 $3 \cdot 10^3 < Re_{cp} = w_{0cp} d_w / \nu < 10^5$  [12-6, 12-58]

Диаграмма  
12-29



$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{0cp}^2 / 2} = \psi A Re_{cp}^m z_p + \Delta \zeta_t;$$

$$\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2$$

1)  $S_1/d_w \leq S_2/d_w$  и  $0,06 \leq \bar{s}_1 \leq 1,0$ :  $A = 1,8 (S_1/d_w - 1)^{-0,5}$ ;  
 $m = -0,2$ ;  $\bar{s}_1 = (S_1 - d_w)/(S_2 - d_w)$ ;  $Re_{cp}^m$  см. график а при  $\bar{s}_1 = 1,0$ ;  $\psi$  см. ниже.

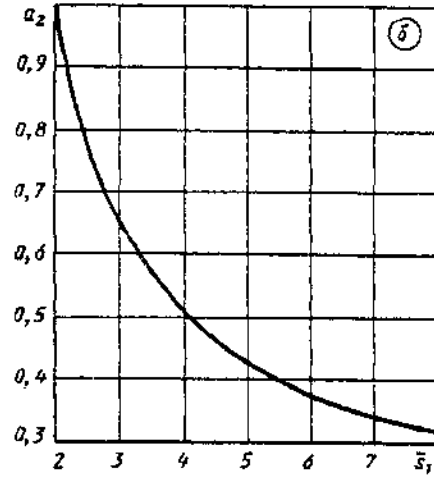
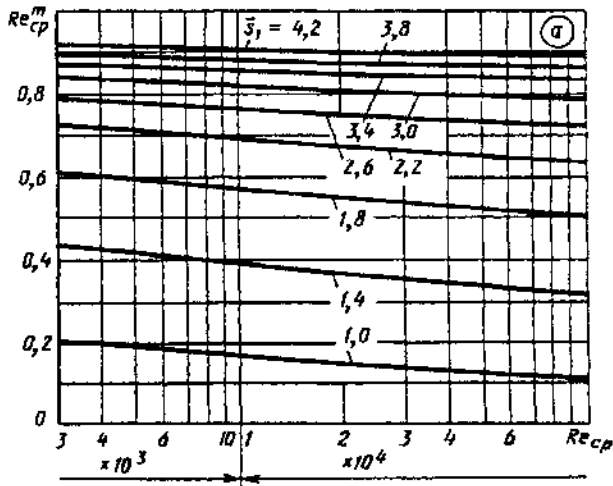
$0^\circ$	30	45	60	90
$\psi$	0,30	0,54	0,82	1,0

2)  $S_1/d_w > S_2/d_w$ ;  $1,0 < \bar{s}_1 \leq 8,0$ :  
 $A = 0,38 a_2 (S_1/d_w - 1)^{-0,5}$ , где  $a_2 = (\bar{s}_1 - 0,94)^{-0,59}$  см.  
 график б

$Re_{cp}^m$  см. график а;  $m = -0,2/\bar{s}_1^2$ ;  
 $8,0 < \bar{s}_1 \leq 15$ :  $A = 0,118 (S_1/d_w - 1)^{-0,5}$ ;  
 $m = 0$

Пучок гладких труб (поперечный) с коридорным расположением  
 $3 \cdot 10^3 < Re_{cp} = w_{0,cp} d_n / \nu < 10^5$  [12-6, 12-58]

Диаграмма  
 12-29

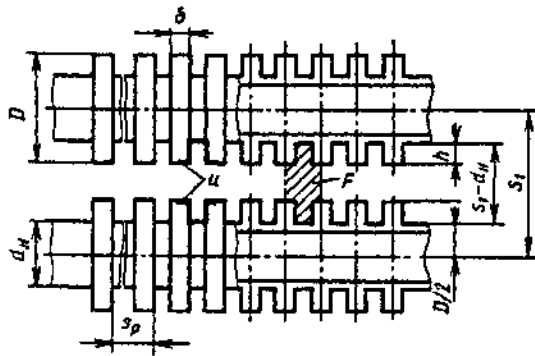


Значения  $Re_{cp}^m$

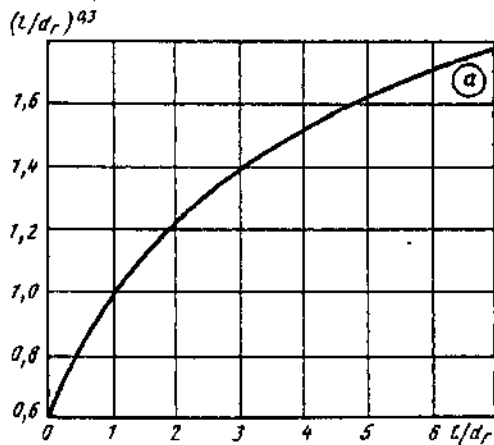
$s_1$	$Re_{cp} \cdot 10^{-3}$								
	3	4	6	8	10	20	40	60	90
1,0	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
1,4	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,36	0,34	0,32	0,31
1,8	0,61	0,60	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,50
2,2	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,65	0,64	0,63
2,6	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,75	0,73	0,72	0,71
3,0	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79	0,78
3,4	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82
3,8	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86
4,2	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88

$s_1$	1,0	2	3	4	5	6	7	8
$a_2$	5,26	0,97	0,65	0,52	0,43	0,38	0,34	0,32

$\Delta \zeta_{gr}$ ,  $T_{cp}$ ,  $\rho_{cp}$ ,  $w_{0,cp}$ ,  $z_p$ ,  $\nu$  и  $\zeta_{gr}$  см. диаграмму 12-28



$$S_p = S_p \delta$$



1. Шахматное расположение труб при  $l/d_t = 0,16 - 6,55$

а)  $2,2 \cdot 10^3 < Re_t < 1,8 \cdot 10^5$ :

$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{0cp}^2 / 2} = c_2 c_s Re_t^{-0,25} (z_p + 1) + \Delta \zeta_t;$$

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2,$$

где  $c_2$  см. ниже

$z_p$	3	4	5	6
$c_2$	1,11	1,05	1,01	1,0
$c'_2$	1,30	1,14	1,05	1,0

$$c_s = 5,4 (l/d_t)^{0,3};$$

б)  $Re_t > 1,8 \cdot 10^5$ :

$$\zeta = 0,26 (l/d_t)^{0,3} c_2 (z_p + 1) + \Delta \zeta_t,$$

где  $(l/d_t)^{0,3}$  см. график а;  $Re_t = w_{0cp} l / \nu$  [l для труб с круглыми ребрами см. формулу (12-17) и для труб с квадратными ребрами см. формулы (12-19) и (12-20);  $d_t$  см. формулу (12-18)].

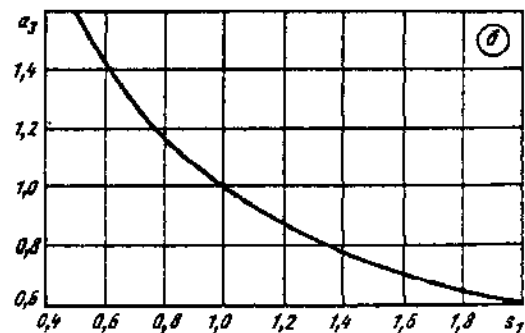
2. Коридорное расположение труб при  $l/d_t = 0,9 - 11,0$ :

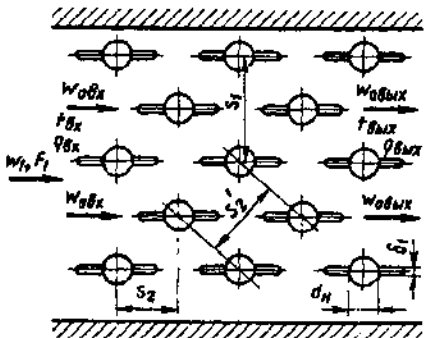
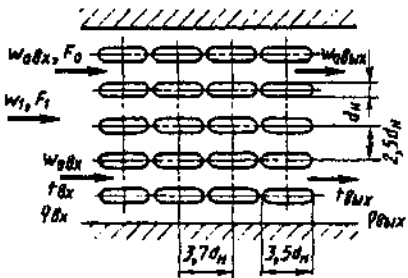
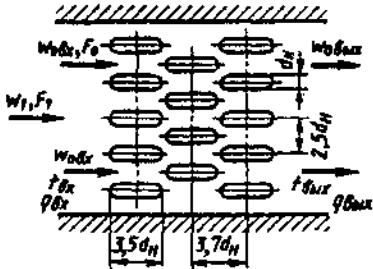
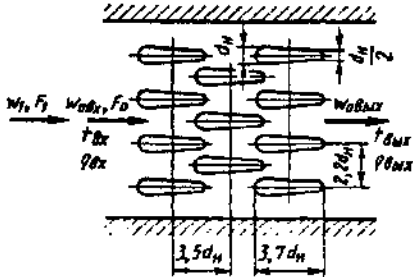
$$\bar{s}_1 = (S_1 - d_a) / (S_2 - d_a); \quad \bar{s}_1 = 0,5 - 2,0 \quad \text{и} \\ 4,3 \cdot 10^3 < Re_t < 1,6 \cdot 10^5; \quad \zeta = c'_2 c'_s Re_t^{-0,08} z_p + \Delta \zeta_t;$$

$c'_2$  см. таблицу;  $c'_s = 0,52 (l/d_t)^{0,3} a_3$ , где  $a_3 = \bar{s}_1^{-0,68}$  см. график б;  $\Delta \zeta_t$ ,  $T_{cp}$ ,  $\rho_{cp}$ ,  $w_{0cp}$ ,  $z_p$ ,  $\nu$  и  $\zeta_{гр}$  см. диаграмму 12-28

$l/d_t$	0,16	0,20	0,40	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	6,5
$(l/d_t)^{0,3}$	0,58	0,62	0,76	0,92	1,06	1,15	1,23	1,32	1,39	1,52	1,62	1,71	1,76

$\bar{s}_1$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
$a_3$	1,60	1,22	1,00	0,85	0,76	0,68	0,62



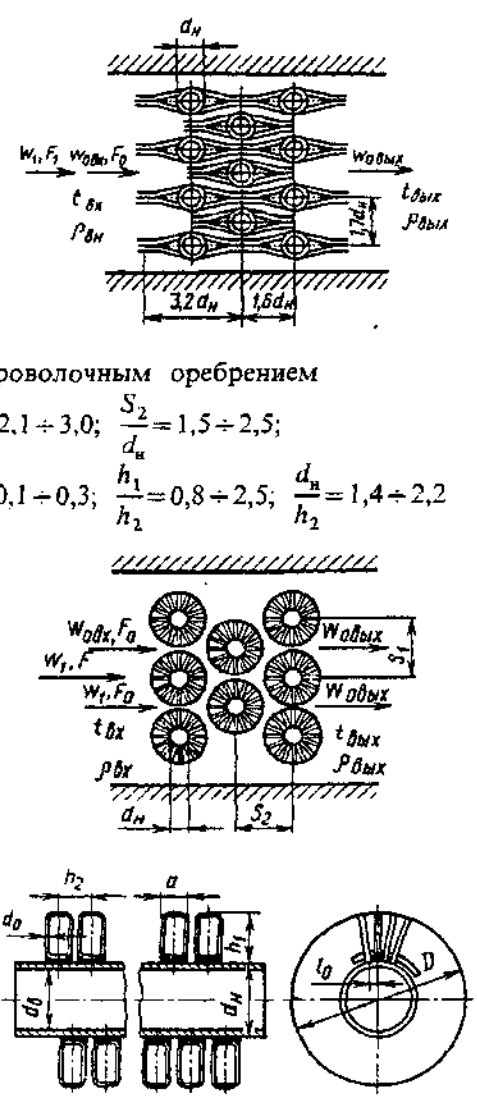
<p>Трубы пучка, их расположение и схема</p>	<p>Коэффициент сопротивления</p> $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{0cp}^2 / 2}$ $\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2$
<p>Продольно-ребристые (плавниковые), в шахматном порядке</p> 	<p><math>\zeta = 1,2\zeta'</math>, где <math>\zeta'</math> находят так же, как <math>\zeta</math>, по диаграмме 12-28. Если ребра входят в зазор между трубами, то вместо <math>w_{0cp}</math> принимают</p> $w'_{0cp} = w_{0cp} \frac{S_1 - d_a}{S_1 - d_n - \delta'_1}$
<p>Овальные, в коридорном порядке</p> 	<p><math>10^4 &lt; Re = \frac{w_{0cp} d_n}{\nu} &lt; 3 \cdot 10^4</math>; <math>\zeta = 0,059z_p + 0,31 + \Delta\zeta_z</math></p>
<p>Овальные, в шахматном порядке</p> 	<p><math>10^4 &lt; Re = \frac{w_{0cp} d_n}{\nu} &lt; 3 \cdot 10^4</math>; <math>\zeta = 0,20z_p + 0,14 + \Delta\zeta_z</math></p>
<p>Каплеобразные, в шахматном порядке</p> 	<p><math>10^4 &lt; Re = \frac{w_{0cp} d_n}{\nu} &lt; 3 \cdot 10^4</math>; <math>\zeta = 0,12z_p - 0,016 + \Delta\zeta_z</math></p>



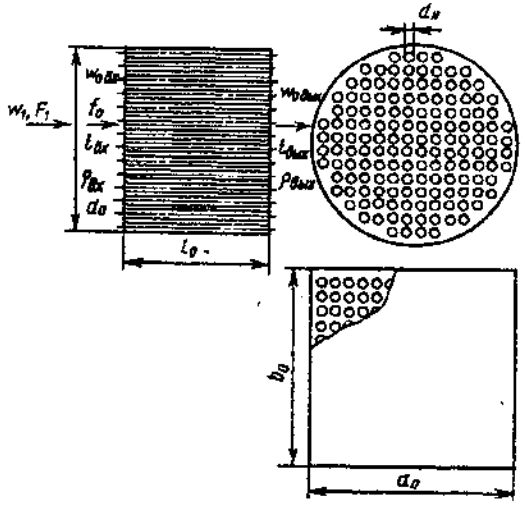
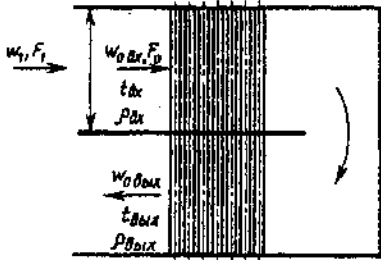
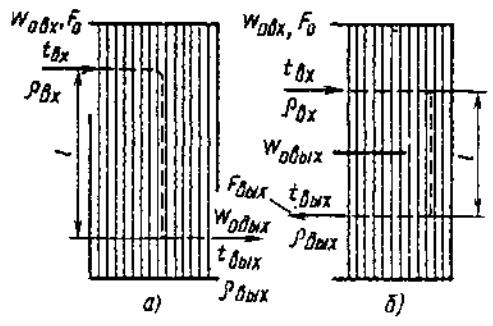
Пучки труб (поперечные) различной формы сечения [12-5]	Диаграмма 12-31
--	--------------------

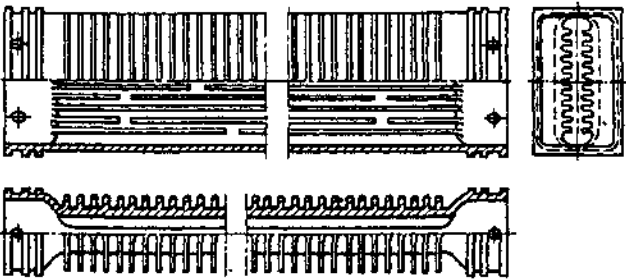
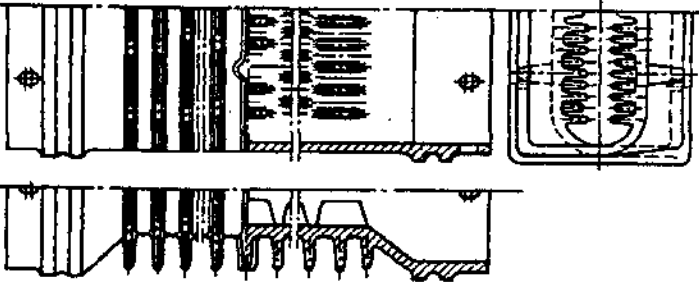
Трубы пучка, их расположение и схема	<p>Коэффициент сопротивления</p> $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{0cp}^2 / 2}$ $\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho_1 w_1^2 / 2} = \zeta \left( \frac{\rho_1}{\rho_{cp}} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_0} \right)^2$
--------------------------------------	--

Типа «Элеско», в шахматном порядке	$10^4 < Re = \frac{w_{0cp} d_n}{\nu} < 4 \cdot 10^4;$ $\zeta = 0,46 z_p + \Delta \zeta_1$
------------------------------------	---

 <p>С проволочным оребрением</p> $\frac{S_1}{d_n} = 2,1 \div 3,0; \quad \frac{S_2}{d_n} = 1,5 \div 2,5;$ $\frac{l_0}{h_2} = 0,1 \div 0,3; \quad \frac{h_1}{h_2} = 0,8 \div 2,5; \quad \frac{d_n}{h_2} = 1,4 \div 2,2$ <p>бандажная проволока  <math>d_0 = 0,5 \div 0,7 \text{ мм}; \quad a = 4 \div 5 \text{ мм}; \quad h_2 = 7 \div 9 \text{ мм}</math></p>	<p>а) <math>Re = \frac{w_{0cp} h_2}{\nu} = 650 \div 6000:</math></p> $\zeta = 3,2 z_p Re^{-0,24} \left( \frac{l_0}{h_2} \right)^{-0,365} \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^{0,15} \left( \frac{d_n}{h_2} \right)^{0,1} + \Delta \zeta_1;$ <p>б) <math>Re &gt; 6000:</math></p> $\zeta = 0,28 z_p \left( \frac{l_0}{h_2} \right)^{-0,365} \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^{0,15} \left( \frac{d_n}{h_2} \right)^{0,1} + \Delta \zeta_1$
--	--

$\Delta \zeta_{ex}$ ,  $T_{cp}$ ,  $\rho_{cp}$ ,  $w_{0cp}$ ,  $z_p$ ,  $\nu$  и  $\zeta_{cp}$  см. диаграмму 12-28

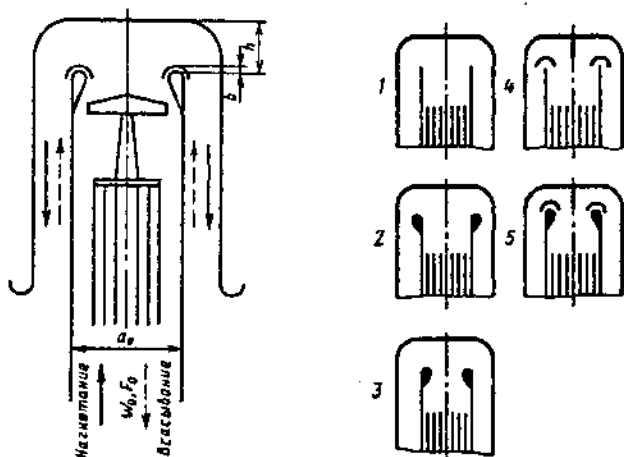
Теплообменник и схема	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_{ср} w_{ср}^2 / 2}$
<p>Кожухотрубный при продольном омывании труб</p> 	<p><math>\zeta = \lambda_n l / d_r + \Delta \zeta_n</math>, где <math>\lambda_n</math> см. диаграмму 2-9</p>
<p>Кожухотрубный при протекании потока по трубам</p>	<p><math>\zeta = 0,5 \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right) + \left(1 - \frac{F_0}{F_1}\right)^2 + \lambda \frac{l_0}{d_0} + \Delta \zeta_n</math>; <math>\lambda</math> — см. диаграммы 2-1—2-6</p>
<p>Двухходовой с поперечно-омываемым пучком труб (поворот на 180°)</p> 	<p><math>\zeta = \zeta_{180} + \zeta_{пуч} + \Delta \zeta_n</math>, где <math>\zeta_{180}</math> находят, как <math>\zeta</math> П-образного колена при <math>l_0/b_0 = 0</math>, по диаграмме 6-13; <math>\zeta_{пуч}</math> определяется, как <math>\zeta</math> соответствующего пучка труб, по диаграммам 12-28—12-31</p>
<p>Со смешанным омыванием пучка труб (перебегающие участки поперечного и продольного омывания)</p> 	<p><math>\zeta = \zeta_{пуч} + \zeta_{тр} + \Delta \zeta_n</math>, где для схемы а <math>\zeta_{пуч}</math> находят, как <math>\zeta</math> соответствующего пучка, на диаграммах 12-28—12-31, взятый только для половины рядов пучка труб каждого участка поперечного омывания; для схемы б <math>\zeta_{пуч}</math> определяется, как <math>\zeta</math> пучка, на тех же диаграммах, но для всех рядов труб, захваченных перегородкой, и для половины труб, выступающих из нее; <math>\zeta_{тр} = \lambda_n l / d_r</math>, где <math>\lambda_n</math> см. диаграмму 2-9 (для продольных пучков); <math>\Delta \zeta_n</math>, <math>T_{ср}</math>, <math>\rho_{ср}</math>, <math>w_{0ср}</math>, <math>\nu</math> см. диаграмму 12-28</p>

Характеристика	Коэффициент сопротивления $\zeta = \frac{\Delta p}{\rho_{cp} w_{0cp}^2 / 2}$
<p>Рёбристые, чугунные (<math>d_r = 0,0425</math> м)</p> 	<p>1) По воздушной стороне (течение внутри труб):</p> $\zeta = 1,06 + 0,04 \frac{l_0}{d_r} + \Delta\zeta_i;$ <p>2) по газовой стороне (внешнее обтекание труб):</p> <p>а) <math>Re = \frac{w_{0cp} d_r}{\nu} &lt; 10^4</math>:</p> $\zeta = (1,2 + 1,16z_p) Re^{-0,12} + \Delta\zeta_i;$ <p>б) <math>Re \geq 10^4</math>:</p> $\zeta = 0,4 + 0,334z_p + \Delta\zeta_i.$ <p>Для загрязненных труб <math>\zeta_{гр} = (1,2 + 1,3)\zeta</math></p>
<p>Рёбристо-зубчатые</p> 	<p>1) По воздушной стороне (течение внутри труб):</p> <p>а) <math>Re = \frac{w_{0cp} d_r}{\nu} &lt; 10^4</math>:</p> $\zeta = 1,06 + 0,77 \frac{l_0}{d_r} Re^{0,22} + \Delta\zeta_i;$ <p>б) <math>Re \geq 10^4</math>:</p> $\zeta = 1,06 + 0,10 \frac{l_0}{d_r} + \Delta\zeta_i.$ <p>2) по газовой стороне (внешнее обтекание труб):</p> <p>а) <math>Re &lt; 10^4</math>:</p> $\zeta = (1,2 + 1,16z_p) Re^{-0,12} + \Delta\zeta_i;$ <p>б) <math>Re \geq 10^4</math>:</p> $\zeta = 0,4 + 0,334z_p + \Delta\zeta_i.$ <p>Для загрязненных труб <math>\zeta_{гр} = (1,2 + 1,3)\zeta</math>.</p> <p><math>\Delta\zeta_i, T_{cp}, \rho_{cp}, w_{0cp}, z_p</math> и <math>\nu</math> см. диаграмму 12-28</p>

Нагревательная печь с поворотом потока на 180° в одной плоскости при наличии плоской рассечки и садки;

Диаграмма 12-34

$$Re = \frac{w_0 a_1}{\nu} \geq 8 \cdot 10^5 \quad [12-94]$$



Всасывание:

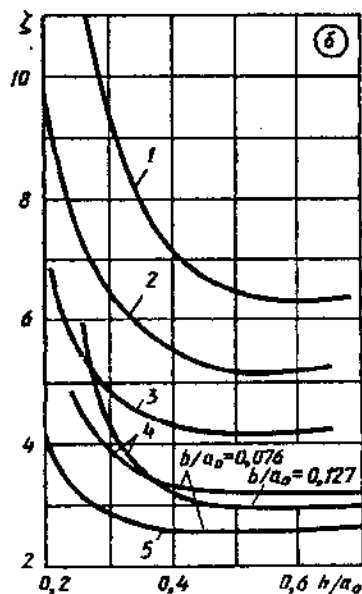
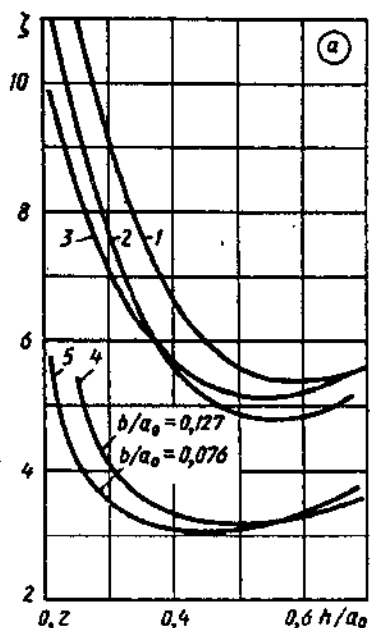
$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. график а;}$$

нагнетание:

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \text{ см. график б}$$

Значения  $\zeta$  при всасывании

№ варианта	$h/a_0$										
	0,2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
1	—	12,0	9,0	7,5	6,5	6,0	5,7	5,5	5,4	5,5	5,6
2	11,5	9,5	7,6	6,3	5,5	5,2	4,9	4,8	4,8	5,0	5,3
3	10,0	8,5	7,0	6,2	5,7	5,4	5,2	5,1	5,2	5,5	5,6
4	—	5,4	4,1	3,6	3,3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
5	5,8	4,2	3,5	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7



Нагревательная печь с поворотом потока на 180° в одной плоскости при наличии плоской рассечки и сажки;

$$Re = \frac{w_0 a_0}{\nu} \geq 8 \cdot 10^5 \quad [12-94]$$

Диаграмма 12-34

Значения  $\zeta$  при нагнетании

№ варианта	$h/a_0$										
	0,2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
1	—	11,5	9,3	8,0	7,2	6,7	6,5	6,4	6,3	6,4	6,4
2	9,8	7,2	6,5	5,8	5,5	5,3	5,2	5,2	5,2	5,3	5,4
3	7,0	5,5	4,9	4,5	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,4
4	—	4,7	3,9	3,5	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
5	4,0	3,3	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

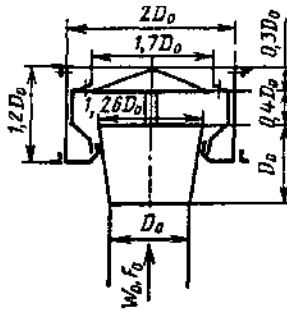
Дефлекторы [12-95, 12-96]

Диаграмма 12-35

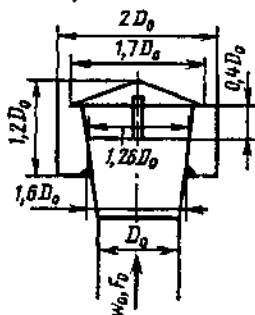
Тип дефлектора, схема и коэффициент сопротивления

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

ЦАГИ, круглый,  $\zeta = 0,64$



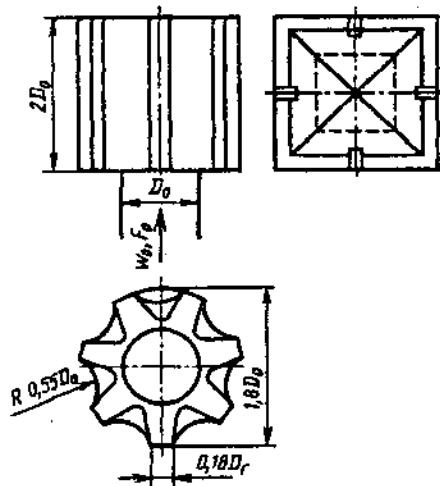
ЦАГИ, квадратный; остроугольный,  $\zeta = 0,7$  с цилиндрическим кожухом,  $\zeta = 0,65$



Тип дефлектора, схема и коэффициент сопротивления

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

Шанар-Этуаль  $\zeta = 1,0$



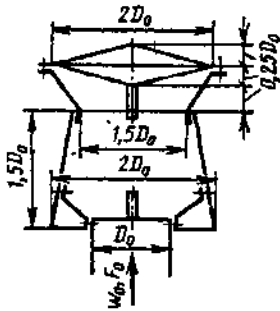
Дефлекторы [12-95, 12-96]

Диаграмма  
12-35

Тип дефлектора, схема и коэффициент сопротивления

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

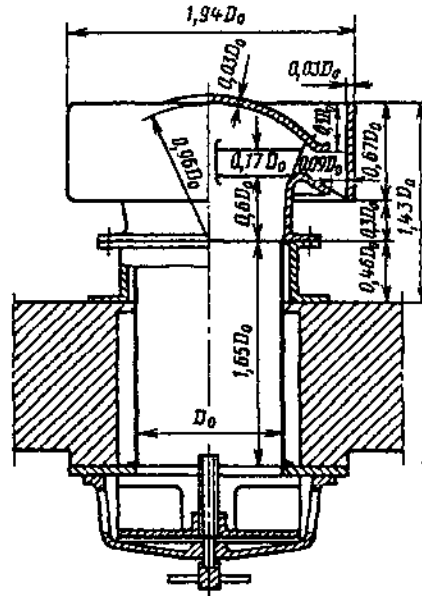
Григоровича  
 $\zeta = 1,04$



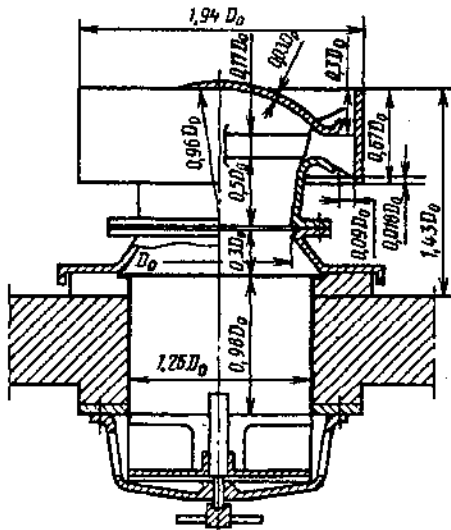
Тип дефлектора, схема и коэффициент сопротивления

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$$

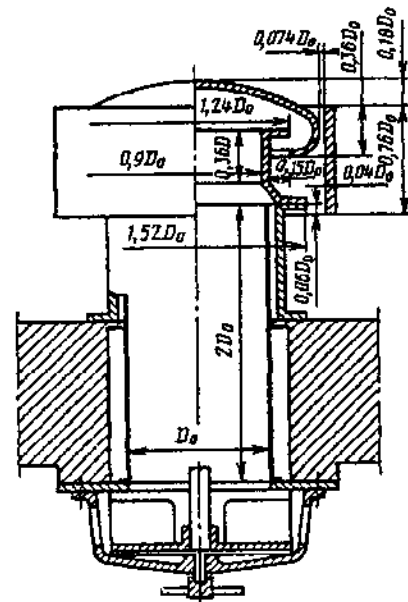
ЦАГИ, унифицированный для вагонов с переходным патрубком,  $\zeta = 2,6$  (с крышкой)

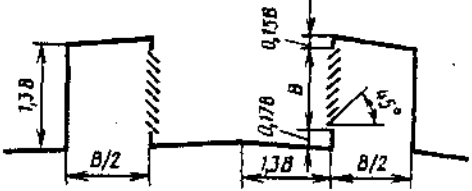
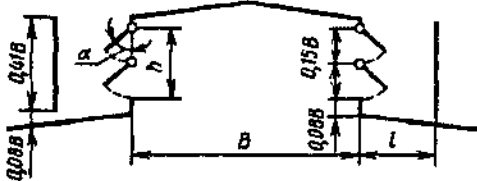
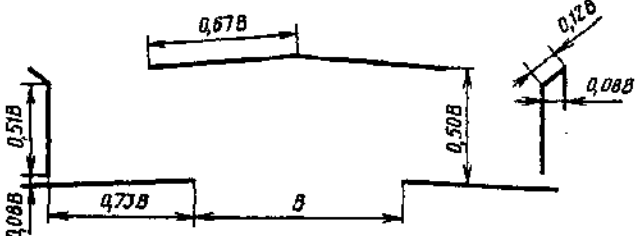
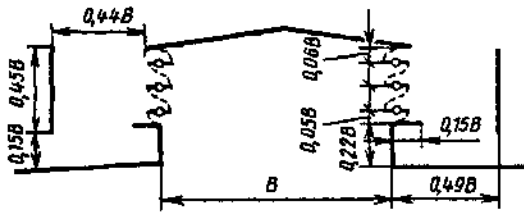
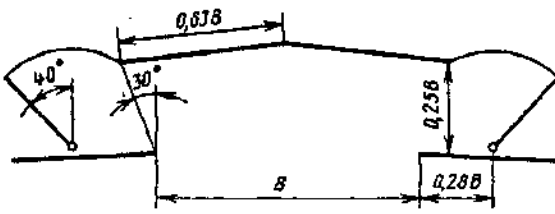


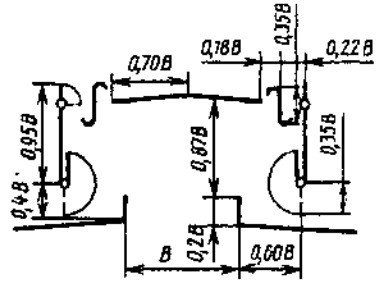
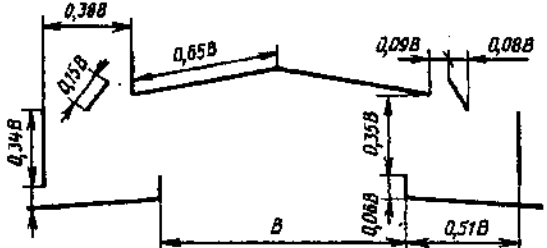
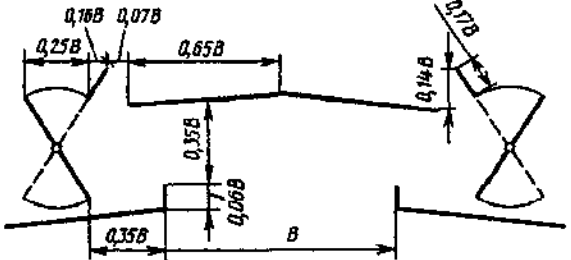
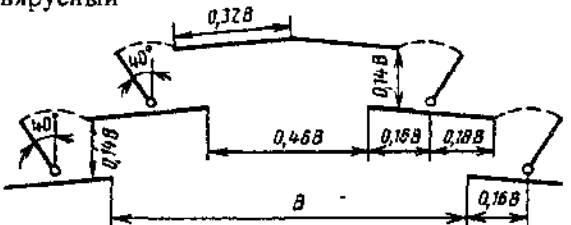
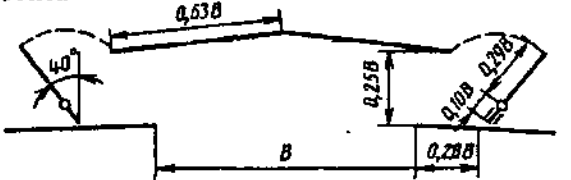
ЦАГИ, унифицированный,  $\zeta = 1,4$  (без крышки)  
для вагонов без переходного патрубка  $\zeta = 3,0$  (с крышкой)



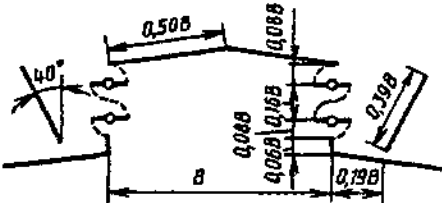
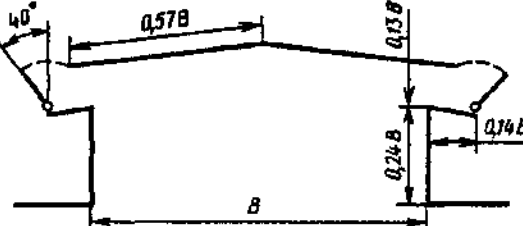
Чеснокова  $\zeta = 10,6$  (без крышки)  
 $\zeta = 11,6$  (с крышкой)



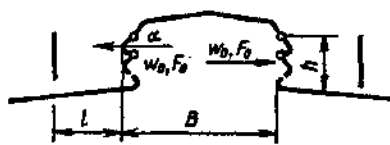
Тип фонаря и схема	$\alpha^\circ$	$l/h$	$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$
Батурина-Брандта с решеткой 	45	1,3	6,5
То же со створками 	80	1,3	6,8
ЛД-4 	0	1,46	8,3
ЛЕН ПСП с двумя створками То же с тремя створками 	80 80	1,49 1,49	3,9 3,9
КТИС 	40	1,12	4,3

Фонари (азрационные) различных типов [12-80]	Диаграмма 12-36		
Тип фонаря и схема	$\alpha^\circ$	$l/h$	$\zeta = \frac{\Delta\rho}{\rho w_0^2/2}$
МИОТ-2 МИОТ-2а 	0 0	0,69 0,86	9,0 5,8
ПСК-1 	0	1,45	5,3
ПСК-2 — при летнем режиме ПСК-2 — при зимнем режиме 	— —	1,0 1,0	5,1 8,6
Двухъярусный 	40	1,12	4,2
Гипротиса 	40	1,12	4,6



Фонари (азрационные) различных типов [12-80]		Диаграмма 12-36	
Тип фонаря и схема	$\alpha^\circ$	$l/h$	$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$
Рюкина — Ильинского 	40	0,58	4,3
Фонарь-здание 	40	1,12	3,3

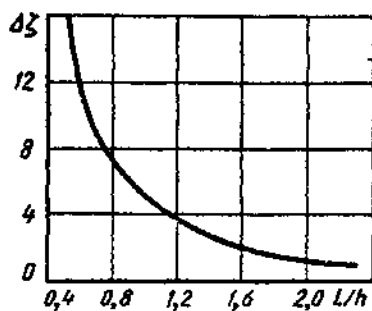
Фонари с панелями (прямоугольные азрационные) [12-92]		Диаграмма 12-37	
---	--	-----------------	--



$$\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = a + \Delta \zeta,$$

где  $a = f(\alpha)$ ;

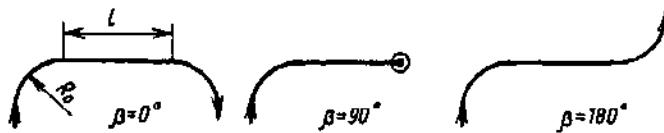
$$\Delta \zeta = \frac{3}{(l/h)^2} + \frac{2}{l/h} = f\left(\frac{l}{h}\right)$$



$l/h$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	$\infty$
$\Delta \zeta$	16	5,0	2,6	1,8	1,3	0,7

$\alpha^\circ$	35	45	55
$a$	8,25	5,25	3,15





$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \psi \sum \zeta = \psi (\zeta'_m + \zeta''_m),$$

где  $\zeta_{\Sigma}$ —суммарный коэффициент сопротивления отводов данной системы (узла) при их совместной работе;  $\zeta'_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$  и  $\zeta''_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$ —коэффициенты сопротивления соответственно первого и второго отводов, приведенные к одной и той же скорости  $w_0$  и определяемые по данным соответствующих диаграмм шестого раздела для изолированных отводов;

$$\psi = \frac{\zeta_{\Sigma}}{\zeta_1 + \zeta_2} \text{— степень взаимного влияния, см. таблицу}$$

Значения  $\psi$

Относительный радиус закругления $R_0/D_0$	Отвод		Угол $\beta^\circ$ взаимной ориентации	Относительное расстояние $l/D_0$ между отводами			
	первый	второй		0—1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 10
	$\delta_1^\circ$	$\delta_2^\circ$					
1,0	90	90	180	0,80	0,80	0,75	0,80
	90	90	90	0,90	0,85	0,80	0,90
	90	90	0	0,60	0,65	0,70	0,80
	90	45	90	0,75	0,75	0,65	0,70
	45	90	90	0,95	0,95	0,80	0,70
	45	45	90	0,55	0,55	0,60	0,65
	90	90	90	0,85	0,80	0,75	0,85
2,5	90	90	180	0,85	0,80	0,75	0,85
	90	90	90	0,85	0,80	0,75	0,85
	90	90	0	0,60	0,60	0,70	0,80
	60	60	180	0,85	0,85	0,85	0,90
	45	45	180	0,80	0,80	0,75	0,80
	45	90	90	0,95	0,95	0,90	0,85
	90	45	90	0,85	0,80	0,80	0,85

Взаимное влияние сочетаний «отвод-тройник» (отвод  $\delta = 90^\circ, R_0/D_0 = 2, 3$ ; тройник  $\alpha = 90^\circ$ );  $R_0/D_0 = 2, 3$   $Re > 10^4$  [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-40, 12-50, 12-90]

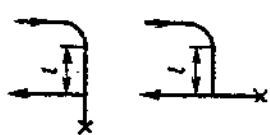
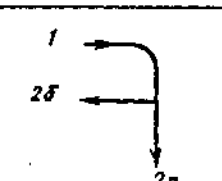
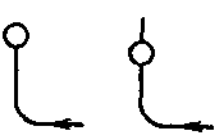
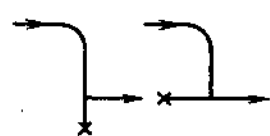
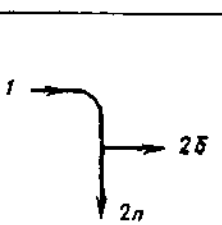
Диаграмма  
12-40

$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \psi (\zeta_m + \zeta'_2),$$

где  $\zeta_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$  — коэффициент сопротивления отвода, определяемый по соответствующей

диаграмме шестого раздела для изолированного отвода;  $\zeta'_2 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{2,c} \left( \frac{w_c}{w_0} \right)^2$  — коэффициент сопротивления соответствующего ответвления тройника (прохода или бокового ответвления), приведенный к скорости  $w_0$ ;  $\zeta_{2,c}$  — коэффициент сопротивления соответствующего ответвления тройника, определяемый по соответствующей диаграмме седьмого раздела для изолированного тройника ( $\zeta_{2,c} = \zeta_{c,b}$  или  $\zeta_{2,c} = \zeta_{c,u}$ );  $\psi$  — см. таблицу;  $\beta$  — угол взаимной ориентации соседних элементов

Значения  $\psi$

$\beta^\circ$	Тип сечения и взаимная ориентация	$l/D_0$				
		0—2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 10	Св. 10 до 20	
0		0,75	0,80	0,82	0,95	
		1—26	0,87	0,88	0,90	0,95
		1—2п	0,20	0,40	0,70	0,95
	90°		0,92	0,93	0,97	1,0
180°		0,97	0,97	0,98	1,0	
		1—26	0,93	0,93	0,93	0,97
		1—2п	0,90	0,90	0,90	1,0
			26; 2п; 1—26; 1—2п — см. диаграмму 12-42			

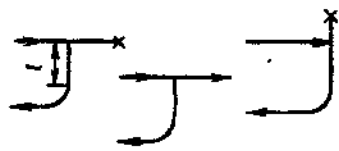


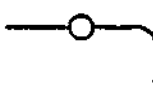
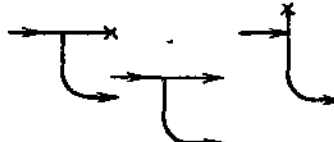

Взаимное влияние сочетания «тройник — отвод» (отвод  $\delta = 90^\circ$ ,  $R_0/D_0 = 2, 3$ ;  
тройник  $\alpha = 90^\circ$ );  $Re > 10^4$   
[12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-41

$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2} = \psi(\zeta_{1,c} + \zeta'_m),$$

где  $\zeta_{1,c} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2}$  — коэффициент сопротивления прохода или бокового ответвления тройника, приведенный к скорости  $w_c$  и определяемый по соответствующим диаграммам седьмого раздела для изолированного тройника;  $\zeta'_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2}$  — коэффициент сопротивления отвода, приведенный к скорости  $w_c$  [ $\zeta'_m = \zeta_m \left(\frac{w_0}{w_c}\right)^2$ , где  $\zeta_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$  — коэффициент сопротивления отвода, определяемый по соответствующей диаграмме шестого раздела для изолированного отвода];  $\beta$  — угол взаимной ориентации элементов;  $\psi$  — см. таблицу

Значения  $\psi$

$\beta^\circ$	Тип сочетаний и взаимная ориентация	$l/D_0$			
		0-2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 10	Св. 10 до 20
0		0,90	0,93	0,95	0,97
		1,40	1,25	1,10	1,0
90		0,95	0,95	0,95	0,97
		0,97	1,00	1,00	1,00
180		1,05	1,03	0,97	1,0
		0,60	0,80	0,90	1,0

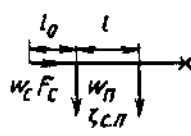
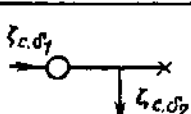
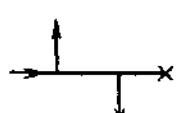
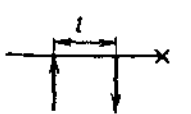
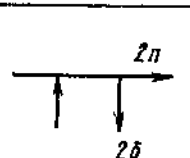
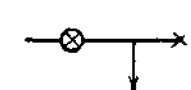
Взаимное влияние сочетаний «тройник — тройник» (тройники  $\alpha = 90^\circ$ ) при  
 $l_0/D_c > 6$ ;  $Re > 10^4$   
 [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-42

$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2 / 2} = \psi (\zeta_{c.n} + \zeta'_{2.c}),$$

где  $\zeta_{c.n} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2}$  — коэффициент сопротивления прохода тройника (участок между первым и вторым боковым ответвлением), определяемый по соответствующей диаграмме седьмого раздела для изолированного тройника;  $\zeta'_{2.c} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c'^2} = \zeta_{2.c} \left( \frac{w_c}{w_c'} \right)^2$  — коэффициент сопротивления второго тройника, приведенный к скорости  $w_c'$ ;  $\zeta_{2.c} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c'^2}$  — коэффициент сопротивления соответствующего ответвления (прохода или бокового ответвления) тройника, определяемый по диаграммам седьмого раздела для изолированного тройника ( $\zeta_{2.c} = \zeta_{c.6}$  или  $\zeta_2 = \zeta_{c.n}$ );  $\beta$  — угол взаимной ориентации соседних элементов;  $\psi$  — см. таблицу

Значения  $\psi$

$\beta^\circ$	Тип сочетания и взаимная ориентация боковых ответвлений	$l/D_0$				
		0—2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 20
0	Раздающий коллектор 	1,45	1,3	1,2	1,10	0,95
90		1,15	1,0	0,97	0,95	0,95
180		0,70	0,67	0,75	0,85	0,95
0	Смешанный коллектор 	0,80	0,87	0,95	1,0	1,0
		1—26	1,07	1,03	1,0	1,0
		1—2п	0,50	0,70	0,90	1,0
90		1,15	1,07	1,03	1,0	1,0

Взаимное влияние сочетаний «тройник—тройник» (тройники  $\alpha=90^\circ$ ) при  $l_0/D_c > 6$ ;  $Re > 10^4$   
[12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-42

$\beta^\circ$	Тип сочетания и взаимная ориентация боковых ответвлений	$l/D_0$					
		0-2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 20	
180		1,30	1,17	1,05	1,0	1,0	
		1-2б	1,30	1,17	1,07	1,03	1,0
		1-2п	1,45	1,25	1,05	1,0	1,0

2б — боковое ответвление второго тройника; 2п — проход второго тройника; 1-2б участок от первого элемента до второго тройника; 1-2п — участок от первого элемента до прохода второго тройника

Взаимное влияние сочетаний «сборный тройник—коллектор», «отвод—коллектор» ( $\alpha=90^\circ$ );  $Re > 10^4$   
[12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-43

$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2} = \psi(\zeta_1 + \zeta_{2.п} + \zeta'_{2.б}),$$

где  $\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$  — коэффициент сопротивления первого элемента, приведенный к скорости  $w_0$ , определяемый по диаграмме соответствующего раздела для изолированного элемента;  $\zeta_{2.п} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$  — коэффициент сопротивления второго участка прохода, приведенный к скорости  $w_0$  [ $\zeta_{2.п} = \zeta_{с.п} \left(\frac{w_c}{w_0}\right)^2$ , где  $\zeta_{с.п} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2}$  — коэффициент сопротивления прохода тройника, определяемый по соответствующей диаграмме седьмого раздела для изолированного тройника];  $\zeta'_{2.б} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2/2}$  — коэффициент сопротивления второго бокового ответвления тройника (коллектора), приведенный к скорости  $w_0$  [ $\zeta'_{2.б} = \zeta_{с.б} (w_c/w_0)^2$ , где  $\zeta_{с.б} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_c^2/2}$  — коэффициент сопротивления бокового ответвления, определяемый по соответствующей диаграмме седьмого раздела для изолированного тройника];  $\beta$  — угол взаимной ориентации элементов;  $\psi$  — см. таблицу

Взаимное влияние сочетаний «сборный тройник — коллектор» — «отвод — коллектор» ( $\alpha = 90^\circ$ )  $Re > 10^4$   
 [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-43

Значения  $\psi$

Тип сочетаний и взаимная ориентация элементов			$l_1/D_0$					
$\beta_1^\circ$	Схема	$\beta_2^\circ$	0-2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12
0		0	0,50	0,70	1,0	1,15	—	—
0		0	0,50	0,70	0,95	1,20	1,40	1,55
90		0	0,72	0,80	1,0	1,25	1,45	1,60
180		0	1,05	1,15	1,25	1,40	1,60	1,70
0		180	0,60	0,85	0,93	0,95	1,00	1,07
90		180	0,90	0,95	0,95	1,05	1,10	1,15
180		180	1,05	0,95	1,00	1,03	1,10	1,20
0		90	0,65	0,87	1,07	1,20	1,35	1,45



<p>Взаимное влияние сочетаний «сборный тройник — коллектор» — «отвод — коллектор» (<math>\alpha = 90^\circ</math>) <math>Re &gt; 10^4</math>                  [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]</p>	<p>Диаграмма 12-43</p>
---	------------------------

Тип сочетаний и взаимная ориентация элементов			$l_1/D_0$					
$\beta_1^\circ$	Схема	$\beta_2^\circ$	0-2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12
90		90	0,75	0,80	0,90	1,05	1,20	1,30
90		90	0,80	0,85	1,00	1,12	1,25	1,35
180		90	1,0	0,98	1,11	1,25	1,40	1,5

Изменение расстояния  $l_2/D_0$  между боковыми ответвлениями раздающего коллектора в пределах  $(1 \div 10)D_0$  практически не влияет на коэффициент  $\psi$

<p>Взаимное влияние сочетания «фасонная часть — арматура»; <math>Re &gt; 10^4</math>                  [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]</p>	<p>Диаграмма 12-44</p>
---	------------------------

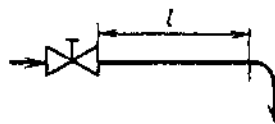
$$\zeta_{\Sigma} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \psi (\zeta'_m + \zeta''_m),$$

где  $\zeta'_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$  — коэффициент сопротивления фасонной части (тройника, отвода), определяемый по диаграммам соответствующих разделов для изолированных фасонных частей;  $\zeta''_m \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2}$  — то же для арматуры, определяемый по соответствующим диаграммам девятого раздела для изолированной арматуры и приведенный к скорости  $w_0$ ;  $\psi$  — степень взаимного влияния, см. таблицы

1. Сочетание «отвод — арматура» при всех возможных ориентациях

Взаимное влияние сочетания «фасонная часть — арматура»; $Re > 10^4$ [12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]	Диаграмма 12-44
--	-----------------

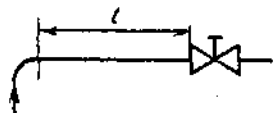
Значения  $\psi$



Сочетание	Относительное расстояние между отводами и арматурой $l/D_0$		
	0-2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 10
Отвод — клапан проходной	0,90	0,93	0,96
Отвод — клапан угловой	1,06	1,04	1,02
Отвод — клинкерная задвижка	1,20	1,10	1,05

2. Сочетание «арматура — отвод» при всех возможных ориентациях

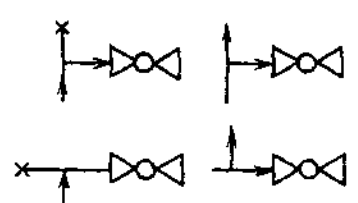
Значения  $\psi$



Сочетание	Относительное расстояние между арматурой и отводом $l/D_0$			
	0-1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 10
Клапан проходной — отвод	0,97	0,97	0,98	0,98
Клапан угловой — отвод	0,95	0,96	0,97	0,98
Клинкерная задвижка — отвод	1,10	1,08	1,05	1,02

3. Сочетание «тройник — арматура»

Значения  $\psi$

Тип сочетания	Относительное расстояние между пересечением осей тройника и арматурой $l/D_0$		
	0-2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 10
	0,94	0,96	0,98

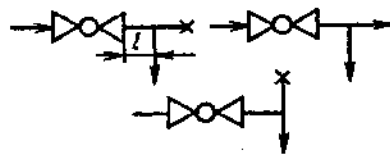
Взаимное влияние сочетания «фасонная часть — арматура»;  $Re > 10^4$   
[12-14, 12-18, 12-19, 12-26, 12-48, 12-49, 12-90]

Диаграмма 12-44

#### 4. Сочетание «клапан — тройник»

Значения  $\psi$

Взаимная ориентация элементов	Относительное расстояние между арматурой и пересечением осей тройника $l/D_0$		
	0-2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 7
	0,98	0,99	1,0



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### ПЕРВЫЙ РАЗДЕЛ

1-1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М., 1969. 824 с.

1-2. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М., 1982. 224 с.

1-3. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика. М., 1975. 327 с.

1-4. Аэродинамический расчет котельных установок/Под ред. С. И. Мочана. Л., 1977. 255 с.

1-5. Брановер Г. Г., Гельфгат Ю. М., Васильев А. С. Турбулентное течение в плоскости, перпендикулярной магнитному полю//Изв. АН Латв. ССР. сер. физ.-тех. наук. 1966. № 4. С. 78—84.

1-6. Бурдуков А. П., Валюкина Н. В., Нокорьяков В. Е. Особенности течения газожидкостной пузырьковой смеси при малых числах Рейнольдса//Ж-л прикладной механики и технич. физики. 1975. № 4. С. 137—139.

1-7. Бурдуков Г. Д. Справочник по международной системе единиц. М., 1971. 231 с.

1-8. Вакина В. В. Истечение вязких жидкостей при высоких перепадах давления через дроссельные шайбы//Вестн. машиностроения. 1965. № 8. С. 93—101.

1-9. Витков Г. А., Орлов И. И. Гидравлические расчеты систем по их интегральным характеристикам (гетерогенные системы). М., 1980. 16 с. Деп. в ВИНТИ 28.01.80., № 337—80.

1-10. Витков Г. А., Орлов И. И. Гидравлические расчеты систем по их интегральным характеристикам (гомогенные системы). М., 1980. 30 с. Деп. в ВИНТИ 28.01.80., № 338—80.

1-11. Вулис Л. А., Парамонова Т. А., Фоменко Б. А. О сопротивлении при течении жидкого металла в магнитном поле//Магнитная гидродинамика. 1968. № 1. С. 68—74.

1-12. Гартман Ю., Лазарус Ф. Экспериментальное исследование течения ртути в однородном магнитном поле//Гаррис Л. МГД-течения в каналах. М., 1963. 262 с.

1-13. Геллер З. И., Скобельцин Ю. А., Междов В. Х. Влияние колец на истечение жидкости из насадок и отверстий//Изв. вузов. Нефть и газ. 1969. № 5. С. 65—67.

1-14. Гений Л. Г., Жилин В. Г. Влияние продольного магнитного поля на коэффициент сопротивления при течении ртути в круглой трубе//Теплофизика высоких температур. 1966. Т. 4. № 2. С. 233—237.

1-15. Гига Е. А. Стабилизация напорных турбулентных потоков после местных сопротивлений: Дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1986. 186 с.

1-16. Гиль Б. Б. Приближенный метод расчета поля скоростей в задачах МГД-сепарации//Новые физические методы сепарации минерального сырья. М., 1969. С. 59—68.

1-17. Гиневский А. С., Солодкин Е. Е. Гидравлическое сопротивление кольцевых каналов

//Промышленная аэродинамика № 20. М., 1961. С. 202—215.

1-18. Гиневский А. С., Солодкин Е. Е. Аэродинамические характеристики начального участка трубы кольцевого сечения при турбулентном течении в пограничном слое//Промышленная аэродинамика. № 12. 1959. С. 155—168.

1-19. Грабовский А. М., Костенко Г. Н. Основы применения единиц СИ в тепловых и гидравлических расчетах. Киев, 1965. 106 с.

1-20. Губарев Н. С. Местные сопротивления арматуры трубопроводов воздуха высокого давления//Судостроение. 1957. № 3. С. 41—46.

1-21. Гухман А. А. Введение в теорию подобия. М., 1963. 254 с.

1-22. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Гидрогазодинамика. М., 1984. 284 с.

1-23. Еловских Ю. П. К расчету параметров газа в трубопроводе//Пневматика и гидравлика. М., 1979. Вып. 6. С. 132—141.

1-24. Зелькин Г. Г. Гидравлическая индукция при пуске несжимаемой жидкости в заполненный и незаполненный трубопровод с местными сопротивлениями//Инж.-физ. ж-л. 1984. Т. 47. № 5. С. 856—857.

1-25. Зелькин Г. Г. Нестационарные течения в местных сопротивлениях. Минск, 1981. 141 с.

1-26. Зелькин Г. Г. Явление гидравлической индукции при неустановившемся движении несжимаемой вязкой жидкости//Инж.-физ. ж-л. 1971. Т. 21. № 6. С. 1127—1130.

1-27. Идельчик И. Е. Насадки//БСЭ. 1953. Т. 29. С. 184—185.

1-28. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

1-29. Идельчик И. Е. Некоторые замечания по поводу гидравлических потерь, возникающих при движении реальной жидкости (газа) в напорных системах//Известия вузов. Энергетика. 1975. № 9. С. 99—104.

1-30. Киселев П. Г. Гидравлика, основы механики жидкости. М., 1980. 360 с.

1-31. Комлев А. Ф., Скобельцын Ю. А., Геллер З. И. Влияние формы и размеров входа на коэффициент расхода внешних цилиндрических насадков//Изв. вузов. Нефть и газ. 1968. № 11. С. 59—61.

1-32. Левин В. Б., Ченешов А. И. Экспериментальное исследование турбулентного течения электропроводной жидкости в трубе в продольном магнитном поле//Магнитная гидродинамика. 1966. № 4. С. 147—150.

1-33. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд., перераб. М., 1978. 736 с.

1-34. Лютхер В. М., Прудовский А. М. Гидродинамическое моделирование. М., 1984. 392 с.

1-35. Макаров А. Н., Шерман М. Я. Расчет дроссельных устройств. М., 1953. 283 с.

1-36. Малков М. П., Павлов К. Ф. Справочник по глубокому охлаждению. М., 1947. 411 с.

1-37. Мергертройд В. Экспериментальные МГД-течения в каналах. М., 1963. С. 196—201.

1-38. Михеев М. А., Филимонов С. С., Хрусталева Б. А. Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления при движении воды в трубах//Конвективный и лучистый теплообмен. М., 1960. С. 33—55

1-39. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Ч. I. М., 1965. 640 с., Ч. II. М., 1967. 720 с.

1-40. Невельсон М. И. Центробежные вентиляторы. М., 1954. 335 с.

1-41. Петухов Б. С., Краснощеков Е. А. Гидравлическое сопротивление при вязком неизотермическом движении жидкости в трубах//ЖТФ, 1958. Т. 28. Вып. 6. С. 1207—1209.

1-42. Петухов Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. М., 1967. 412 с.

1-43. Писаревский В. М., Пономаренко Ю. Б. Об изменениях плотности и давления газа в местных сопротивлениях трубопроводов//Изв. вузов. Машиностроение. 1979. № 8. С. 66—70.

1-44. Прандтль Л. Гидроаэродинамика. М., 1953. 520 с.

1-45. Промышленная аэродинамика/Тр. ЦАГИ. М., 1954. Сб. № 7 (воздуховоды). 154 с.

1-46. Рихтер Г. Гидравлика трубопроводов. М., 1936. 340 с.

1-47. Седов Л. И. Методы подобия и размерностей в механике. М., 1967. 428 с.

1-48. Скобельцын Ю. А., Междов В. Х., Геллер З. И. Истечение жидкости из внутренних цилиндрических насадков при несовершенном сжатии, вызванном экраном или скосом торца//Изв. вузов. Нефть и газ. 1967. № 9. С. 71—74.

1-49. Скобельцын Ю. А., Башилов Е. Б., Геллер З. И. Истечение жидкости из внешних цилиндрических капиллярных насадков//Изв. вузов. Нефть и газ. 1971. № 10. С. 80—84.

1-50. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Турбулентное течение вязкой жидкости в начальных участках осесимметричных и плоских каналов. М., 1957. 55 с. (Труды ЦАГИ, № 701).

1-51. Справочник по гидравлическим расчетам/Под ред. П. Г. Киселева. 4-е изд. М., 1972. 312 с.

1-52. Справочник химика. Т. I. М., 1951. 1072 с.

1-53. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов/Под ред. Н. Б. Варгафтика. М., 1972. 720 с.

1-54. Степанов П. М., Овчаренко И. Х., Скобельцын Ю. А. Справочник по гидравлике для мелиораторов. М., 1984. 207 с.

1-55. Сточек Н. П., Шапиро А. С. Гидравлика жидкостных ракетных двигателей. М., 1978. 127 с.

1-56. Тананзаев А. В. Течение в каналах МГД-устройств. М., 1979. 364 с.

1-57. Тепло- и массообмен в электромагнитном поле/Э. Я. Блум, М. В. Закс, У. И. Иванов, Ю. А. Михайлов. Рига, 1967. 223 с.

1-58. Фабрикант Н. Я. Аэродинамика. М., 1964. 814 с.

1-59. Филиппов Г. В. О турбулентном течении во входных участках прямых труб круглого сечения//ЖТФ. Т. 28. 1958. № 8. С. 1823—1828.

1-60. Френкель Н. З. Гидравлика. М., 1956. 456 с.

1-61. Хожаннов А. И. Турбулентное течение жидкого металла в МГД-каналах круглого сечения//ЖТФ. 1966. Т. 36. С. 147—150. Вып. I.

1-62. Чжен П. Отрывные течения. Т. 1. 298 с. Т. 2. 280 с. Т. 3. 333 с. М., 1972.

1-63. Шиллер Л. Движение жидкостей в трубах. М., 1936. 230 с.

1-64. Шляхтинг Г. Теория пограничного слоя. М., 1974. 711 с.

1-65. Щербинин Э. В. Электропроводная жидкость в собственном магнитном поле электрического тока//Магнитная гидродинамика. Рига, 1975. № 1. С. 68—74.

1-66. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М., 1970. 331 с.

1-67. Эльтерман В. М. Воздушные завесы. М., 1966. 164 с.

1-68. Юрьев Б. Н. Экспериментальная аэродинамика. М., 1936. 315 с.

1-69. Varach A. L. The flow of heavy gases through small orifices, including comparison between oxygen and perfluoropropane,  $C_3F_8$  and perfluorobutane,  $C_4F_{10}$ //Amer. I. Med. Sci. 1962. V. 243. N 1. P. 30—34.

1-70. Benedikt P., Carlucci A. Handbook of specific losses in flow systems. Plenum press data Division. New York, 1970. 30 p.

1-71. Boussinesq I. Memoire sur l'influence des frottements dans les mouvements reguliers des fluides//J. de math pur et appl. 1868. N 13. P. 377—380.

1-72. Forst T. H. The compressible discharge coefficient of a Borda pipe and other nozzles//J. Royal aeronaut. Soc. 1964. N. 641. P. 346—349.

1-73. Iversen H. W. Orifice coefficients for Reynolds numbers from 4 to 50.000//Trans ASME. 1956. V. 78. N. 2. P. 359—364.

1-74. Jackson R. A. The compressible discharge of air through small thick plate orifices//Appl. Scient. Res. 1964. V. A13. N 4—5. P. 241—248.

1-75. Kolodzie P. A., Van Winkle M. Discharge coefficients through perforated plates//A. J. Ch. E. Journal. 1959. V. 3. P. 305—312.

1-76. Maa Yeh, Ru. Gas flow through an annular gap//J. Vacuum Sci. and Technol. 1968. V. 5. P. 153—154.

1-77. Murakami M., Katayama K. Discharge coefficients of fire nozzles//Trans. ASME. 1966. V. D88 N 4. P. 706—716.

1-78. Wielogorski J. W. Flow through narrow rectangular notches//Engineer. 1966. V. 221. N 5761. P. 963—965.

## ВТОРОЙ РАЗДЕЛ

### Однофазный поток

2-1. Адамов Г. А., Идельчик И. Е. Экспериментальное исследование сопротивления фанерных труб круглого и квадратного сечений при вполне развитом турбулентном течении. М., 1948. 27 с.

2-2. Адамов Г. А., Идельчик И. Е. Экспериментальное исследование турбулентного течения в начальных участках прямых труб круглого и квадратного сечений. М., 1948. 14 с.

2-3. Адамов Г. А. Общее уравнение для закона сопротивления при турбулентном течении и новые формулы для коэффициента сопротивления шероховатых труб//Вестник инженеров и техников. 1952. № 1. С. 15—21.

2-4. Адамов Г. А. Приближенный расчет гидравлического сопротивления и движения газов и жидкостей в трубопроводах//Вопросы разработки и эксплуатации газовых месторождений. М., 1953. С. 231—264.

2-5. Альтшуль А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах. М., 1963. 256 с.

2-6. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М., 1982. 224 с.

2-7. Альтшуль А. Д., Полякова Э. Н. К вопросу о потерях напора на трение в бетонных напорных водоводах//Вопросы гидравлики и водоснабжения/Тр. МИСИ. 1980. Сб. № 174. С. 25—30.

2-8. Айнола Л. Я., Лийв У. Р. Коэффициент трения при ускоренных течениях в трубах//Неустановившиеся процессы в системах водоснабжения и водоотведения/Тр. Томского политехн. ин-та. 1984. № 569. С. 21—31.

2-9. Аронов И. З., Гомон В. И., Дрейцер Г. А. Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления при течении воды в трубах с кольцевыми турбулизаторами//Гидравлика. Современные проблемы гидродинамики и теплообмена в элементах энергетических установок и криогенной техники. Межвуз. сб. н.-т. исслед. ВЗМИ. М., 1978. Вып. 7. С. 101—109.

2-10. Байбаков Б. С., Орешкин О. Ф., Прудовский А. М. Сопротивление трения при ускоренном течении в трубе//Изв. АН СССР. МЖГ. 1981. № 5. С. 137—139.

2-11. Баренблатт Г. И., Городцов В. А., Калашников В. Н. Турбулентность аномальных жидкостей//Тепло- и массоперенос. Минск, 1968. Т. 3. С. 3—23.

- 2-12. Баренблатт Г. И., Калашников В. Н. О влиянии надмолекулярных образований в разбавленных растворах полимеров на турбулентность // Изв. АН СССР. МЖГ. 1968. № 3. С. 68—73.
- 2-13. Богданов Ф. Ф. Исследование гидравлических сопротивлений в пучках гладких труб при продольном обтекании // Атомная энергия. 1967. Т. 23. № 1. С. 15—21.
- 2-14. Богомолов Н. А. Уточненный метод аэродинамического расчета новых гибких вентиляционных воздуховодов // Изв. вузов. Горный журнал. 1963. № 4. С. 22—25.
- 2-15. Бродов Ю. М., Плотников П. Н., Рябчиков А. Ю. Определение поверхности профильных витых труб // Изв. вузов. Энергетика. 1981. № 12. С. 103—104.
- 2-16. Брошгейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М., 1980. 974 с.
- 2-17. Булеев Н. И., Полусухина К. Н., Пышин В. Г. Гидравлическое сопротивление и теплоотдача в турбулентном потоке жидкости // Теплофизика высоких температур. М., 1964. Т. 2. № 5. С. 748—753.
- 2-18. Быстров П. И., Михайлов В. С. Гидродинамика коллекторных аппаратов. М., 1982. 223 с.
- 2-19. Варфоломеева А. П. Гидравлика трубопроводов систем водяного отопления. Обзорная информация/Ротапринт ЦНТИ по гражданскому стро-ву и архитектуре. М., 1976. 66 с.
- 2-20. Васильченко А. Ю., Барбарницкая М. С. Сопротивление при неизотермическом движении жидкости в трубах с продольными ребрами // Теплоэнергетика. 1969. № 7. С. 17—22.
- 2-21. Введение в аэрогидродинамику контейнерного транспорта/Под ред. А. С. Гиневско-го. М., 1986. 232 с.
- 2-22. Воронин Ф. С. Влияние сжимаемости на коэффициент сопротивления трения при турбулентном течении газа // Инж.-физ. журн. 1959. Т. 2. № 11. С. 81—85.
- 2-23. Галимзятов Ф. Г. Пристенное турбулентное движение. Уфа, 1979. 119 с.
- 2-24. Гандельсман А. Ф., Гухман А. А., Илюхин И. В. Исследование изменения коэффициента трения при течении газа со сверхзвуковой скоростью // Теплоэнергетика. 1955. № 1. С. 17—23.
- 2-25. Герашенко Л. С. К определению потерь напора в железобетонных напорных трубах с тонкостенными сердечниками // Мелиорация и водное хозяйство. Республик. межвед. темат. н.-т. сборник. Киев, 1980. Вып. 49. С. 61—65.
- 2-26. Гидравлические потери на трение в водоводах электростанций/А. Д. Альтшуль, Ю. А. Войтинская, В. В. Казенов, Э. Н. Полякова. М., 1985. 104 с.
- 2-27. Гидравлические сопротивления стыковых соединений полиэтиленовых трубопрово-дов/Р. М. Мукурдимов, Ю. А. Реш, А. М. Гусанова и др. // Труды Ташкентского инст. инж. железнодорож. транспорта. 1970. Вып. 72. С. 27—37.
- 2-28. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках (основы расчета)/В. И. Субботин, М. Х. Ибрагимов, П. А. Ушаков, В. П. Бобков и др. М., 1975. 350 с.
- 2-29. Гиневский А. С., Солюдкин Е. Е. Гидравлическое сопротивление кольцевых каналов // Промышленная аэродинамика. М., 1961. Вып. 20. С. 202—215.
- 2-30. Гостев Е. А., Римаи И. С. Течение жидкости в кольцевом канале, имеющем эксцентриситет // Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 30. С. 58—64.
- 2-31. Даточный В. В. Гидравлический расчет городских газопроводов // Газовая пром-ть. 1961. № 12. С. 12—13.
- 2-32. Дзюбенко Б. В., Дрейцер Г. А. Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления в теплообменном аппарате с закруткой потока // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1979. № 5. С. 163—171.
- 2-33. Дзюбенко Б. В., Иевелев В. М. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в межтрубном пространстве теплообменника с закруткой потока // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1980. № 5. С. 117—125.
- 2-34. Дмитриев А. Ф. Гидравлические сопротивления и кинематика потока в дренажных трубопроводах мелиоративных осушительных систем: Дис. ... докт. техн. наук. Л., 1985. 250 с.
- 2-35. Дрейцер Г. А., Парамонов Н. В. Гидравлическое сопротивление и теплоотдача в спирально изогнутых трубах малого относительного диаметра и большого шага // Гидравлика, современные проблемы гидравлики и теплообмена в элементах энергетических установок и криогенной техники. Межвуз. сб. научн. тр., ВЗМИ. М., 1978. С. 10—20.
- 2-36. Егоров А. И. Гидравлический расчет трубчатых систем для распределения воды в водопроводных очистных сооружениях. М., 1960. 123 с.
- 2-37. Ерошенко В. М., Еришов А. В., Зайчик Л. И. Расчет развитого турбулентного течения в трубе со вдувом и отсосом // Теплофизика высоких температур. М., 1981. Т. 19. № 1. С. 102—108.
- 2-38. Зегжда А. П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах. М., 1957. 278 с.
- 2-39. Золотов С. С. Гидравлическое сопротивление каналов кольцевого сечения // Труды Ленинградского кораблестроит. ин-та. Л., 1971. Вып. 74. С. 41—49.
- 2-40. Ибрагимов М. Х. и др. Расчет коэффициентов гидравлического сопротивления при турбулентном течении жидкости в каналах

некруглого поперечного сечения // Атомная энергия. 1967. Т. 23. № 4. С. 300—305.

2-41. Ибрагимов М. Х., Исупов И. А., Субботин В. И. Расчет и экспериментальное исследование полей скорости в канале сложной формы // Жидкие металлы. М., 1967. С. 234—250.

2-42. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

2-43. Идельчик И. Е. Определение коэффициента трения стальных труб газопровода Саратов—Москва. М., 1945. 7 с.

2-44. Идельчик И. Е., Штейнберг М. О. О потерях полного давления в пористых цилиндрических трубах с путевым расходом // Теплоэнергетика. 1988. № 1. С. 70—72.

2-45. Каган Л. И. Новая формула коэффициента гидравлического сопротивления // Отопление и вентиляция и строит. теплофизика. 1971. С. 119—125 (Республиканский межведомственный сборник. Вып. 1).

2-46. Кадавер Я. С., Рассадкин Ю. П. Ламинарное течение пара в тепловой трубе // Инж.-физ. ж.-л. 1975. Т. 28. № 2. С. 208—216.

2-47. Казеннов В. В., Митюрева Н. Е. О потерях напора на трение в стальных напорных водоводах электростанций // Вопросы гидравлики и водоснабжения / МИСИ. М., 1980. Сб. № 174. С. 31—37.

2-48. Калвинн Э. К., Ярхо С. А. О влиянии неизотермичности на коэффициент гидравлического сопротивления при турбулентном движении воды в трубах с искусственной турбулизацией потока // Теплофизика высоких температур. 1966. Т. 4. № 5. С. 736—738.

2-49. Карман Т. Некоторые вопросы теории турбулентности // Проблемы турбулентности / Под ред. М. А. Великанова и Н. Г. Швейковского. М., 1936. С. 35—74.

2-50. Керенский А. М. О связи коэффициента сопротивления трения с числом Рейнольдса и относительной шероховатостью. // Теплоэнергетика. 1972. № 10. С. 78—79.

2-51. Кириллов П. Л., Юрьев Ю. С., Бобков В. П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). М., 1984. 296 с.

2-52. Клячко Л. С. К теоретическому определению коэффициента сопротивления трения гладких трубопроводов в режиме развитой турбулентности // Вопросы проектирования и монтажа санитарно-технических систем / Сб. науч. тр. ВНИИГС. Л., 1978. Вып. 46. С. 32—33.

2-53. Клячко Л. С., Макаренко Т. Г. Обобщенные гидравлические характеристики гибких стеклотканевых воздуховодов // Индустриальные, отопительно-вентиляционные и санитарно-технические системы и технология их монтажа / Сб. науч. тр. ВНИИГС. Л., 1984. С. 72—76.

2-54. Конаков В. К. Новая формула для коэффициента сопротивления гладких труб // ДАН СССР. 1950. Т. 25. № 5. С. 14—24.

2-55. Конобеев В. И., Жаворонков Н. М. Гидравлические сопротивления в трубах с волнистой шероховатостью // Химическое машиностроение. 1962. № 1. С. 17—24.

2-56. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., 1974. 831 с.

2-57. Коченов И. С., Новосельский О. Ю. Гидравлическое сопротивление каналов с проницаемыми стенками // Инж.-физ. журн. 1969. Т. 16. № 3. С. 405—412.

2-58. Коченов И. С., Ромадонов В. Л. Коэффициент сопротивления при течении жидкости с оттоком через пористую стенку // Инж.-физ. журн. 1959. Т. 2. № 11. С. 78—80.

2-59. Кравчук А. И. Определение коэффициента гидравлического трения в перфорированных сборных трубопроводах // Гидравлика и гидротехника. Киев. 1984. Вып. 38. С. 32—36.

2-60. Кэмпбелл Д., Слеттерн Ц. Течение в начальном участке трубы // Технич. механика. 1963. Т. 85. № 1 (русс. пер. Trans. ASME, ser. D). С. 51—57.

2-61. Кривошеин Б. В. и др. Численные решения уравнений, описывающих неизотермические течения реального газа в трубопроводах // Инж.-физ. журн. 1967. Т. 13. № 4. С. 542—548.

2-62. Крупкин Г. Я. Исследование изменения сопротивления трения в металлических воздуховодах в зависимости от условий их эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1970. 146 с.

2-63. Кудряшев Л. И., Филиппов Г. В. О смешанном пограничном слое на входном участке круглой трубы // Сб. науч. тр. Куйбыш. индустр. ин-та. 1959. Вып. 8. С. 7—12.

2-64. Куляев С. М., Есьман Б. И., Ахундов У. Х. Экспериментальное определение гидравлических потерь в концентрическом кольцевом пространстве // Нефт. хоз-во. 1967. № 12. С. 12—15.

2-65. Латышенков А. М. Результаты натуральных гидравлических исследований водопроводного канала // Труды гидравл. лаб. Всес. н.-и. ин-та Водгео. 1963. Сб. 10. С. 247—254.

2-66. Левкоева Н. В. Исследования влияния вязкости жидкости на местные сопротивления: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1959. 186 с.

2-67. Левченко Ю. Д. и др. Гидродинамика в кольцевом зазоре с продольными ребрами // Жидкие металлы. М., 1967. С. 102—110.

2-68. Лейбензон Л. С. Собрание трудов. Т. 3. АН СССР. М., 1955. С. 3—13.

2-69. Лельчук В. Л., Елфимов Г. И. Гидравлическое сопротивление при адиабатическом турбулентном течении сжимаемого газа с дозвуковой скоростью в цилиндрической тру-

бе // Тепло- и массоперенос. Т. 1. М., 1968. С. 479—488.

2-70. Лобаев Б. Н. Новые формулы расчета труб в переходной области // Новое в строительной технике. Киев, 1954. С. 24—31.

2-71. Лукаш А. Ю. Исследование сопротивлений трубопроводов систем водяного отопления: Дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1967. 172 с.

2-72. Лятхер В. М. Анализ и выбор расчетных формул для коэффициента трения в трубах // Сб. статей студенческого научного общества. МЭИ. М., 1954. С. 78—85.

2-73. Ляхов В. К., Кугай В. И. Экспериментальное исследование влияния температурного фактора на теплообмен и гидравлическое сопротивление при турбулентном движении воздуха в области автомодельного режима шероховатых труб // Тепло- и массоперенос. М., 1968. Т. 1. С. 534—538.

2-74. Марон В. И., Роев Г. А. Коэффициент гидравлического сопротивления плоскосторонней трубы // Труды Моск. ин-та нефтехим. и газ. пром-ти. М., 1972. Вып. 101. С. 108—113.

2-75. Маяцкий Г. А., Новичкова О. Г. Формула для расчета коэффициента сопротивления при неизотермическом движении жидкости // Изв. вузов. Энергетика. 1959. № 10. С. 95—97.

2-76. Мигай В. К. Гидравлическое сопротивление треугольных каналов в ламинарном потоке // Изв. вузов. Энергетика. 1963. № 5. С. 122—124.

2-77. Миллионщиков М. Д. Турбулентные течения в пограничном слое и в трубах. М., 1969. 28 с.

2-78. Миллионщиков М. Д. Турбулентные течения в пристеночном слое и в трубах // Атомная энергия. 1970. Т. 28. Вып. 3. С. 207—219.

2-79. Миллионщиков М. Д. Турбулентные течения в трубах некруглого сечения // Атомная энергия. 1970. Т. 29. Вып. 1. С. 16—18.

2-80. Митрохович А. И. Сопротивление и пропускная способность гладкостенных полиэтиленовых дренажных труб, бывших в эксплуатации // Гидротехн. и мелиор. торф. почв, 1969. Т. 4. № 2. С. 83—89.

2-81. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М., 1977. 344 с.

2-82. Мурии Г. А. Гидравлическое сопротивление стальных труб // Изв. ВТИ. 1948. № 10. С. 21—27.

2-83. Мурии Г. А. Гидравлическое сопротивление стальных нефтепроводов // Нефт. хоз-во. 1951. № 4. С. 15—19.

2-84. Назарчук М. М., Панченко В. Н. Поверхностное трение при адиабатном течении сжимаемого газа в трубах // Инж.-физ. журн. 1969. Т. 16. № 5. С. 835—842.

2-85. Некоторые результаты исследования гидравлических сопротивлений труб с двусторонним стекломалевым покрытием / О. К. Ре-

вунов, В. Ф. Бутурлин, Н. А. Дмитриенко, И. Ф. Рубашкин // Техника полива и режим орошения сельхозкультур. Новочеркасск, 1982. С. 55—61.

2-86. Никитин И. К. Обобщение полуэмпирической теории турбулентности на течение у шероховатых поверхностей с различными режимами проявления шероховатостных свойств // Турбулентные течения. М., 1970. С. 62—69.

2-87. Никурадзе И. Закономерности турбулентного движения в гладких трубах // Проблемы турбулентности / Под ред. М. А. Великанова и Н. Г. Швейковского. М., 1936. С. 75—150.

2-88. Новиков И. И., Воскресенский К. Д. Прикладная термодинамика и теплопередача. М., 1961. 760 с.

2-89. Обобщение данных по гидравлическому сопротивлению в винтообразно-профилированных трубах / Ю. Н. Боголюбов, Ю. М. Бродов, В. Т. Булгаев и др. // Изв. вузов. Энергетика. 1980. № 4. С. 71—73.

2-90. Одельский Э. Х. О волновом сопротивлении в газопроводах // Изв. вузов. Энергетика, 1958. № 4. С. 81—83.

2-91. Оффенгенден Ю. С. Абсолютная и эквивалентная шероховатость труб из пластических материалов // Вопр. гидравлики. М., 1969. С. 120—125 (Труды МГМИ).

2-92. Оффенгенден Ю. С. Гидравлический расчет пластмассовых трубопроводов // Гидротехника и мелиорация. 1972. № 1. С. 24—28.

2-93. Павлов О. В. Экспериментальные исследования гидравлических сопротивлений в пластмассовых трубах // Движение гидро- и аэросмесей горных пород в трубах. М., 1966. С. 108—110.

2-94. Петрухно А. И. Суммарный коэффициент сопротивления гибких трубопроводов с участком пульсаций стенок // Вопросы гидротехн. и гидравлики. Киев, 1969. С. 35—41.

2-95. Петухов Б. С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. М., 1967. 412 с.

2-96. Платов В. П. Влияние шероховатости на сопротивление жидкости при ее движении по трубам // Науч. прогресс вопр. мелиор. Кишинев, 1972. С. 53—58.

2-97. Повх И. Л., Погребняк В. Г., Торяник А. И. Сопротивление при турбулентном течении растворов полимеров и мицеллообразующих поверхностно-активных веществ // Инж.-физ. журн. 1979. Т. 37. № 5. С. 793—797.

2-98. Повх И. Л., Ступин А. Б. Экспериментальное исследование турбулентного течения водных растворов полимеров в трубе // Инж.-физ. журн. 1972. Т. 22. № 1. С. 59—65.

2-99. Прандтль Л. Результаты работ последнего времени по турбулентности // Проблемы турбулентности / Под ред. М. А. Великанова и Н. Г. Швейковского. М., 1936. С. 9—34.



- 2-100. Прегер Е. А., Самойленко Л. А. Исследование гидравлического сопротивления трубопроводов при переходном режиме движения жидкостей и газов. Исследования по водоснабжению и канализации//Труды ЛИСИ. Л., 1966. Вып. 50. С. 27—39.
- 2-101. Римаи И. С. Продольное обтекание пучка стержней гидравлически нестабилизированным потоком//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 171—180.
- 2-102. Римаи И. С. О сопротивлении трения при течении жидкости в трубах некруглого сечения//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 190—195.
- 2-103. Рихтер Г. Гидравлика трубопроводов. М., 1936. 230 с.
- 2-104. Розовский И. Л., Залуцкий Э. В. О балансе энергии в равномерном турбулентном потоке//Гидравлика и гидротехн. Респ. межвед. н.-техн. сб. Киев, 1969. № 8. С. 16—23.
- 2-105. Савельев П. А., Воскресенский Ю. С. Исследование гидравлического сопротивления спирально-профилированных труб при больших числах Рейнольдса//Изв. вузов. Энергетика. 1981. № 5. С. 73—77.
- 2-106. Самойленко Л. А. Исследование гидравлических сопротивлений трубопроводов в зоне перехода ламинарного движения в турбулентное: Дис. ... канд. техн. наук. Л., ЛИСИ. 1968. 172 с.
- 2-107. Свирицкий Г. Э., Платон В. П. Сопротивление при течении жидкости в гладких цилиндрических трубах//Науч. прогресс вопр. мелиор. Кишинев, 1972. С. 58—63.
- 2-108. Синельщиков В. С., Смирнова Г. Н. Расчет коэффициента сопротивления для искусственно закрученного потока в шероховатых трубах//Гидравлика и гидротехника. Респ. межвед. н.-т. сборник. Киев, 1980. Вып. 30. С. 65—70.
- 2-109. Слезкин Н. А. Динамика вязкой жидкости. М., 1955. 519 с.
- 2-110. Слиссский П. М. Методические рекомендации к расчету трубопроводов на ЭВМ и коэффициент гидравлического трения в переходной зоне//Сб. научно-метод. статей по гидравлике. М., 1983. С. 31—44.
- 2-111. Снижение гидравлических потерь заглушающими добавками поверхностно-активных веществ//В. М. Добрыченко, В. Г. Лобачев, И. Л. Повх, А. Е. Эйдельман//Инж.-физ. ж-л. 1976. Т. 30. № 2. С. 240—245.
- 2-112. Скробков Г. П. Гидравлическое сопротивление прямоугольных русел со стенками разной шероховатости//Изв. вузов. Энергетика. 1978. № 12. С. 110—115.
- 2-113. Скробков Г. П. Каналы и русла с переменным трением на периметре и их гидравлический расчет//Гидравлика и теплообмен при равномерном движении жидкости в каналах. Чебоксары, Чувашский госуниверситет. 1980. С. 3—28.
- 2-114. Скробков Г. П., Ложкин С. Н. Применение принципа Ле-Шателье к расчету равномерного потока в каналах из упакованных стержней//Теплофизика высоких температур. 1985. Т. 23 № 4. С. 748—753.
- 2-115. Современное состояние гидроаэродинамики вязкой жидкости/Под ред. С. Гольштейна. М., 1948. Т. 1. 320 с.
- 2-116. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Турбулентное течение вязкой жидкости в начальных участках осесимметричных и плоских каналов//Труды ЦАГИ. М., 1957. Вып. 701. 55 с.
- 2-117. Степанов П. М., Овчаренко И. Х., Скобельцын Ю. А. Справочник по гидравлике для мелиораторов. М., 1984. 207 с.
- 2-118. Субботин В. И., Габрианович Б. Н., Шейнина А. В. Гидравлическое сопротивление при продольном обтекании пучков гладких и оребренных стержней//Атомная энергия. 1972. Т. 33. № 5. С. 889—892.
- 2-119. Субботин В. И., Ушаков П. А., Габрианович Б. Н. Гидравлическое сопротивление при продольном обтекании жидкостью пучков стержней//Атомная энергия. 1960. Т. 9. Вып. 4. С. 308—310.
- 2-120. Субботин В. И., Ушаков П. А., Шейнина А. В. Гидравлическое сопротивление узких кольцевых каналов со спиральными ребрами//Атомная энергия. 1966. Т. 21. № 1. С. 13—16.
- 2-121. Сукомел А. С. Исследование сопротивления трения и коэффициента восстановления при движении газа в трубах с высокой скоростью: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1955. 184 с. (МЭИ).
- 2-122. Сукомел А. С., Величко В. И., Абрисимов Ю. Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении газа в коротких каналах. М., 1979. 216 с.
- 2-123. Суполкин Г. А. Эквивалентная шероховатость стальных и чугунных трубопроводов//Докл. АН Таджикской ССР. 1958. Т. 1. № 4. С. 23—26.
- 2-124. Тарг С. М. Основные задачи теории ламинарных течений. М., 1951. 150 с.
- 2-125. Темкин А. Г. Исследование гидродинамики течения жидкостей в каналах сложной конфигурации//Тепломассообмен в капиллярно-пористых телах. М.—Л. 1957. Вып. 8. С. 156—159.
- 2-126. Темкин А. Г. Фрикционные свойства каналов сложной конфигурации при турбулентном течении//Инж.-физ. ж-л. 1958. Т. 1. № 5. С. 23—29.
- 2-127. Тепакс Л. А. Равномерное турбулентное течение в трубах и каналах. Таллин, 1975. 283 с.
- 2-128. Теплов А. В. О закономерности напорного движения жидкости в трубах//Теория подобия и ее применение в теплотехнике/

Труды Моск. ин-та инж. ж.-д. транспорта. М., 1961. С. 72—78.

2-129. **Ткачук А. Я., Тесло А. П.** Характеристики течения в рудонированных трубопроводах//Гидравлика и гидротехника. Киев, 1983. Вып. 36. С. 91—94.

2-130. **Тодоров П., Шабански И.** Результаты опытной проверки коэффициента шероховатости некоторых гидравлических каналов и тоннелей//Изв. гидравлической лаборатории. 1962. Кн. 4. С. 201—229.

2-131. **Тольцман В. Ф.** О гидравлическом расчете асбестоцементных труб//Водоснаб. и сан. техн. 1955. № 1. С. 13—16.

2-132. **Тольцман В. Ф., Шевелев Ф. А.** Гидравлическое сопротивление резиновых рукавов//Исследование по гидравлике трубопроводов. М., 1952. 190 с.

2-133. **Трубенюк В. Д.** Определение коэффициента местных сопротивлений в трубах с прямоугольными кольцевыми выемками//Прикладная аэродинамика. Межвуз. сб. н. трудов. Киев, 1980. С. 3—6.

2-134. **Урбанас П. А.** Экспериментальное исследование коэффициента гидравлического сопротивления в пучке витых труб//Гидравлика. Современные проблемы гидродинамики и теплообмена в элементах энергетических установок и криогенной техники. М., ВЗМИ. 1982. С. 78—82.

2-135. **Ушаков П. А. и др.** Теплоотдача и гидравлическое сопротивление в плотно упакованных коридорных пучках стержней//Атомная энергия. 1962. Т. 13. № 2. С. 162—169.

2-136. **Фаворин М. В.** Моменты инерции тел. Справочник. М., 1977. 511 с.

2-137. **Фялимонов С. С., Хрусталева Б. А.** Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления при турбулентном движении воды в трубах с различными условиями входа//Тепло- и массообмен. М., 1963. Т. 3. С. 414—418.

2-138. **Филиппов Г. В.** Некоторые экспериментальные исследования эффекта разбега//Сб. тр./Куйбышевский авиационный институт. 1955. Вып. 5. С. 57—61.

2-139. **Филиппов Г. В.** О турбулентном течении во входных участках прямых труб круглого сечения//Журн. техн. физ. 1958. Т. 28. № 8. С. 1823—1828.

2-140. **Филиппов Г. В.** О влиянии шероховатости на эффект разбега//Сб. научн. тр./Куйбышевский индустр. ин-т. 1959. Вып. 8. С. 25—32.

2-141. **Филопенко Г. К.** Формула для коэффициента гидравлического сопротивления гладких труб//Изв. ВТИ. 1948. № 10 (162). С. 17—23.

2-142. **Филопенко Г. К.** Гидравлическое сопротивление трубопроводов//Теплоэнергетика. 1954. № 4. С. 15—21.

2-143. **Флятау Р. С.** Гидротехнические расчеты трубопроводов. М., 1949. 210 с.

2-144. **Френкель Н. З.** Гидравлика. М., 1956. 456 с.

2-145. **Ходанович И. Е., Одишария Г. Э.** Обобщающая зависимость коэффициента гидравлического сопротивления//Труды Всес. н-и. ин-та природн. газов. 1967. Вып. 29/37. С. 3—9.

2-146. **Ханжожков В. И., Тарасов Н. Ф.** Аэродинамическое сопротивление прямых и закругленных гибких труб из металлической ленты//Промазэродинамика. 1973. Вып. 29. С. 75—81.

2-147. **Хомутов П. В., Скобельцын Ю. А.** Определение гидравлических сопротивлений сварных стыков трубопроводов//Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1972. № 6. С. 11—13.

2-148. **Цейтлин А. С.** Гидравлический расчет керамических трубопроводов. Киев, 1963. 47 с.

2-149. **Цейтлин А. С., Гриценко И. А., Зорченко А. И.** Формула для гидравлического расчета стеклянных трубопроводов//Водоснабж. и сан. техника. 1962. № 8. С. 29—31.

2-150. **Цейтлин А. С., Торьяник Е. С.** Определение напора в фанерных трубах//Труды объединенного семинара по гидротехническому и водохозяйственному строительству. Харьков. 1961. Вып. 3. С. 31—35.

2-151. **Цочев Ц., Цачев Ц.** Исследование гидравлического сопротивления трения при равномерном турбулентном движении в керамических трубопроводах//Гидротехн. и мелиор. 1967. Т. 12. № 8. С. 228—232.

2-152. **Шевелев Ф. А.** Гидравлическое сопротивление металлических труб больших диаметров//Гидротехн. стр-во. 1950. № 1. С. 11—18.

2-153. **Шевелев Ф. А.** Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах//Инж. гидравлика/ВНИИ Водгео. М., 1953. 220 с.

2-154. **Шевелев Ф. А.** Гидравлический расчет асбестоцементных труб/ВНИИ Водгео. М., 1954. 180 с.

2-155. **Шевелев Ф. А.** Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугуных и асбестоцементных водопроводных труб. М., 1962. 138 с.

2-156. **Шевелев Ф. А., Лобачев П. В., Рудин М. Я.** Исследование гидравлических сопротивлений при движении воды по трубам из пластмасс//Сб. тр. н-и. ин-та сан. техн. Акад. стр-ва и archit. СССР. 1960. № 5. С. 43—59.

2-157. **Шейнина А. В.** Гидравлическое сопротивление пучков стержней в осевом потоке жидкости//Жидкие металлы. М., 1967. С. 210—223.

2-158. **Шиллер Л.** Движение жидкостей в трубах. М.—Л., 1936. 230 с.

2-159. **Шинфринсон Б. Л.** Гидродинамический расчет тепловых сетей//Тепло и сила. 1935. № 1. С. 23—29.

- 2-160. **Шукин В. К.** Гидравлическое сопротивление вращающихся труб // Инж.-физ. журн. 1967. Т. 12. № 6. С. 782—787.
- 2-161. **Экспериментальное исследование гидравлического сопротивления труб со сварными швами** // В. И. Тимошенко, П. П. Логачев, Ю. В. Кнышенко и др. // Изв. вузов. Нефть и газ. 1985. № 1. С. 56—59.
- 2-162. **Яковлев Н. А.** Потери напора по длине при движении жидкости в трубах звездчатого сечения // Труды Ленинградского политехнического ин-та. 1966. № 274. С. 127—135.
- 2-163. **Ackers P., Grickmore M. J., Holmes D. W.** Effects of use on the hydraulic resistance of drainage conduits // Proc. Instn. Civil Engrs. 1964. V. 28. Juli. P. 339—360.
- 2-164. **Ayukawa K.** Pressure drop in the Hydraulic conveyance of solid materials through a bend in a vertical plane // Bulletin of JSME. 1969. V. 12. N 54. P. 1388—1396.
- 2-165. **Aykawa K.** The hydraulic transport of solid materials through a horizontal straight pipe // Bul. of JSME. 1968. V. 11. N 45. P. 579—586.
- 2-166. **Biswas I. K.** Mechanics of flow through perforated pipes // Consult. Engr. (Engl.). 1964. V. 25. N 5. P. 491—493.
- 2-167. **Boussinesq J.** Memoire sur l'influence des frottements dans les mouvement reguliers des fluides // Journ. de math. pur et appl. (2). 1868. V. 13. 377 p.
- 2-168. **Busse C. A.** Pressure drop of the vapor phase of long heat pipes // In Proc. First Intern. The ormonic Conversion on Specialist Conf. Palo Alto, California. 1967. P. 391—401.
- 2-169. **Buyuktur A.** Amortissement des perturbations dans les canalisations cylindriques longues // Publ. scient. et techns. Ministere air. 1961. N 378. 48 p.
- 2-170. **Carlson L. W., Irvine T. F.** Fully developed pressure drop in triangular spard ducts // Trans. ASME, s.C. 1961. V. 83. N 4. XI. P. 441—444.
- 2-171. **Colebrock F.** Turbulent flow in pipes with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws // Journal of the Inst. of Civil engineers. 1939. N 4. P. 14—25.
- 2-172. **Eifler W., Nifsing R.** Experimental investigation of velocity distribution and flow resistance in a triangular array of parallel rods // Mech. Engng and Design. 1967. V. 5. N 1. P. 22—42.
- 2-173. **Fonck R., Hardenne H.** Essais de determination des pertes de charge dans un tube de chargement pour reacteur nucleaire // Mem. Centre etudes rech. et essais scient. genie civil. 1968. N 25. P. 27—41.
- 2-174. **Hagen G.** Über den Einfluss der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren // Math. Abb. d. Akad. d. Wissensch. Berlin, 854. S. 17—98.
- 2-175. **Han L. S.** Hydrodynamic entrance lengths for incompressible laminar flow in rectangular ducts // J. of Appl. Mech. (Trans. ASME, s.E.). 1960. E—27. P. 403—409.
- 2-176. **Hering F.** Die Rohrreibungszahl // Brenst., Wärme, Kraft. 1952. Bd. 4. S. 23—26.
- 2-177. **Horton T. E., Juan S. W.** Laminar flow in the entrance region of a porous-wall channel // Appl. Scient. Res. 1964—1965. V. A14. N 4. P. 233—249.
- 2-178. **Johnston Z., Sparrow E. H.** Results of laminar flow analysis and turbulent flow experiments for eccentric annular ducts // A.I.Ch.E.J. 1965. V. 11. N 6. P. 1143—1145.
- 2-179. **Kirschmer O.** Der gegenwärtige Stand unserer Erkenntnisse über die Rohrreibung // G. W.F. ausgabe Wasser. 1953. H. 16. S. 30—40.
- 2-180. **Leuthusser H. J.** Turbulent flow in rectangular ducts // J. Hydraulics. Division. Proc. Amer. Soc. City. Engrs. 1963. V. 89. H Y3. P. 1—19.
- 2-181. **Malenák J., Skalická J., Pejchal V.** Určeni velikosti ztráty třením při proudění vzduchu potrubím kruhového průřezu z pozinkovaného plechu // Zdravotni techn. a vzduchotechn. 1966. V. 9. N 1. S. 20—23.
- 2-182. **Marechel H.** Pertes de charge continues en conduite forcée de section circulaire // Annales des travaux publics de Belgique. 1955. N 6.
- 2-183. **McComas S. T.** Hydrodynamic entrance lengths for ducts of arbitrary cross section // J. of basic Engng/Trans ASME. 1967. V. 89. Ser. D. N 4. P. 847—850.
- 2-184. **Mohandes A., Knudsen J. G.** Friction factors in noncircular ducts with sharp corners // The Canadian Journal of Chemical Eng. 1979. V. 57, February. P. 109—111.
- 2-185. **Moody L. F.** Friction Factor for pipe flow // Trans. of the ASME, November. 1944. V. 66. P. 97—107.
- 2-186. **Morris M.** A new concept of flow in rough conduits // Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1954. N 390. P. 109—118.
- 2-187. **Müller W.** Druckverlust in Rohrleitungen // Energietechnik. 1953. H. 7. S. 28—35.
- 2-188. **Nikol A. A., Medwell J. O., Goel R. K.** Settling length for turbulent flow of air in an annulus // Canad. J. Chem. Engng. 1967. V. 45. N 2. P. 97—99.
- 2-189. **Novendstern E. N.** Turbulent flow pressure drop model for fuel rod assemblies utilising a helical wire-wrap spacer system // Nucl. Eng. and Des. 1972. V. 22. N 1. P. 19—27.
- 2-190. **Nikuradze J.** Stromungsgesetze in rauchen Rohren // VDI. 1933. N 361. S. 16—53.
- 2-191. **Olson R. M., Eckert E. R.** Experimental studies of turbulent flow in a porous circular tube with uniform fluid injection through the tube wall // Paper Amer. Soc. Mech. Engrs. 1965. APM—29. 11 p.
- 2-192. **Oosthuizen P. H.** Compressibility effects on low-speed gas flows through pipes // S.

Afric. Mech. Engr. 1966. V. 15. N 7. P. 165—168.

2-193. Poiseuille J.L.M. Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petites diamètres // Comptes Rendus. 1841. V. 2. P. 961—1041.

2-194. Rapp R., Alperi R. W. Pressure loss in convoluted pipes // Building systems design. 1970, April. P. 26—28.

2-195. Reiner M., Scott Blair G. W. The flow of blood through narrow tubes // Nature (Engl.). 1959. V. 184. № 4683. Suppl. N 6, 354 p.

2-196. Rehme K. Druckverlust in Stabbindeln mit Spiraldraht-Abstandshaltern // Forsch. Ingenieurwes. 1969. V. 35. N 4. S. 107—112.

2-197. Richter H. Rohrhydraulik. Berlin, 1954. 328 s.

2-198. Rothfus R. R., Sartory W. K., Kermode R. J. Flow in concentric annuli at high Reynolds numbers // AIEE Journal. 1966. V. 12. N 6. P. 1086—1091.

2-199. Rubatta A. Numeri di resistenza per fortissime scabrezze relative // Energia elettr. 1968. V. 45. N 3. P. 188—193.

2-200. Schmidt D. Die Druckabfallberechnung für Kompressible Medien // Rohre, Rohrleitungsbau und Rohrleitungstransport. 1966. V. 5. N 2. S. 84—86.

2-201. Scholz N. Berechnung des laminaren und turbulenten Druckabfalles im Rohreinlauf // Chem.-Ingr. Techn. 1960. V. 32. N 6. S. 404—409.

2-202. Siwon Z. Waterne badania wstępniczna tarcia prostoosiowych rur perforowanych przy przepływie pod ciśnieniem // Pr. nauk Inst. inżyn. sanit. i wodnej PWR Ser. stud i mater. 1971. V. 11. N 12. S. 53—67.

2-203. Song C., Charm S., Kurland G. Energy Losses for blood flowing through tapered tubes and curved tubes // Abstract. Part 4. New York—London—Sydney. 1965. Part 4. 255 p.

2-204. Steele J. L., Shove G. C. Design charts for flow and pressure distribution in perforated air ducts // Trans. ASAE. 1969. V. 12. N 2. P. 220—224.

2-205. Sparrow E. M., Lin S. H. The developing laminar flow and pressure drop in the entrance region of annular ducts // J. of Basic Engng. Trans. ASME. 1964. V. 86. S.D. N 4. P. 827—833.

2-206. Tied W. Berechnung des laminaren und turbulenten Reibungswiderstandes konzentrischer und exzentrischer Ringspalte // Chemiker Ztg. Chem. Apparat. 1966. V. 90. N 23. S. 813—821. 1967. V. 91. N 1. S. 17—25.

2-207. Wilkins J. E. Frictional pressure drop in triangular ducts // Trans. ASME. 1965. V. C87, N 3. P. 427—428.

2-208. White G. L. Friction pressure reducers in well stimulation // Petrol. Technol. 1964. V. 16. N 8. P. 865—868.

## Двухфазный поток. Пневмотранспорт

2-209. Авланов В. А., Норкин П. К., Акимова С. Э. О снижении гидравлических потерь в трубопроводах // Изв. АН Уз. ССР. Сер. техн. наук. 1968. № 2. С. 53—54.

2-210. Альтшуль Ю. А. Снижение гидравлических сопротивлений трубопроводов, транспортирующих воду // Водоснабжение и санит. техника. 1973. № 5. С. 5—8.

2-211. Бабуха Г. Л., Сергеев Г. З., Шрайбер О. Л. Об определении гидравлического сопротивления двухфазных потоков с дисперсными твердыми веществами // Докл. АН УССР. 1969. № 7. С. 25—31.

2-212. Базилевич В. А. Снижение сопротивления течению жидкости полимерными добавками // Гидромеханика. Киев, 1972. Вып. 21. С. 37—41.

2-213. Базилевич В. А., Шадрин А. Н. Снижение гидравлических сопротивлений в трубопроводах с помощью полимерных добавок // Гидромеханика. 1971. Вып. 17. С. 105—113.

2-214. Бойс Б. Гидродинамические явления в пыльном потоке // Теоретические основы инж. расчетов. 1970. № 3. С. 91—99 (пер. с англ.) Trans. ASME. 1969. № 3.

2-215. Брановер Г. Г., Циновер А. Б. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред. М., 1970. 379 с.

2-216. Васецкая Н. Г., Иосилевич В. А. О построении полуэмпирической теории турбулентности слабых растворов полимеров // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1970. № 2. С. 136—146.

2-217. Газуко И. В., Городцов В. А. Об эффекте снижения сопротивления в шероховатых трубах водорастворимыми полимерными добавками // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1968. № 6. С. 163—166.

2-218. Галлямов А. К. О гидравлических сопротивлениях при совместном движении газа и жидкости в негоризонтальном трубопроводе // Труды Моск. ин-та нефтехим. и газ. пром-ти. 1965 (1966). Вып. 57. С. 197—200.

2-219. Гармаш Н. Г. Расчетные формулы для определения потерь давления потока при транспортировании зернистых и пылевидных материалов // Изв. вузов. Машиностроение, 1964. № 4. С. 107—123.

2-220. Дейч М. Е., Филиппов Г. А. Гидродинамика двухфазных сред. М., 1968. 423 с.

2-221. Дзядзю А. М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. М., 1961. 237 с.

2-222. Догин М. Е. Критериальное уравнение для расчета гидравлического сопротивления пневмотранспортных трубопроводов // Труды Москов. ин-та инж. ж.-д. трансп. 1961. Вып. 139. С. 66—72.

- 2-223. Догин М. Е., Карпов А. И. Расчет сопротивления разгонного участка при пневмотранспорте // Инж.-физ. журн. 1961. № 7. С. 631—639.
- 2-224. Догин М. Е., Лебедев В. П. Исследование сопротивлений при пневмотранспорте в горизонтальном трубопроводе // Сб. научн. тр. Томского электромехан. ин-та инж. ж.-д. трансп. 1960. Вып. 29. С. 164—175.
- 2-225. Догин М. Е., Лебедев В. П. Шероховатость труб в условиях пневмотранспорта // Изв. вузов. Энергетика, 1962. № 7. С. 113—115.
- 2-226. Долат Е. В. Гидравлическое сопротивление вертикальных трубопроводов с гладкими стенками при пневмотранспорте твердых частиц // Хим. и нефт. машиностроение. 1965. № 7. С. 15—17.
- 2-227. Живайкин Л. Я., Волгия Б. П. Гидравлическое сопротивление при нисходящем двухфазном потоке в пленочных аппаратах // Химическая пром-ть. 1963. № 6. С. 19—25.
- 2-228. Зорина Е. Ф., Стыриков А. С. Влияние местных сопротивлений на закономерности гидротранспорта // Труды Ленинград. ин-та водн. транспорта. 1968. Вып. 119. С. 77—95.
- 2-229. Зуев Ф. Г. Методы расчета потерь давления в отводах при пневматическом транспортировании // Труды Моск. технол. ин-та пищ. пром-ти. 1960. Вып. 14. С. 108—122.
- 2-230. Капитонов Е. Н., Лебедев К. И. Исследование гидравлического сопротивления и теплоотдачи при движении кипящих растворов в горизонтальной трубе // Химическая пром-сть. 1965. № 7. С. 18—25.
- 2-231. Карпов А. И. Задача Борда в условиях пневмотранспорта при горизонтальном расположении труб // Сб. науч. тр. Томского электромех. ин-та инж. ж.-д. трансп. 1960. Вып. 29. С. 159—167.
- 2-232. Карпов А. И. О гидравлическом сопротивлении начального участка при движении газосмеси // Изв. вузов. Энергетика. 1964. № 9. С. 103—105.
- 2-233. Климентов А. Н. Уравнение Бернулли для потока пульпы // Гидротехническое стро-во. 1954. № 4. С. 28—32.
- 2-234. Клячко Л. С. Аналитический метод учета потери давления в трубопроводах с потоками, несущими твердую дисперсную среду // Вопросы проектирования и монтажа санитарно-технических систем / Тр. ин-та ВНИИГС. 1970. Вып. 28. С. 125—127.
- 2-235. Коптев Д. В. О коэффициенте сопротивления движению аэросмеси при пневматическом транспорте (литературный обзор) // Научные работы ин-тов охраны труда ВЦС-ПС. 1964. Вып. 1. (27). С. 21—36.
- 2-236. Костюк Г. Ф. Гидравлическое сопротивление твердой фазы в псевдосжиженном состоянии // Изв. вузов. Нефть и газ. 1966. № 11. С. 16—21.
- 2-237. Корнилов Г. Г., Черныкин В. И. Методика гидравлического расчета трубопроводов при движении газожидкостных смесей // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов (науч.-технич. сб.). 1966. № 3. С. 3—6.
- 2-238. Кудрявцева З. М. Исследование движения пылегазовой смеси в трубе // Инж.-физ. журн. 1966. Т. 10. № 1. С. 78—85.
- 2-239. Лаате М. К. Экспериментальное исследование динамики пылевоздушной струи // Инж.-физ. журн. 1966. Т. 10. № 1. С. 11—15.
- 2-240. Мальцев М. В. Гидравлические потери при движении многофазных смесей по вертикальным трубам / Сб. тр. Моск. инж.-строит. ин-та. 1963. Вып. 45. С. 31—53.
- 2-241. Марков Ю. А., Смолдырев А. Е. О гидравлических сопротивлениях при движении гидросмеси восходящими потоками в трубах // Изв. АН СССР. Механика. 1965. № 5. С. 182—184.
- 2-242. Мочан С. И. Местные сопротивления при движении двухфазных смесей // Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред. М.—Л., 1961. С. 1—38.
- 2-243. Пермьяков Б. А., Рындия Г. Н. Определение коэффициентов сопротивления спирального трубопровода при пневмотранспорте пыли АШ // Докл. на конференции научно-техн. об-ва энерг. и электр. пр-сти при ВТИ. М., 1969. С. 37—43.
- 2-244. Рассохин Н. Г., Швецов Р. С., Мельников В. Н. Экспериментальное исследование гидравлического сопротивления при течении пароводяной смеси в кольцевых каналах с внутренней тепловыделяющей поверхностью // Труды Моск. энерг. ин-та. 1965. Вып. 73. С. 73—78.
- 2-245. Рахматулин Х. А. и др. К теории пневмотранспорта в горизонтальной трубе // Докл. АН УзССР. 1967. № 4. С. 6—9.
- 2-246. Сакс С. Е. Гидравлические сопротивления при турбулентном движении многодисперсных аэрозолей // Инж.-физ. журн. 1968. № 4. Т. 14. С. 327—333.
- 2-247. Сочиллов В. В. Исследование потерь напора в местных сопротивлениях при транспортировании гидросмеси // Сб. тр. Моск. инж.-строит. ин-та. 1963. Вып. 45. С. 43—48.
- 2-248. Тарасов В. К., Райхман Е. С., Евстафьев В. П. Экспериментальное исследование гидравлических характеристик наклонных трубопроводов, транспортирующих газонасыщенные минеральные воды // Сб. тр. Моск. инж.-строит. ин-та. 1972. № 89. С. 97—102.
- 2-249. Телетов С. Г. Коэффициенты сопротивления двухфазных смесей // Докл. АН СССР. 1946. № 51. Вып. 8. С. 41—48.
- 2-250. Успенский В. А. Пневматический транспорт. М., 1959. 152 с.
- 2-251. Фадеев И. Г. Коэффициент сопротивления трения при пневмотранспорте сплош-

ным потоком // Химия и технол. топлив и масел. 1969. № 8. С. 17—22.

2-252. **Хабашаева Е. М., Персеплина Б. В.** Поля скоростей и турбулентных пульсаций при малых добавках к воде высокомолекулярных веществ // Инж.-физ. журн. 1968. Т. 14. 598 с.

2-253. **Ходанович И. Е., Мамаев В. А.** Оценка пропускной способности газопроводов при транспортировании двухфазных систем // Труды Всесоюзн. н.-и. ин-та природн. газов. 1961. Вып. 13. С. 13—31.

2-254. **Шваб В. А.** Об основных закономерностях сопротивления в горизонтальных трубах при пневматическом транспорте // Вопросы гидравлики запыленного потока. 1960. С. 1—20. (Сб. научн. тр. / Томский электромехан. ин-т инж. ж.-д. транспорта: Т. 29).

2-255. **Эльнери И. Т., Смольский Б. М., Левенгаль Л. И.** К вопросу уменьшения гидродинамического сопротивления трубопроводов // Инж.-физ. журнал. 1966. Т. 10. № 2. С. 236—239.

2-256. **Anderson G. H., Mantzouranis B. G.** Two-phase (gas-liquid) flow phenomena. 1. Pressure drop and hold up for two-phase flow in vertical tubes // Chem. Engng. Sci. 1960. V. 12. N 2. P. 109—126.

2-257. **Aoki Sh., Schiki T., Takahashi T.** Pressure drop for two-phase flow in the pipe. The theory of pressure drop // Bull. Tokyo Inst. Technol. 1962. N 49. P. 127—139.

2-258. **Cermak J. O., Jicha J. J., Lightner R. G.** Two-phase pressure drop across vertically mounted thick plate restrictions // Trans. ASME. S. C. 1964. V. 86. N 2. P. 227—239.

2-259. **Doig J. D., Poper C. H.** Energy requirements in pneumatic conveying // Austral. Chem. Engng. 1963. V. 4. N 2. P. 9—23.

2-260. **Kikkawa Sh., Utsumi R., Sakai K.** On the pressure drop and clogging limit in the horizontal pneumatic conveyance pipe // Bull. of JSME. 1965. V. 8. N 32.

2-261. **Lottes P. A.** Expansion losses in two-phase flow // Nucl. Sci. and Engng. 1961. V. 9. N 1. P. 26—31.

2-262. **Peters L. K., Klinzing G. E.** Friction in turbulent flow of solids-gas system // Can. J. Chem. Eng. 1972. V. 50. N 4. P. 441—444.

2-263. **Toms B. A.** Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers // Prec. of the Inter. Rheolog. Congr. Schveningen, Holland. 1948. P. 135—141.

2-264. **Turnblade B.** The molecular transit time and its correlation, with the stability of externally pressurized gas-lubricated bearings // Trans. ASME. 1963. V. D85. N 2. P. 297—304.

2-265. **Schlag Alb.** Les pertes de charge en conduites transportant des matériaux solides // Bull. mens. Cente belge étude et docume. saux. 1960. N 111. P. 70—76.

2-266. **Uematsu T., Norikawa Y.** Druckwerluster im krümmen einer waagerechten Förderung von körnigen Gütern // Bull. JSME. 1961. V. 4. N 15. P. 531—538.

2-267. **Uematsu T.** Pneumatische Förderung in Lotrechter Rohrleitung // Bull. of JSME. 1965. V. 8. N 31. P. 367—375.

## ТРЕТИЙ РАЗДЕЛ

3-1. **Азерьяшов А. Г. и др.** Вентиляция цехов судостроительных заводов. М., 1969. 268 с.

3-2. **Альшиуль А. Д.** Гидравлические сопротивления. М., 1970. 216 с.

3-3. **Бычкова Л. А.** Входные элементы установок с осевыми вентиляторами // Водоснабжение и санитарная техника. 1977. № 5. С. 29—31.

3-4. **Бычкова Л. А.** Рекомендации по расчету гидравлических сопротивлений сложных элементов систем вентиляций. М., 1981. 32 с.

3-5. **Введение** в аэрогидродинамику контейнерного трубопроводного транспорта // Под ред. А. С. Гиневского. М., 1986. 232 с.

3-6. **Воздухоприемные и газовыпускные устройства** быстроходных газотурбинных судов / А. М. Захаров, П. А. Булыгин, Л. И. Райкин и др. Л., 1977. 207 с.

3-7. **Грецов Н. А.** Гидравлические сопротивления и рациональная форма прямоосных конфузорных труб с экраном перед входом // Труды Моск. с-х акад. им. К. А. Тимирязева. 1963. Вып. 87. С. 37—42.

3-8. **Давыдов А. П.** Исследование работы всасывающего отверстия с внутренним экраном // Исследование в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Сб. тр. ЛИСИ. Л., 1975. № 110. С. 27—34.

3-9. **Дзядзио А. М.** Пневматический транспорт на зернообработывающих предприятиях. М., 1961. 250 с.

3-10. **Довжик С. А., Картавенко В. М.** Экспериментальное исследование входных патрубков осевых стационарных турбомашин // Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 29. С. 56—73.

3-11. **Идельчик И. Е.** Аэродинамика всасывающих патрубков авиамоторов // Техника Воздушного Флота. 1944. № 5—6. С. 1—10, 28.

3-12. **Идельчик И. Е.** Гидравлические сопротивления при входе потока в каналы и протекании через отверстия // Промышленная аэродинамика. 1944. № 2. С. 27—57.

3-13. **Идельчик И. Е.** Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

3-14. **Идельчик И. Е.** Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия // Гидротехническое строительство. 1953. № 5. С. 31—36.

3-15. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям (коэффициенты местных сопротивлений и сопротивления трения). М., 1960. 464 с.

- 3-16. Идельчик И. Е. Учет влияния вязкости на гидравлическое сопротивление диафрагм и решеток//Теплоэнергетика. 1960. № 9. С.75—80.
- 3-17. Левин Б. М. Местные потери входа при всасывании грунта под водой//Труды Моск. ин-та инж. ж.-д. трансп. 1959. Вып. 122. С.281—312.
- 3-18. Носова М. М. Сопротивление входных и выходных раструбов с экранами//Промышленная аэродинамика. М., 1956. № 7. С.95—100.
- 3-19. Носова М. М., Тарасов Н. Ф. Сопротивление приточно-вытяжных вентиляционных шахт//Промышленная аэродинамика. 1959. № 12. С.197—215.
- 3-20. Носова М. М., Барнакова Т. С. Сопротивление входных и выходных отверстий в присутствии проходящего потока//Промышленная аэродинамика. 1959. № 15. С.20—37.
- 3-21. Ослянский Я. Л. Потери напора во всасывающей трубе землесоса при работе на водогрунтовой смеси//Труды Ленингр. ин-та водн. трансп. 1968. Вып. 119. С.135—142.
- 3-22. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений, Ч. II/Под общей ред. И. Г. Староверова. М., 1969. 536 с.
- 3-23. Стеменко В. А. Исследование коэффициентов сопротивления входных коробок вентиляторов и кинематики воздушного потока в них//Сб. тр. ин-та горной механики и технической кибернетики им. М. М. Федорова. 1967. № 17. С.32—43.
- 3-24. Степанов П. М., Овчаренко И. Х., Скобельцын Ю. А. Справочник по гидравлике для мелиораторов. М., 1984. 207 с.
- 3-25. Стещенко В. А., Пак В. В. Профилирование входных коробок центробежных двусторонних вентиляторов//Вопросы горной механики. М., 1967. № 17. С.43—47.
- 3-26. Сурнов Н. В. Входные устройства осевых вентиляторов//Промышленная аэродинамика. М., 1957. Вып. 9. С.28—34.
- 3-27. Темнов В. К. Коэффициент гидравлического сопротивления плавного входа при турбулентном движении жидкости//Изв. вузов. Энергетика. 1963. № 4. С.89—93.
- 3-28. Ханжонков В. И. Сопротивление приточных и вытяжных шахт//Промышленная аэродинамика. 1947. № 3. С.210—214.
- 3-29. Ханжонков В. И. Аэродинамические характеристики коллекторов//Промышленная аэродинамика. М., 1963. № 4. С.45—62.
- 3-30. Ханжонков В. И. Уменьшение аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 15. С.181—196.
- 3-31. Ханжонков В. И., Довыденко Н. И. Сопротивление боковых отверстий концевой участка трубопровода//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 15. С.38—46.
- 3-32. Шепелев И. А., Тягло И. Г. Спектры всасывания вблизи вытяжных отверстий местных отсосов (по литературным данным)//Местная вытяжная вентиляция. М., 1969. С.81—90.
- 3-33. Центробежные вентиляторы/А. Д. Брук, Т. И. Матикашвили, М. И. Невельсон и др.; Под ред. Т. С. Соломаховой. М., 1975. 415 с.
- 3-34. Ashino I. On the theory of the additional loss at the pipe entrance in viscous fluid. 1-st rept. On the influence of rounded entrance//Bull. JSME. 1968. V. 14. № 45. P. 463—468.
- 3-35. Ashino I. On the theory of the additional loss at the pipe entrance in viscous fluid. 2-nd Rept. When an entrance is taper type//Bull. JSME. 1969. V. 12. № 51. P. 522—529.
- 3-36. Basavarajaiah B. S. Exit loss in a sharp edged pipe//J. Instn. Engrs (India), Civil Engng. 1963. V. 43. N 11. Part 6. P. 549—563.
- 3-37. Bevier C. W. Resistance of wooden louvers to fluid flow//Heating, piping and air conditioning. 1955. May. P. 35—43.
- 3-38. Bossel H. H. Computation of axisymmetric contractions//AIAA Journal. 1969. V. 7. N 10. P. 2017—2020.
- 3-39. Campbell W. D., Slattery I. C. Flow in the entrance of a tube//Trans. ASME. 1963. V. D85. № 1. P. 41—45.
- 3-40. Cobb P. R. Pressure loss of air flowing through 45-degree wooden louvers//Heating, piping and air conditioning. 1953. December. P. 35—43.
- 3-41. Kubiček L. Ssaci nástavce//Strojirehstvi. 1954. N 4. P. 427—433.
- 3-42. Gibbings J. C. The throat profile for contracting ducts containing incompressible irrotational flows//Internat. J. Mech., Sci. 1969. V. 11. N 3. P. 293—301.
- 3-43. Hebans G. G., Asce A. M. Crest losses for two-way drop inlet//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 1969. V. 95. N 3. P. 919—940.
- 3-44. Lundgren T. S., Sparrow E. N., Starr J. Pressure drop due to the entrance region in ducts of arbitrary cross section//Trans. ASME. 1964. V. D86. N 3. P. 620—626.
- 3-45. Oosthuizen P. H. On the loss coefficient for a sharp-edged pipe entrance//Bull. Mech. Engng. Educ. 1968. V. 7. N 2. P. 157—159.
- 3-46. Rimberg D. Pressure drop across sharp-end capillary tubes//Industr. and Engng. Chem. Fundament. 1967. V. 6. N 4. P. 599—603.
- 3-47. Unger J. Strömung in zylindrischen Komälen mit Versperrungen bei hohen Reynolds-Zahlen//Forschung in ingenieurwesen. 1979. Bd. 45. N 3. S. 69—100.
- 3-48. Webb A. Head loss of a sudden expansion//Int. J. Mech. Eng. 1980. V. 8. N 4. P.173—176.
- 3-49. Weisbach G. Lehrbuch der Ingenieur und Maschinenmechanik, 11 Aufl. 1850. 320 s.



#### Четвертый раздел

4-1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М., 1960. 715 с.

4-2. Альтшуль А. Д., Арзуманов Э. С., Везирия Р. Е. Экспериментальное исследование зависимости коэффициента сопротивления при внезапном расширении потока от числа Рейнольдса//Нефтяное хозяйство. 1967. № 4. С.64—70.

4-3. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М., 1982. 224 с.

4-4. Баланин В. В., Василевский В. П. Определение коэффициента сопротивления потока методом теории турбулентных струй//Тр. Ленинградского ин-та водного транспорта. Л., 1977. Вып. 158. С.10—16; 1978. Вып. 162. С.5—10.

4-5. Бромлей М. Ф. Коэффициенты расхода отверстий, прикрытых створками//Современные вопросы вентиляции. М., 1941. С.40—65.

4-6. Везирия Р. Е. Исследование взаимного влияния запорных и регулирующих устройств на их гидравлическое сопротивление//Тр. НИИавтоматики. Кировакан. 1974. Вып. 2. С.25—29.

4-7. Волкова Л. П., Юделович М. Я. Потери на удар в ступенчатых трубах при сверхзвуковых отношениях давления//Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. 1958. № 4. С.68—72.

4-8. Гаркуша А. В., Кучеренко С. И. Особенности течения в кольцевом канале с уступом при  $n=1,7$ //Энергетическое машиностроение/Респ. межвед. н.-т. сборник. Харьков, 1981. Вып. 31. С.13—18.

4-9. Глотов Г. Ф., Мороз Э. К. Исследование течения газа в цилиндрическом канале при внезапном расширении звукового потока//Уч. записки ЦАГИ. 1970. Т. 1. № 2. С.53—59.

4-10. Дудинцев Л. М. Коэффициент расхода отверстия в стенке при потоке, направленном параллельно стенке//Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1969. № 5. С.97—103.

4-11. Жуковский Н. Е. Видоизменение метода Кирхгофа для определения движения жидкости в двух измерениях при постоянной скорости, данной на неизвестной линии тока. М., 1949. Соч. Т. 2. С.130—240.

4-12. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления при входе потока в каналы и протекании через отверстия//Промышленная аэродинамика. М., 1944. № 2. С.27—57.

4-13. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

4-14. Идельчик И. Е. Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия//Гидротехническое строительство. 1953. № 5. С.31—36.

4-15. Идельчик И. Е. Потери на удар в потоке с неравномерным распределением скоростей//Труды ЦАГИ. 1948. Вып. 662. С.1—24.

4-16. Идельчик И. Е. Учет влияния вязкости на гидравлическое сопротивление диафрагм и решеток//Теплоэнергетика. 1960. № 9. С.75—80.

4-17. Карев В. Н. Потери напора при внезапном расширении трубопровода//Нефтяное хозяйство. 1952. № 11 и 12. С.13—16.

4-18. Карев В. Н. Потери напора при внезапном сужении трубопровода и влияние местных сопротивлений на нарушение потока//Нефтяное хозяйство. 1953. № 8. С.3—7.

4-19. Левин А. М., Малая Э. М. Исследование гидродинамики потока при внезапном расширении//Труды Гос. проект. исслед. ин-та Востокгипрогаз. 1969. Вып. 1. С.41—47.

4-20. Левкоева Н. В. Исследование влияния вязкости жидкости на местные сопротивления: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1959. 186 с.

4-21. Мигай В. К., Носова И. С. Уменьшение вихревых потерь в каналах//Теплоэнергетика. 1977. № 7. С.49—51.

4-22. Морозов Д. И. Оптимальная степень внезапного расширения канала//Гидромеханика/Труды Харьковского университета. 1966. Вып. 4. С.53—55.

4-23. Панчурин Н. А. Обобщение теоремы Борда—Карно о потере напора при внезапном расширении на случай нестационарного течения//Труды Ленингр. ин-та водн. трансп. 1964. Вып. 51. С.34—39.

4-24. Федоткин И. М. Гидравлическое сопротивление дроссельных диафрагм двухфазному потоку//Изв. вузов. Энергетика, 1969. № 4. С.37—43.

4-25. Френкель Н. З. Гидравлика. М.—Л., 1956. 456 с.

4-26. Ханжонков В. И. Аэродинамические характеристики коллекторов//Промышленная аэродинамика. М., 1953. № 4. С.45—62.

4-27. Ханжонков В. И. Уменьшение аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 12. С.181—196.

4-28. Ханжонков В. И. Сопротивление истечению через отверстия в стенке в присутствии проходящего потока//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 15. С.5—19.

4-29. Чжен П. Отрывные течения. М., 1972. Ч. I, 300 с.; Ч. II, 280 с.

4-30. Швец И. Т., Репухов В. М., Богачук-Козачук К. А. Потери полного давления при вдуве воздуха в сносящий воздушный поток через отверстия в стенке//Промышленная теплотехника. Киев: 1979. 1. N 2. С. 3—10.

4-31. Alvi Sh. H. Contraction coefficient of pipe orifices//Flow Meas. Proc. FLUMEX 83 I MeCO Conf. flow meas. Budapest, 1983. N 20-22. P. 213—218.

4-32. Astarita G., Greco G. Excess pressure drop in laminar flow through sudden contraction//Industr. and Engng. Chem. Fundament. 1968. V. 7. N 1. P. 27—31.



4-33. **Ball J. W.** Sudden enlargements in pipelines//J. Power Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1962. V. 88. N 4. P. 15—27.

4-34. **Cornell W. G.** Losses in flow normal to plane screens//Transactions of the ASME. 1958. N 4. P. 145—153.

4-35. **Dewey P. E., Vick A. R.** An investigation of the discharge and drag characteristics of auxiliary-air outlets discharging into a transonic stream//NACA Techn. Note. 1955. N 3466. 38 p.

4-36. **Dickerson P., Rice W.** An investigation of very small diameter laminar flow orifices//Trans. ASME. 1969. V. D91. N 3. P. 546—548.

4-37. **Forst T. N.** The compressible discharge coefficient of a Borda pipe and other nozzles//J. Roy. aeronaut. Soc. 1964. N 641. P. 346—349.

4-38. **Geiger G. E., Rohrer W. M.** Sudden contraction losses in two-phase flow//Trans. ASME. S.C. 1966. V. 88. N 1. P. 1—9.

4-39. **Hebrard P., Sananes F.** Calcul de l'écoulement turbulent decolle en aval de l'élargissement brusque dans une veine de section circulaire//C.r. Acad. sci. 1969. V. 268. N 26. P. A1638—A1641.

4-40. **Iversen H. W.** Orifice coefficients for Reynolds numbers from 4 to 50 000//Trans. ASME. 1956. V. 78. N 2. P. 125—133.

4-41. **Johansen F.** Flow through pipe orifice of flow Reynolds numbers//Proceedings of the Royal Society. Serie A. 1930. V. 126. N 801. P. 125—131.

4-42. **Kolodziec P. A., Van Winkle M.** Discharge coefficients through perforated plates//A.J. Ch. E. Journal. 1959. V. 3. N 9. P. 23—30.

4-43. **Reichert V.** Teoretisch-experimentelle Untersuchungen zur Widerstandscharakteristik von Hydraulikventilen//Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität. Dresden. 1982. Bd. 3. Heft 2. S. 149—155.

4-44. **Ringleb T.** Two-dimensional flow with standing vortexes in diffusers//Trans. ASME. S.D. 1960. N 4. P. 130—135.

4-45. **Pearson H., Heurteux B. M.** Losses at sudden expansions and contractions in ducts//Aeronaut. Quart. 1963. Bd. 14. N 1. P. 63—74.

## ПЯТЫЙ РАЗДЕЛ

5-1. **Абрамович Г. Н.** Аэродинамика местных сопротивлений//Промышленная аэродинамика. М., 1935. Вып. 211. С. 65—150.

5-2. **Абрамович Г. Н.** Прикладная газовая динамика. М., 1969. 715 с.

5-3. **Альтшуль А. Д., Калицун В. М.** О коэффициенте сопротивления конфузоров//Изв. вузов. Энергетика. 1960. № 7. С. 130—136.

5-4. **Артюшкина Г. К.** О гидравлическом сопротивлении при ламинарном движении жидкости в конических диффузорах//Труды ЛПИ. 1973. № 333. С. 104—106.

5-5. **Аэродинамические характеристики плоских безотрывных диффузоров/А. С. Гиневский, А. В. Колесников. И. Н. Подольный,**

**А. Н. Смольяникова//Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 30. С. 5—25.**

5-6. **Бедрицкий Е. Л.** Исследование дозвуковых диффузоров//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 123—158.

5-7. **Богданов Ю. В., Таланцев А. В.** О гидравлических сопротивлениях переходов с круга на прямоугольные щели//Труды ЛПИ. 1968. № 289. С. 104—109.

5-8. **Брусиловский И. В.** Определение оптимальных параметров диффузоров осевых вентиляторов и их энергетических характеристик по экспериментальным данным//Промышл. аэродинамика. М.: 1987. Вып. 2(34). С. 118—133.

5-9. **Бушель А. Р.** Исследование коротких радиальных и комбинированных диффузоров//Промышленная аэродинамика. М., 1966. Вып. 28. С. 121—138.

5-10. **Бычкова Л. А.** Аэродинамические характеристики плоских и радиальных диффузоров с предотрывным турбулентным пограничным слоем//Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 30. С. 26—33.

5-11. **Васильев Ю. Н.** К теории ступенчатого диффузора//Лопаточные машины и струйные аппараты. М., 1969. Вып. 4. С. 31—35.

5-12. **Веригин И. С.** О влиянии гидродинамического режима входа потока в конический диффузор на эффективность преобразования энергии при работе его в системе сопло—труба—диффузор—труба//Ярославск. политехн. ин-т. 1981. 21 с. Деп. в ВИНТИ 17.12.81. № 5738—81.

5-13. **Веригин И. С.** Экспериментальное исследование сопротивления отрывного конического диффузора при работе его в системе сопло—диффузор—прямой участок трубы. Ярославск. политехн. ин-т, 1979. 18 с. Деп. в ВИНТИ. 15.11.79. № 3879—79.

5-14. **Войтович Л. Н., Емельянова Г. Н.** Экспериментальное и теоретическое исследование гидравлического сопротивления конических диффузоров с шероховатой поверхностью//Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т. XVI. № 4. С. 105—110.

5-15. **Гаркуша А. В., Гринченко Н. Я., Кучеренко С. И.** Исследование течения в кольцевом коническом диффузоре//Энергетическое машиностроение. Респуб. межвед. сб. Харьков, 1981. Вып. 31. С. 21—25.

5-16. **Гаркуша А. В., Кучеренко С. И.** Исследование характеристик закрученного потока в кольцевом ступенчатом диффузоре с сопротивлением на выходе//Энергетическое машиностроение/Сб. Харьковского политехнич. ин-та. 1984. Вып. 38. С. 3—10.

5-17. **Герман Р.** Сверхзвуковые входные диффузоры и введение во внутреннюю аэродинамику. М., 1960. 378 с.

5-18. **Гибсон А.** Гидравлика и ее приложения. М., 1935. 611 с.

- 5-19. Гипевский А. С. Энергетические характеристики дозвуковых диффузорных каналов//Известия АН СССР. ОТН. 1956. № 3. С. 152—154.
- 5-20. Гипевский А. С. Расчет потерь в расширяющихся и сужающихся каналах//Промышленная аэродинамика. 1956. № 7. С. 5—16.
- 5-21. Гипевский А. С., Бычкова Л. А. Аэродинамические характеристики плоских и осесимметричных диффузоров с предотрывным состоянием турбулентного пограничного слоя//Тепло- и массоперенос. М., 1968. Т. I. С. 100—115.
- 5-22. Гипевский А. С., Емельянова Г. Н., Колесняков А. В. Прямая и обратная задачи расчета диффузорных каналов//Тр. ЦИАМ. 1984. № 1093. С. 51—60.
- 5-23. Гипевский А. С., Колесняков А. В. Расчет начального участка и участка стабилизированного течения в плоских безотрывных диффузорах//Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1969. № 6. С. 31—38.
- 5-24. Гипевский А. С., Солодкин Е. Е. Аэродинамические характеристики начального участка трубы кольцевого сечения при турбулентном течении в пограничном слое//Промышленная аэродинамика. М., 1959. Вып. 12. С. 155—167.
- 5-25. Гипевский А. С., Солодкин Е. Е. Гидравлическое сопротивление кольцевых каналов//Промышленная аэродинамика. М., 1961. Вып. 20. С. 202—215.
- 5-26. Гинзбург Я. Л., Идельчик И. Е. Основные результаты исследований диффузоров квадратного и прямоугольного сечения//Промышл. очистка газов и аэрогидродинамика пылеулавливающих аппаратов. Ярославль, 1975. С. 57—63.
- 5-27. Гинзбург Я. Л., Идельчик И. Е. Экспериментальное определение коэффициентов восстановления давления в конических диффузорах при больших дозвуковых скоростях//Ученые записки ЦАГИ. 1973. Т. 4. № 3. С. 23—31.
- 5-28. Гордеев Н. Н., Селезнев К. П., Чернявский Л. К. Приближенный метод расчета потерь в прямых и изогнутых диффузорах с произвольным законом изменения площади поперечного сечения и его использование для оптимизации элементов турбомашин//Теплоэнергетика/Тр. ЛПИ. Л., 1947. № 358. С. 47—53.
- 5-29. Гришанин К. В. Установившееся турбулентное движение жидкости в коническом диффузоре с малым углом раскрытия//Труды ЛИИВТ. Л., 1955. Вып. 22. С. 47—53.
- 5-30. Губин М. Ф., Казеннов В. В., Волшаник В. В. Оптимальная форма прямоосного диффузора для закрученного потока жидкости//Труды Моск. инж.-строит. ин-та. 1972. № 89. С. 38—44.
- 5-31. Гурженико Г. А. Об установившемся турбулентном течении в конических диффузорах с малыми углами расширения//Труды ЦАГИ. 1939. Вып. 462. 80 с.
- 5-32. Дзипличев В. Н., Васильев Б. В. Исследование диффузоров с гибкими поперечными ребрами//Гидроаэромеханика. 1966. Вып. 3. С. 25—30.
- 5-33. Данцыг А. Я., Петров Н. М., Пономарев Н. Н. К вопросу определения потерь в канале с внезапным расширением, расположенным за диффузором//Изв. вузов. Авиационная техника. 1981. № 3. С. 86—89.
- 5-34. Данцыг А. Я., Петров Н. М. Определение потерь полного давления в ступенчатых кольцевых диффузорах с прямолинейными наружными стенками и равномерным полем скорости на входе//Изв. вузов. Авиационная техника. 1983. № 1. С. 24—28.
- 5-35. Данцыг А. Я., Петров Н. М. Определение потерь полного давления в ступенчатых кольцевых диффузорах с криволинейными наружными стенками и равномерным полем скорости на входе//Изв. вузов. Авиационная техника. 1983. № 3. С. 63—66.
- 5-36. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. М., 1970. 384 с.
- 5-37. Диденко О. И. и др. Влияние угла раскрытия на эффективность кольцевых криволинейных диффузоров//Изв. вузов. Энергетика. 1967. № 8. С. 108—112.
- 5-38. Демидов С. Исследование течения и определение потерь полного давления в круглых, плоских и кольцевых диффузорах//Тр. ЦИАМ. 1960. № 116. 14 с.
- 5-39. Довжик С. А., Гипевский А. С. Экспериментальное исследование напорных патрубков стационарных осевых машин//Технические отчеты. 1955. № 130. 15 с.
- 5-40. Довжик С. А., Морозов А. И. Экспериментальное исследование кольцевых диффузоров осевых турбомашин//Промышленная аэродинамика. М., 1961. Вып. 20. С. 168—201.
- 5-41. Дорфман А. Ш. К вопросу расчета потерь полного давления в диффузорных каналах//Энергомашиностроение. 1966. № 8. С. 5—10.
- 5-42. Дорфман А. Ш., Сайковский М. И. Приближенный метод расчета потерь в криволинейных диффузорах при отрывных течениях//Промышленная аэродинамика. М., 1966. Вып. 28. С. 98—120.
- 5-43. Емельянова Г. Н. Численный расчет аэродинамических характеристик осесимметричных каналов//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 106—122.
- 5-44. Зарянкин А. Е., Головина Л. Г., Этт В. В. Влияние режимных параметров на характеристики конических диффузоров//Теплоэнергетика. 1967. № 4. С. 27—34.
- 5-45. Зарянкин А. Е., Касьянов В. Ф. К исследованию диффузоров с отрывным характером

течения//Проблемы турбомашин/Тр. МЭИ. 1978. Вып. 385. С. 14—19.

5-46. Идельчик И. Е. Аэродинамика всасывающих патрубков//ТВФ. 1944. № 5—6. С. 1—10. С. 28.

5-47. Идельчик И. Е. Аэродинамика потока и потери напора в диффузорах//Промышленная аэродинамика. 1947. № 3. С. 132—209.

5-48. Идельчик И. Е. Выравнивающее действие сопротивления, помещенного за диффузором//Труды ЦАГИ. 1948. Вып. 662. С. 25—52.

5-49. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

5-50. Идельчик И. Е. Исследование коротких диффузоров с разделительными стенками//Теплоэнергетика. 1958. № 8. С. 21—26.

5-51. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. К вопросу о влиянии магнитного поля на течение в диффузорах//Магнитная гидродинамика/АН Латв. ССР. 1970. № 1. С. 148—151.

5-52. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. Об исследовании влияния числа Рейнольдса и условий входа на закономерности движения потока в диффузорах//Пробл. вентиляции и кондицион. воздуха. Минск. 1969. С. 224—231.

5-53. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. О механизме влияния условий входа на сопротивление диффузоров//Инж.-физ. ж. 1969. Т. 16. № 3. С. 413—416.

5-54. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. Основные результаты новых экспериментальных исследований конических диффузоров//Механическая очистка промышленных газов/НИИ-Огаз. М., 1974. С. 178—210.

5-55. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. Простые способы уменьшения сопротивления коротких диффузоров с большими углами расширения//Водоснабжение и санитарная техника. 1971. № 10. С. 27—30.

5-56. Карлсон, Джонсон, Сейджи. Влияние формы стенки на режимы течения и характеристики плоских диффузоров с прямолинейной осью//Теорет. основы инж. расч./Труды Америк. об-ва инж.-мех. (русс. пер.) 1967. Т. 89. Сер. Д. № 1. С. 173—185.

5-57. Кириленко Д. А., Панков О. М. Аэродинамическое исследование плоского многоканального дозвукового диффузора//Изв. вузов. Машиностроение/МВТУ, 1979. № 3. С. 54—57.

5-58. Локшин И. Л., Газирбекова А. Х. Работа диффузоров, установленных за центробежными вентиляторами//Промышленная аэродинамика. 1955. Сб. № 6. С. 127—152.

5-59. Мазо А. С. Аэродинамические характеристики кольцевых конических диффузоров. М., 1980. 6 с. Деп. в НИИавтопроме. № 496.

5-60. Мазо А. С. Экспериментальное исследование структуры течения в кольцевом кри-

волинейном диффузоре с поворотом потока//Тр.НАМИ, 1979. Вып. 176. С. 151—160.

5-61. Мигай В. К. К исследованию обретенных диффузоров//Теплоэнергетика. 1962. № 10. С. 33—39.

5-62. Мигай В. К. О влиянии начальной турбулентности на эффективность диффузорных течений//Изв. вузов. Энергетика. 1966. № 2. С. 131—136.

5-63. Мигай В. К. О расчете потерь в диффузорах с отрывом потока//Теплоэнергетика. 1983. № 9. С. 38—40.

5-64. Мигай В. К. Уменьшение вихревых потерь в каналах//Теплоэнергетика. 1979. № 7. С. 49—51.

5-65. Мигай В. К., Гудков Э. И. Проектирование и расчет выходных диффузоров турбомашин. Л., 1981. 272 с.

5-66. Михеев В. П., Гоман В. Г. Неизотермическое течение газа в канале переменного сечения//Изв. вузов. Энергетика. 1969. № 7. С. 89—95.

5-67. Нельсон. Янг, Хадсон. Расчет осесимметричного профилированного диффузора с отсосом пограничного слоя//Энергетические машины и установки/Тр. Американского об-ва инженеров-механиков (русс. пер.). М. 1975. № 1. С. 137—144.

5-68. Овчинников О. Н. Влияние входного профиля скоростей на работу диффузоров//Труды Ленинградского политехнического ин-та. 1955. № 176. С. 45—53.

5-69. Полоцкий Н. Д. Результаты исследования потока в плоских криволинейных диффузорах//Тр. Всес. ин-та гидромашиностроения. 1962. Вып. 31. С. 3—17.

5-70. Полоцкий Н. Д. Энергетические характеристики криволинейных диффузоров//Энергомашиностроение. 1964. № 3. С. 12—16.

5-71. Рено, Джонстон, Клайн. Характеристики и расчет плоских диффузоров с прямой осью//Теорет. основы инж. расч./Труды Америк. об-ва инж.-мех. (русс. пер.) М., 1967. Т. 89. Сер. Д. № 3. С. 160—172.

5-72. Розовский И. Л., Левин А. М. Про безвідриваний рух стиснутого газу в дифузори при дозвукових швидкостях//Доповіді АН УССР, від. техн. н. 1948. № 4. С. 50—55.

5-73. Романенко П. Н., Леонтьев А. И., Облинин А. Н. Исследование сопротивления и теплообмена при движении воздуха в диффузорах и конфузорах//Тепло- и массоперенос. М.—Л., 1963. Т. 3. С. 349—360.

5-74. Савин Н. М. Экспериментальное исследование зависимости предельного угла раскрытия плоского диффузора от относительной длины, чисел  $Re$  и  $\lambda$ //Лопаточные машины и струйные аппараты. М., 1970. Вып. 4. С. 10—16.

5-75. Седач В. С., Муслин Б. К., Коваленко А. А. Гидравлические потери при пульсирующем течении газа через диффузор в виде

улитки//Изв. вузов. Энергетика. 1969. № 1. С. 128—132.

5-76. Симуни Л. И. Влияние неизотермичности на отрыв в плоском диффузоре//Тр. Ленинградского политехнич. ин-та. 1966. № 265. С. 21—23.

5-77. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Турбулентное течение вязкой жидкости в начальных участках осесимметричных и плоских каналов//Труды ЦАГИ. М., 1957. Вып. 701. 56 с.

5-78. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Стабилизированное турбулентное течение вязкой жидкости в плоском диффузорном канале при малых углах раскрытия//Труды БНИ МАП. 1958. Вып. 728. С. 26—39.

5-79. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Турбулентное течение в начальном участке диффузорного канала//Труды БНИ МАП. 1958. Вып. 728. С. 1—25.

5-80. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. К вопросу о влиянии начальной неравномерности на характеристики диффузорных каналов//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 12. С. 168—180.

5-81. Солодкин Е. Е., Гиневский А. С. Турбулентное неизотермическое течение вязкого сжимаемого газа в начальных участках осесимметричных и плоских расширяющихся каналов с нулевым градиентом давления//Тепло- и массоперенос. Минск, 1965. Т. I. С. 189—202.

5-82. Сцилард К. С. Исследование диффузоров аэродинамических труб больших скоростей//Технические заметки/ЦАГИ. М., 1938. № 160. 35 с.

5-83. Сэджи, Джонстон. Конструкция и характеристика двумерных криволинейных диффузоров//Теорет. основы инж. расч./Тр. Амер. об-ва инж.-мех. (русс. пер.). М., 1967. Сер. Д. № 4. С. 23—44.

5-84. Тананаев А. В. Гидравлика МГД-машин. М., 1970. 209 с.

5-85. Тарг С. М. Основные задачи теории ламинарных течений. М., 1951. 150 с.

5-86. Таршин М. С. О взаимосвязи между потерями при неравномерном установившемся течении жидкости и коэффициентами Кориолиса и Буссинеска//Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л., 1985. С. 61—64.

5-87. Уайтмен, Рено, Клайн. Влияние условий входа на характеристики двумерных дозвуковых диффузоров//Технич. механ./Тр. Амер. об-ва инж.-мех. (русс. пер.). М., 1961. Сер. Е. № 3. С. 44—58.

5-88. Федяевский К. К. Критический обзор работ по замедленным и ускоренным турбулентным пограничным слоям//Технические заметки/ЦАГИ. 1937. № 158. С. 45—48.

5-89. Фендриков И. А., Фридлянд В. Я., Янко А. К. Исследование изменения характеристик конического диффузора от условий потока на входе//Гидромеханика. Республ. межвед. сб./АН УССР. К., 1971. Вып. 17. С. 113—117.

5-90. Фокс. Клайн. Режимы течения в криволинейных дозвуковых диффузорах//Технич. механ./Тр. амер. об-ва инж.-механ. (русс. пер.) М., 1962. Сер. Е. № 3. С. 3—19.

5-91. Франкфурт М. О. К определению потерь в диффузоре при уточнении пограничного слоя с помощью щелевого отсасывания//Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 30. С. 34—40.

5-92. Франкфурт М. О. К оценке потерь в коническом диффузоре с большим углом раскрытия//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 168—170.

5-93. Франкфурт М. О. Экспериментальное исследование диффузоров с щелевым отсасыванием воздуха из пограничного слоя//Промышленная аэродинамика. М., 1973. Вып. 30. С. 41—49.

5-94. Франкфурт М. О. Экспериментальное исследование струйных диффузоров//Ученые записки ЦАГИ. 1982. Т. XIII. № 2. С. 78—86.

5-95. Франкфурт М. О. Экспериментальное исследование характеристик конических диффузоров с тангенциальным сдувом//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. 1(33). С. 158—168.

5-96. Фейл. Система лопаток для дозвуковых диффузоров с очень большими углами раствора//Теорет. основы инж. расч./Тр. амер. об-ва инж.-механ. (русс. пер.). М., 1964. Сер. Д. № 4. С. 151—158.

5-97. Чернявский Л. К., Гордеев Н. Н. Обобщение экспериментальных данных по потерям в прямых диффузорах с постоянным углом раскрытия//Теплоэнергетика. 1985. № 6. С. 75—77.

5-98. Чернявский Л. К., Гордеев Н. Н. Обобщение экспериментальных коэффициентов потерь диффузоров, установленных в сети//Теплоэнергетика. 1986. № 10. С. 72—74.

5-99. Шерстюк А. Н. Исследование плоских диффузоров с сомкнувшимися пограничными слоями на входе//Турбомашин/Тр. МЭИ. 1980. Вып. 504. С. 52—60.

5-100. Яньшин Б. И. Гидравлические характеристики затворов и элементов трубопроводов. М., 1965. 260 с.

5-101. Ackeret J. Grenzschichten in geraden und gekrümmten Diffusoren//Intern. Union für theor. und angew. Mechanik. Symposium, Freiburg. 1958. 130 S.

5-102. Blau F. Die Verbesserung des hydraulischen Wirkungsgrades von Diffusoren mit Rechteckprofil und grossen Öffnungswinkel durch Einbau von Leitblechen oder von Kurzdifusoren//Mitt. Forschungsanst. Schiffahrt. Wasser und Grundbau. Berlin. 1963. № 9. S. 5—48.

5-103. **Bouthier M., Cavaille G.** Etude des écoulements gazeux dans les gaines fortement divergentes//Bull. Centre rech. essais Chatou. 1963. № 4. P. 83—93.

5-104. **Bradshaw P.** Performance of a diffuser with fully-developed pipe flow at entry//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1963. V. 67. N 635. 733 p.

5-105. **Carlson J. J., Johnston J. P., Sagi C. J.** Effects of wall shape on flow regimes and performance in straight two-dimensional diffusers//Trans. ASME. 1967. V. D89. N 1. P. 151—159.

5-106. **Cerny L. C., Walawender W. P.** The flow of a viscous liquid in a converging tube//Bull. Math. Biophys. 1966. V. 28. N 1. P. 11—24.

5-107. **Cerny L. C., Walawender W. P.** Blood flow in rigid tapered tubes//Amer. J. Physiol. 1966. V. 210. N 2. P. 341—346.

5-108. **Chaturvedi M. C.** Flow characteristics of axisymmetric expansions//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1963. V. 89. N 3. part I. P. 61—92.

5-109. **Cocanover A. B.** A unified method for predicting the performance of subsonic diffusers of several geometries: Doct. diss. Stanford Univ., 1966. 107 pp.

5-110. **Cockrell D. J., Diamond M. J., Jones C. D.** The diffuser inlet flow parameter//J. of the Roy. Aeronaut. Soc. 1965. V. 69. N 652. P. 275—278.

5-111. **Cockrell D. J., Markland E.** The effects of inlet conditions on incompressible fluid flow through conical diffusers//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1962. V. 66. N 613. P. 51—52.

5-112. **Cockrell D. J., Markland E.** A review of incompressible diffuser flow//Aircraft Engrs. 1963. V. 35. N 10. P. 286—292.

5-113. **Dönch T.** Divergente und konvergente turbulente Strömungen mit kleinen Öffnungswinkeln//VDI, Forschungsarbeiten. 1929. Heft 282. 70 s.

5-114. **Eiffel G.** Souffleries aérodynamiques//Résumé des principaux travaux exécutés pendant la guerre au laboratoire aérodynamique. 1918. P. 135—175.

5-115. **Fernholz H.** Eine grenzschichttheoretische Untersuchung optimaler Unterschalldiffusoren//Ingr.—Arch. 1966. Bd. 35. N 3. S. 192—201.

5-116. **Furuya Y., Sato T.** Pressure recovery efficiency of short conical diffusers and fevregened diffusers//Bull. JSME. 1960. V. 3. XI. N 12. P. 437—443.

5-117. **Gardel A.** Perte de charge dans un étranglement conique//Bull. techn. Suisse romande. 1962. V. 88. N 21. P. 313—320.

5-118. **Gibblings I. C.** Flow in contract ducts//AIAAJ. 1964. V. 2. N 1. P. 191—192.

5-119. **Gibson A.** On the flow of water through pipes and passages having converging or diverging boundaries//Proceedings of the Royal Society. 1910. V. 83. P. 27—37.

5-120. **Gibson A.** On the resistance to flow of water through pipes or passages having

diverging boundaries//Transaction of the Royal Society. 1911. V. 48. P. 123—131.

5-121. **Ghose S., Kline S. J.** The computation of optimum pressure recovery in two-dimensional diffusers//Journal of Fluids Engineering. 1978. V. 100, December. P. 419—426.

5-122. **Goldsmith E. L.** The effect of internal contraction initial rate of subsonic diffuser and coil centrebody shape on the pressure recovery of a conical centrebody intake of supersonic speed//Aeronaut. Res. Council. Repts. and Mem. 1962. N 3204. P. 131—140.

5-123. **Hackeschmidt M., Vogelsang E.** Versuche und Austrittsgehäuse mit neuartigen Diffusoren//Maschinenbautechnik. 1966. Bd. 15. N 5. S. 251—257.

5-124. **Hofmann A.** Die Energieumsetzung in saugrohrähnlicherweiterter Düsen//Mitteilungen. 1931. Heft 4. S. 75—95.

5-125. **Imbach H. E.** Beitrag zur Berechnung von rotationsymmetrischen turbulenten Diffusorstömungen//Brown Baveri Mitteilungen. 1964. Bd. 51. N 12. S. 784—802.

5-126. **Jahn K.** Ein Beitrag zum Problem der Siebdiffusoren//Maschinenbautechnik. 1970. Bd. 19. N 2. S. 35—45.

5-127. **Jezowiecka-Kabsch K.** Wpływ kształtów dyfuzorów na wysokość strathydraulicznych//Pr. nauk. Inst. Techn. Ciepłej i aparatury przen. PW, 1971. Sv. 3. 51 s.

5-128. **Johnston J. P.** The effect of inlet conditions on the flow in annular diffusers//C. P. N 178, Memorandum N M. 167. 1953. N 1. P. 21—30.

5-129. **Johnston J. P., Powars Ch. A.** Some effects of inlet blockage and aspect ration on diffusers performance//Trans. ASME. 1969. V. D91. N 3. P. 551—553.

5-130. **Kline S. J.** On the nature of stall//Trans. ASME. 1959. V. 81. S. D. N 3. P. 305—320.

5-131. **Kline S. J., Moore C. A., Cochran D. L.** Wide-angle diffusers of high performance and diffuser flow mechanisms//J. Aeronaut. Sci. 1957. V. 24. N 6. P. 469—470.

5-132. **Kline S. J., Abbott D. E., Fox R. W.** Optimum design of straight-walled diffusers//Trans. ASME, s. D. 1959. V. 81. N 3. P. 321—331.

5-133. **Kmoniček V.** Scurgerea subsonică în difuzoare conice//Studii și cercetări mec. apl. Acad. RPR. 1961. Sv. 12. N. 2. S. 383—390.

5-134. **Kmoniček V.** Ovlivenění činnosti prostých kuželových difusorů vložnými tělesy//Strojnický časop. 1963. Sv. 14. N 5. S. 484—498.

5-135. **Kmoniček V., Hübš M.** Výsledky experimentálního a teoretického výzkumu mezikryhových difusorových kanálů//Láke, probl. ve stavbě spalov. turbin. Praha, SCAU, 1962. S. 371—397.

5-136. **Kubo Toshisuke, Ueda Tatsuhiro.** On the characteristics of divided flow and confluent flow in headers//Bull. JSME. 1969. N 52. P. 138—143.

- 5-137. **Levin L., Clermont F.** Etude des pertes de charge singulieres dans les convergents coniques // *Le Génie Civil*. 1970. V. 146. N 10. P. 11—20.
- 5-138. **Liepe F.** Experimentelle untersuchungen über den Einfluss des Dralles auf die Stromung in Schlangen Kegeldiffusoren // *Wissenschaft, Zeitschrift der TH. Dresden*, 1962. Bd. 8. N 2. S. 330—335.
- 5-139. **Liepe F., Jahn K.** Untere Wirkungsgrade von Kegel diffusoren // *Maschinenbautechnik*. 1962. N 11. S. 41—52.
- 5-140. **Limberg H.** Scurgerea de intrare laminară într-un canal convergent // *Studii și cercetări mec. apl. Acad. RPR*. 1961. V. 12. N 1. P. 3—10.
- 5-141. **Linneker H.** Betrachtungen über Wirkungsgrade gasdurchströmter Diffusoren // *Konstruktion*. 1963. Bd. 15. N 7. S. 10—17.
- 5-142. **Livesey J. L., Turner J. T.** The dependence of diffuser performance upon inlet flow conditions // *J. Roy Aeronaut. Soc.* 1965. V. 69. N 6159. P. 794—795.
- 5-143. **Livesey J. L., Hugh T.** Some preliminary results for conical diffusers with high subsonic entry Mach numbers // *J. Mech. Engng. Soc.* 1966. V. 8. N 4. P. 384—391.
- 5-144. **Lau W. T. F.** An analytical method for the design of two-dimensional contractions // *J. Roy Aeronaut. Soc.* 1964. V. 68. N 637. P. 59—62.
- 5-145. **Markland E., North F.** Performance of conical diffusers up to the Choking condition // *Proceedings of the Sixth Conference on Fluid Machinery*. Budapest, 1979. V. 2. P. 703—713.
- 5-146. **Mathieson R., Lee R. A.** Diffusers with boundary layer suction // *Internat. Assoc. Hydraul. Res.* 10th. Congr. London. 1964. V. 4. N 249. P. 81—88.
- 5-147. **McDonald A. T., Fox R. W.** An experimental investigation of incompressible flow in conical diffusers // *Paper. Amer. Soc. Mech. Eng.* 1966. N FE-25. 9 p.
- 5-148. **McDonald A. T., Fox R. W., Dewoestine R. V.** Effects of swirling inlet flow on pressure recovery in conical diffusers // *AIAA Journal*, 1971. V. 9. N 10. P. 2014—2018.
- 5-149. **Naumann.** Efficiency of diffusers on high subsonic speeds // *Reports and Transactions*. 1946. N 11. A. P. 1—20.
- 5-150. **Nikuradse I.** Untersuchungen über die Strömungen des Wassers in konvergenten und divergent Kanälen // *VDI-Forschungsarbeiten*. 1929. Heft 289. 60 s.
- 5-151. **Patterson G.** Modern diffuser design // *Aircraft Eng.* 1938. P. 1—5.
- 5-152. **Peryez S.** Der Einfluss des Diffusorwirkungsgrade auf den Austrittsverlust im Dampfturbinen // *Brennstoff-Warme-Kraft*. 1961. Bd. 13. N 9. S. 9—15.
- 5-153. **Peters H.** Energieumsetzung in Querschnittserweiterung bei verschiedenen Zulaufbedingungen // *Ingenieur-Archiv*. 1931. N 1. S. 7—29.
- 5-154. **Pohl K. H.** Strömungsverhältnisse in einem Diffusor mit vorgeschalteten Krümmer // *Ingenieur Archiv*. 1960. N XXIX. S. 21—28.
- 5-155. **Polzin J.** Strömungsuntersuchungen an einem ebenen Diffusor // *Ingenieur-Archiv*. 1940. Heft 5. S. 30—49.
- 5-156. **Prechter H. P.** Gesichtspunkte zur Auslegung von Diffusoren unter Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse // *Der Maschinenmarkt*. 1961. Bd. 13. N 82. S. 31—39.
- 5-157. **Raghunathan S., Kar S.** Theory and performance of conical diffuser exit duct combinations // *Paper, Amer. Soc. Mech. Eng.* 1968. V. NWA/FE-45. 8 p.
- 5-158. **Rao D. M.** A method of flow stabilisation with high pressure recovery in short conical diffusers // *Aeronaut. J.* 1971. V. 75. N 725. P. 336—339.
- 5-159. **Rao P. V., Dass H. S.** Design and testing of streamline shapes for axisymmetric diffuser // *J. of the Institute of Engineers. India*. 1981. V. 62. Prt. ME 2. P. 39—46.
- 5-160. **Rao D. M., Raju K. N.** The use of splitters for flow control in wide angle conical diffusers // *Techn. Note. Nat. Aeronaut. Lab. Bangalore*. 1964. N AE-26. 19 p.
- 5-161. **Rao D. M., Raju K. N.** Experiments on the use of screens and splitters in a wide-angle conical diffuser // *Techn. Note Nat. Aeronaut. Lab. Bangalore*. 1964. N AE-24. 23 p.
- 5-162. **Rao P., Samba S., Vyas B. D., Raghunathan S.** Effect of inlet circulation on the performance of subsonic straight conical diffusers // *Indian J. Technol.* 1971. V. 9. N 4. P. 135—137.
- 5-163. **Ringleb F. O.** Two-dimensional flow with standing vortexes in ducts and diffusers // *Trans. ASME*. 1960. V. s. D82. N 4. P. 921—927.
- 5-164. **Robertson J. M., Fraser H. R.** Separation prediction for conical diffusers // *J. of basic/Trans. ASME*. 1960. V. 82. s. D. N 1. P. 135—145.
- 5-165. **Robertson J. M., Fraser H. R.** Investigation of the boundary layer stall in a conical diffuser // *Trans. ASME*. 1961. V. 81. N 1. P. 35—43.
- 5-166. **Runstandler P. W., Dean R. C.** Straight channel diffuser performance at high inlet Mach numbers // *Paper Amer. Soc. Mech. Eng.* 1968. NWA/FE-19. 16 p.
- 5-167. **Sagi J.** The design and performance of two-dimensional curved subsonic diffusers // *Dissert. Abstrs.* 1968. V. B. 28. N 7. 286 p.
- 5-168. **Schlichting H., Gersten K.** Berechnung der Stromung in rotations-symmetrischen Diffusoren mit Hilfe der Grenzschichttheorie // *Flugwissenschaft Zeitschrift*. 1961. Bd. 9. N 4—5. S. 18—27.
- 5-169. **Sharan W. Kr.** Improving diffuser performance by artificial means // *AJAA Journal*. 1972. V. 10. N 8. P. 1105—1106.

5-170. Siedschlag H. J. Die Stromung in diffusoren Verschiedener Querschnittsformen//Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden. 1963. Bd. 12. N 1. S. 85—96.

5-171. Sisojev V. O stepenu korisnog dejstva nadzvue difozora aerotunela//Tehnika. 1961. Sv. 16. N 3. S. 100—104.

5-172. Sokwan L. Vortex phenomena in a conical diffuser//AIAA Journal. 1967. V. 5. N 6. P. 1072—1078.

5-173. Sprenger H. Messungen an Diffusoren//ZAMP. 1957. Bd. 7. N 4. S. 372—374.

5-174. Sprenger H. Experimentelle Untersuchungen an geraden und gekrummten Diffusoren//Mitt. Inst. Aerodyn. (ETH Zürich), 1959. Bd. 84. N 27. 84 S.

5-175. Stock H. W. Compressible turbulent flows in long circular cross-section diffusers of large area ratio//Z. Flugwiss. Weltraumforsch. 1985. Bd. 9. Heft 3. S. 143—155.

5-176. Stull F. D., Velkoff H. R. Effects of tranverse ribs on pressure recovery, in two-dimensional subsonic diffusers//AIAA Paper. 1972. N 1141. 11 p.

5-177. Squire H. B. Experiments on conical diffuser//Reports and Memoranda. 1950. N 2751, P. 41—60.

5-178. Stevens S. G., Markland E. The effect of inlet conditions on the performance of two annular diffusers//Paper Amer. Soc. Mech. Eng. 1968. NWA/FE-38. 15 p.

5-179. Stratford B. S., Tubbs H. The maximum pressure rise attainable in subsonic diffusers//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1965. V. 69. N 652. P. 275—278.

5-180. Szablewski W. Turbulente Stromungen in divergenten kanalen Mittlerer und starker Druckanstieg//Ingr. Arch. 1954. Bd. 22. N 4. S. 268—281.

5-181. Winter H. Strömungsverhältnisse in einem Diffuser mit vorgeschalteten Krummer//Maschinenbau und Wärmenwirtschaft. 1953. Heft 2. S. 38—49.

5-182. Winternitz F. A. L., Ramsay W. J. Effect of inlet boundary layer on pressure recovery, energy conversion and losses in conical diffusers//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1957. V. 61. N 554. P. 15—23.

5-183. Wolf S., Johnston J. P. Effects of nonuniform inlet velocity profiles on flow regimes and performance in two-dimensional diffusers//Paper Amer. Soc. Mech. Eng. 1969. NWA/FE-25. 13 p.

5-184. Wu J. H. T. On a two-dimensional perforated intake diffuser//Aerospace Engng. 1962. V. 21. VII. N 7. P. 13—19.

5-185. Van Dewoestine R. V., Fox R. W. An experimental investigation on the effect of subsonic inlet Mach number on the performance of conical diffusers//Intern. J. Mech. Sci. 1966. V. 8. N 12. P. 759—769.

5-186. Villeneuve F. Contribution a l'etude de l'ecoulement dans un diffuseur a six degres//Publ. scient. et techn. Minist. air. 1963. N 397. 69 p.

## ШЕСТОЙ РАЗДЕЛ

6-1. Абрамович Г. Н. Аэродинамика местных сопротивлений//Промышленная аэродинамика. М., 1935. Вып. 211. С. 65—150.

6-2. Агурейкин С. С., Сподыряк Н. Т., Устименко Б. П. Экспериментальное исследование гидродинамики турбулентного потока в криволинейных каналах//Пробл. теплоэнерг. и прикл. теплофиз. Алма-Ата, 1969. Вып. 5. С. 35—45.

6-3. Аронов И. З. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в изогнутых трубах: Дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1950. 130 с.

6-4. Аронов И. З. О гидравлическом подобии при движении жидкости в изогнутых трубах-змеевиках//Изв. вузов. Энергетика. 1962. № 4. С. 52—59.

6-5. Баулин К. К., Идельчик И. Е. Экспериментальное исследование течения воздуха в коленах//Технические заметки/ЦАГИ. 1934. № 23. 24 с.

6-6. Беркутов И. С., Рахматулин Ш. И. Опыт снижения гидравлических сопротивлений изогнутых каналов//Нефтяное хоз-во. 1964. № 1. С. 46—47.

6-7. Волков В. Г., Хорун С. П., Яковлев А. И. Гидравлическое сопротивление плоских каналов с обратным симметричным поворотом//Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах. Харьков. 1972. Вып. 1. С. 98—105.

6-8. Гольденберг И. З. Исследование поля осевой составляющей скорости потока в судовом трубопроводе за отводом//Труды Калининградского техн. ин-та рыбной пром-ти и хоз-ва. 1970. Вып. 22. С. 125—134.

6-9. Гольденберг И. З., Умбрасас М.—Р.А. Связь гидравлических потерь со скоростью вторичного течения в отводах трубопроводов//Тр. Калининградского техн. ин-та рыбной пром-сти и хоз-ва. 1975. Вып. 58. С. 36—42.

6-10. Гольденберг И. З. Экспериментальное исследование влияния взаимодействия поворотов потока на гидравлические потери в напорных каналах//Труды Калининградского техн. ин-та рыбной пром-ти и хоз-ва. 1966. Вып. 19. С. 29—34.

6-11. Гонцов Н. Г., Маринова О. А., Тананев А. В. Турбулентное течение на участке поворота круглой трубы//Гидротехническое строительство. 1984. № 12. С. 24—28.

6-12. Дементьев К. В., Аронов И. З. Гидродинамика и теплообмен в криволинейных каналах прямоугольного сечения//Инж.-физ. ж-л. 1978. Т. 34. № 6. С. 994—1000.



- 6-13. **Зубов В. П.** Исследование потерь давления в тройниках при делении и соединении потоков: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 165 с.
- 6-14. **Иванов К. Ф., Финодеев О. В.** О некоторых особенностях процесса стабилизации потока за поворотом // Изв. вузов. Энергетика. 1987. №3. С. 111—114.
- 6-15. **Идельчик И. Е.** Направляющие лопатки в коленах аэродинамических труб // Технические заметки/ЦАГИ. 1936. № 133. 35 с.
- 6-16. **Идельчик И. Е.** Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.
- 6-17. **Идельчик И. Е.** К вопросу о влиянии числа  $Re$  и шероховатости на сопротивление изогнутых каналов // Промышленная аэродинамика. М., 1953. Сб. № 4. С. 177—194.
- 6-18. **Идельчик И. Е.** О режиме отрывных течений в фасонных частях трубопроводов // Теплогазоснабжение и вентиляция. Киев, 1966. С. 43—49.
- 6-19. **Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л.** Гидравлическое сопротивление кольцевых поворотов на  $180^\circ$  // Теплоэнергетика, 1968. № 4. С. 87—90.
- 6-20. **Ито, Набу.** Течение во вращающихся прямых трубах круглого поперечного сечения // Теорет. основы инж. расчетов/ Труды Амер. об-ва инж.-мех. (русс. пер.) М., 1971. № 3. С. 46—56.
- 6-21. **Казаченко В. С.** Местные сопротивления прямоугольных колен // Водоснабжение и санитарная техника. 1962. № 2. С. 7—11.
- 6-22. **Камершгейн А. Г., Карев В. Н.** Исследование гидравлического сопротивления гнутых, сварных, крутозагнутых и складчатых колен компенсаторов // Тр. ВНИИСтройнефть и МИИГС. 1956. С. 52—59.
- 6-23. **Карпов А. И.** Сопротивление колен с малым радиусом закругления в условиях пневмотранспорта // Изв. вузов. Энергетика. 1962. № 8. С. 93—95.
- 6-24. **Квитковский Ю. В.** Гидравлическое сопротивление плавной изогнутых труб // Труды Моск. ин-та инж. ж.-д. транспорта. 1963. Вып. 176. С. 61—63.
- 6-25. **Клячко Л. С.** Уточнение метода теоретического определения коэффициентов сопротивления отводов различного профиля // Труды научной сессии ЛИОТ. Л., 1955. Вып. 1. С. 79—137.
- 6-26. **Клячко Л. С., Макаренко Т. Г., Пустошная В. Ф.** Обобщенные формулы для определения коэффициентов сопротивления произвольных сочетаний узлов из отводов в вентиляционных сетях // Вопросы проектирования и монтажа сан.-техн. систем/Тр. ВНИИГС. Л., 1980. С. 3—8.
- 6-27. **Кошелев И. И., Эскин Н. Б., Абрютин Н. В.** О гидравлическом сопротивлении изогнутых труб малого диаметра из нержавеющей стали при изотермическом течении жидкости // Изв. вузов. Энергетика. 1967. № 2. С. 64—69.
- 6-28. **Мазуров Д. Я., Захаров Г. В.** Исследование некоторых вопросов аэродинамики трубных змеевиков // Теплоэнергетика. 1969. № 2. С. 39—42.
- 6-29. **Максименко А. В.** К вопросу об учете взаимного влияния фасонных частей при гидравлическом расчете систем вентиляции // Судостроение. 1959. № 8. С. 35—40.
- 6-30. **Мигай В. К., Гудков Э. И.** Некоторые способы уменьшения потерь в элементах котельных газозовоздуховодов // Труды ЦКТИ. 1971. Вып. 110. С. 40—46.
- 6-31. **Некрасов Б. Б.** Гидравлика. М., 1954. 290 с.
- 6-32. **Новиков М. Д.** Аэродинамическое сопротивление сдвоенных поворотов газозовоздуховодов котлов // Труды ЦКТИ. 1971. Вып. 110. С. 53—60.
- 6-33. **Параска Д. И.** Методика улучшения гидравлических характеристик изогнутых напорных каналов на основе визуализации потоков двулучепреломляющей жидкости: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1982. 146 с.
- 6-34. **Пермяков Б. А.** Влияние числа витков на аэродинамику змеевиков из спирально-изогнутых труб // Промышленная теплотехника. Киев. 1984. Т. 6. № 2. С. 21—22.
- 6-35. **Полоцкий Н. Д.** О возникновении вторичных потоков при движении жидкости по изогнутому каналу // Труды Всес. н.-и. ин-та гидромашиностр. 1961. Вып. 29. С. 60—70.
- 6-36. **Промышленная аэродинамика.** М., 1956. Сб. № 7. 154 с.
- 6-37. **Рихтер Л. А.** Тяга и дутье на тепловых электростанциях. М., 1962. 200 с.
- 6-38. **Розовский И. Л.** Движение воды на повороте открытого русла/АН УССР. Киев, 1957. С. 41—47.
- 6-39. **Татарчук Г. Т.** Сопротивление прямоугольных отводов // Вопросы отопления и вентиляции/Труды ЦНИИПС. 1951. С. 17—28.
- 6-40. **Топунов А. М., Рубцов Ю. В., Измайлович В. В.** Снижение гидравлических сопротивлений в элементах газозовоздуховодов энергетических установок // Теплоэнергетика. 1981. № 11. С. 43—46.
- 6-41. **Трофимович В. В.** Потери энергии при турбулентном движении жидкости в отводах // Сан. техника. Киев. 1967. Вып. 5. С. 156—164.
- 6-42. **Ульянов И. Е., Крумилиа Н. Н., Вокар Н. В.** Проектирование воздуховодов самолетных силовых установок. М., 1979. 96 с.
- 6-43. **Умбрасас М.—Р. А., Гольденберг И. З.** Влияние шероховатости на величину гидравлических потерь в отводах // Гидравлика, гидротранспорт рыбы и его технические средства/Тр. КТИРПиХ, Калининград, 1977. Вып. 69. С. 62—69.



- 6-44. Умбрасас М.—Р. А. Оценка безотказности судовых трубопроводов, включающих сочетания отводов, при проектировании систем морской воды: Дис. ... канд. техн. наук. Севастополь, 1984. 155 с.
- 6-45. Хескестад. Течение в плоском прямоугольном колене//Теоретические основы инженерных расчетов/Тр. Амер. об-ва инж.-мех. (русск. пер.). М., 1971. № 3. С. 86—97.
- 6-46. Хапжонков В. И., Талиев В. Н. Уменьшение сопротивления квадратных отводов направляющими лопатками//Технические отчеты/БНТ МАП. 1947. № 110. 16 с.
- 6-47. Хапжонков В. И. Аэродинамическое сопротивление плоских каналов с обратным симметричным поворотом//Промышленная аэродинамика. М., 1962. Вып. 21. С. 151—166.
- 6-48. Щукин В. К. Режимы течения и гидравлическое сопротивление радиальных вращающихся каналов//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1980. № 3. С. 152—159.
- 6-49. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М., 1970. 331 с.
- 6-50. Юдин Е. Я. Колена с тонкими направляющими лопатками//Промышленная аэродинамика. М., 1956. № 7. С. 55—80.
- 6-51. Adler M. Strömung in gekrümmten Rohren//Z. angew. Math. Mech. 1934. Bd. 14. S. 30—50.
- 6-52. Ajukawa K. Pressure drop in the hydraulic conveyance of solid materials through a bend in vertical plane//Bull. of JSME 1969. V. 12. № 54. 57 p.
- 6-53. Bambach. Plötzliche Umlenkung (Stoss) von Wasser in geschlossenen unter Druck durchströmten Kanälen//VDI. 1930. Heft 327. S. 1—60.
- 6-54. Benson R. S., Wollatt D. Compressible flow loss coefficients at bends and T-junctions//Engineer. 1966. V. 221. № 5740. P. 70—85.
- 6-55. Blenke M., Bohner K., Mirner W. Druckverlust bei der 180°—Stromungsumlenkung in Schlaufenreaktor//Verfahrenstechnik. 1969. Bd. 3. № 10. S. 444—452.
- 6-56. Chun Sik Lee. Stromungswiderstände in 90°—Rohrkrümmern//Gesundheits-Ingenieur. 1969. Heft 1. S. 12—15.
- 6-57. Cros Ph., Pernes P. Etude des pertes de charge singulieres dans les coudes brusques a 90° en polychlorure divinyle//Bull. techn. génie rural. 1971. № 111. I—VII. P. 1—33.
- 6-58. Conn H. G., Colborne N. G., Brown W. G. Pressure losses in 4-inch diameter galvanized metal duct and fittings//Heating, piping and air conditioning. 1953. N 1. P. 30—35.
- 6-59. Decock P., Pay A. Mesure des pertes de charge localisus dans des accessoires de tuyauterie-coudes arrondis de 90° (cuivre type a souder)//Chaleur et climats. 1969. Bd. 34. № 398. P. 27—31.
- 6-60. Eastwood W., Sarginson E. J. The effect of a transition curve on the loss of head at a bend in a pipeline//Proc. Instn. Civil Engrs. 1960. V. 16. № 6. P. 129—142.
- 6-61. Fritzsche und Richter H. Beitrag zur Kenntnis des Strömungswiderstandes gekrümmter rauher Rohrleitung//Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. 1933. Bd. 4. № 6. S. 40—90.
- 6-62. Haase D. Strömung in einem 90°-Knie//Ingr-Arch. 1954. Bd. 22. № 4. S. 282—292.
- 6-63. Hassoon H. M. Pressure drop in 180° pipe bends//Building Services Engr. Research and Technologia. 1982. V. 3. № 2. P. 70—74.
- 6-64. Hofmann A. Der Verlust in 90°—Rohrkrümmern mit gleichbleibenden Kreisquerschnitt//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts des Technischen Hochschule. München. 1929. Heft 3. S. 36—45.
- 6-65. Iguchi M., Ohani M., Nakajima H. Loss coefficient of screw elbows in pulsative flow//Bull. of JSME. 1984. V. 27. № 234. P. 2722—2729.
- 6-66. Ito H. Friction factors for turbulent flow in curved pipes//Trans. ASME. 1959. V. D81. № 2. P. 123—132.
- 6-67. Ito H.//Trans. of the JSME. 1963. 3. Ser. D. 82—1. P. 131—136.
- 6-68. Ito H., Imai K. Pressure losses in vaned elbows of a circular cross section//Trans. ASME. 1966. V. D88. № 3. P. 684—685.
- 6-69. Jung R., Gummersbach. Die Stromungsverluste in 90°-Umlenkungen beim pneumatischen Staubtransport//Brennstoff-Warme-Kraft. 1967. Bd. 19. № 9. S. 430—435.
- 6-70. Kamiyama S. Theory on the flow through bends with turning vanes//Sci. Repts Res. Inst. Tohoku Univ. Ser. B. High Speed Mech. 1969. № 20. P. 1—14.
- 6-71. Kirchbach. Der Energieverlust in Knies-tucken//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der TE Technischen Hochschule. München. 1929. Heft 3. S. 25—35.
- 6-72. Markowski M. Współczynniki oporów przepływu dwufazowego czynnika przez luki przelotników powietrznych//Arch. budowy maszyn. 1967. T. 14. N 2. S. 339—370.
- 6-73. Machne G. Perdite di carico prodotte da curve isolate con cambiamento di direzione di 90° in tubozioni a serione circolare costante in moto turbolento//Techn. ital. 1957. V. 22. N 2. P. 77—91.
- 6-74. Morikawa L. Druckverlust in pneumatischen Förderungen von körnigen Gütern bei grossen Gutbelaugen//Bull. of JSME. 1968. Bd. 11. N 45. S. 469—477.
- 6-75. Morimune T., Hirayama N., Maeda T. Study of compressible high speed gas flow in piping system//Bulletin of JSME. 1980. V. 23. N 186. P. 1997—2012.
- 6-76. Murakami M., Shimuzu Y., Shiragami H. Studies on fluid flow in three-dimensional bend conduits//Bull. JSME. 1969. V. 12. N 54. P. 1369—1379.

6-77. Nippert H. Über den Strömungsverlust in gekrümmten Kanälen, Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens//VDI. 1929. Heft 320. 85 S.

6-78. Padmarajah T. P. Pressure losses in 90°-bends in the region of turbulent flow//J. Instn. Engrs. (India)/Civil Engng Div. 1964. V. 45. Part I. N 1. P. 103—111.

6-79. Richter H. Der Druckabfall in gekrümmten glatten Rohrleitungen, Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens//VDI. 1930. Heft 338. S. 30—47.

6-80. Richter H. Rohrhydraulik. Berlin. 1954. 328 s.

6-81. Schubart. Der Verlust in Kniestücken bei glatter und rauher Wandung//Mitteilungen des Hydraulischen Inst. der Technischen Hochschule. München. 1929. Heft 3. S. 13—25.

6-82. Sharma H. D., Varshney D. V., Chaturvedi R. N. Energy loss characteristics in closed conduit bends (an air model study)//Proc. 42nd Annu. Res. Sess. Madras, 1972. V. 2B. P. 11—18.

6-83. Shimizu Y., Sugino K. Hydraulic losses and flow patterns of a swirling flow in U-bends//Bulletin of the JSME. 1980. V. 23. N 183. P. 1443—1450.

6-84. Shiragami N., Inoue I. Pressure losses in square section bends.//J. of chemical Eng. of Japan. 1981. V. 14. N 3. P. 173—177.

6-85. Smith A. T., Ward. The flow and pressure losses in smooth pipe bends of constant cross section//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1963. V. 67. N 631. P. 437—447.

6-86. Spalding. Versuche über den Strömungsverlust in gekrümmten Leitungen//VDI. 1933. N 6. S. 1—17.

6-87. Spychala F. Versuche zur Ermittlung von Druckverlusten in Rohrleitungen und Formstücken von Lüftungsanlagen//Schiffbau Forschung. 1968. Bd. 7. N 5—6. S. 216—222.

6-88. Sprenger H. Druckverluste in 90°-Krummern für Rechteckrohre//Schweizerische Bauzeitung (SBZ). 1969. Bd. 87. N 13. S. 223—231.

6-89. Takami T., Sudou K. Flow through curved piped with elliptic sections//Bulletin of JSME. 1984. V. 27. N 228. P. 1176—1181.

6-90. Vuskovic G. Der Strömungswiderstand von Formstücken für Gasrohrleitungen (Fittings)//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München. 1939. Heft 9. S. 30—43.

6-91. Wasilewski J. Verluste in glatten Rohrkümmern mit kreisrunden Querschnitt bei weniger als 90°-Ablenkung//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München. 1932. Heft 5. S. 18—25.

6-92. Weisbach J. Lehrbuch der Ingenieur und Maschinenmechanik, II Aufl., 1850 u. Experimentalhydraulik, 1855. 320 s.

6-93. Werszko D. Badania ilościowego wpływu chropowatości i liczby Reynoldsa na współczynnik strat hydraulicznych 90° krzywaków kołowych//Lesz. nauk. Politechn. wrocławski. 1968. N 173. S. 57—78.

6-94. Wolf S., Huntz D. M. Losses in a compact 180-deg. return flow passage as a function of Reynolds number//Trans. ASME. 1970. V. D92. N 1. P. 193—194.

6-95. White C. M. Streamline flow through curved pipes//Proc. Roy. Soc. Lond. (A). 1929. V. 123. P. 20—31.

## СЕДЬМОЙ РАЗДЕЛ

7-1. Аслакьян О. И., Гольденберг И. З., Зюбан В. А. и др. Исследование полей осевых скоростей в приточных тройниках//Изв. вузов. Энергетика. 1987. № 11. С. 110—116.

7-2. Бездеткина Э. В. Особенность работы нормализованных тройников в производственных условиях//Науч. труды по санитарной технике. Волгоград, 1971. Вып. III. С. 83—88.

7-3. Васильевский В. П. Определение коэффициентов сопротивления при слиянии двух потоков с разными скоростями методом теории турбулентных струй//Технич. прогресс в проектировании и эксплуатации водных путей и гидротехнических сооружений. Л., 1983. Вып. 176. С. 15—19.

7-4. Гусев В. М., Ринас Ф. Р. Исследование спаренной установки стандартных тройников с дроссель-шайбой//Исследование в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха/Сб. тр. ЛИСИ, 1975. № 110. С. 18—26.

7-5. Дашкиев Ю. Г., Полупан Г. П. Гидравлическое сопротивление раздающих и собирающих тройников типа  $F_c = F_a - F_b - F_{ct}$ //Теплоэнергетика. 1983. № 7. С. 44—46.

7-6. Дергачев Б. А. Случаи увеличения полного напора при установившемся движении реальной жидкости//Сб. научно-методич. статей по гидравлике. М., 1980. Вып. 3. С. 64—69.

7-7. Дергачев Б. А. Уравнение баланса удельной энергии в случае разделения напорного потока жидкости//Труды Ленинградского политехн. ин-та. 1973. № 333. С. 76—79.

7-8. Зубов В. П. Исследование потерь давления в тройниках при делении и соединении потоков: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 165 с.

7-9. Зубов В. П. О сопротивлении обыкновенного тройника при соединении потоков//Вопросы гидравлики/Сб. тр. МИСИ. 1974. № 124. С. 55—60.

7-10. Зубов В. П. Физический смысл коэффициентов сопротивления тройников при соединении потоков жидкости//Стр-во и арх./ВНИИИС. 1981. № 5. С. 25 с.

7-11. Зубов В. П., Дроздов Е. В. Исследование зависимости коэффициентов сопротивления

тройников от числа Рейнольдса // Гидравлика лопаточных машин и общая механика / Тр. ВПИ. Воронеж, 1974. С. 107—112.

7-12. **Зубов В. П., Дроздов Е. В., Курганов А. М.** Об отрицательном коэффициенте сопротивления при делении потоков // Межвузовский сб. трудов ЛИСИ. Л., 1976. № 5. С. 56—62.

7-13. **Зусманович В. М.** Сопротивление тройников сточных газопроводных труб // Вопросы отопления и вентиляции. М., 1953. С. 10—30.

7-14. **Зюбан В. А., Гольденберг И. З.** Исследование потерь напора в приточных тройниках. Справочно-информац. фонд НИИЭинформ-энергомаш, № 177ЭМ-Д83, 15 с. «Библиографический указатель ВИНТИ—депониров. н.-р.», 1983, № 80 (144). С. 130.

7-15. **Идельчик И. Е.** Аэрогидродинамика технологических аппаратов. М., 1983. 350 с.

7-16. **Идельчик И. Е.** Аэродинамика промышленных аппаратов. М. 1964. 289 с.

7-17. **Идельчик И. Е.** К определению гидравлического сопротивления участков с разделением и слиянием двухфазных (многофазных) несжимаемых потоков // Известия вузов. Энергетика, 1975. № 7. С. 94—102.

7-18. **Идельчик И. Е.** Формулы расчета задачи потока вдоль контактных, фильтрующих и других аппаратов и коллекторов Z-образной формы // Теоретические основы химической технологии. 1970. Т. 6. № 2. С. 253—260.

7-19. **Идельчик И. Е., Штейнберг М. О.** К вопросу о методах расчета распределения потока вдоль каналов с путевым расходом // Теор. основы химической технологии. 1972. Т. 6. № 4. С. 603—610.

7-20. **Киселев П. Г.** О величине потерянного напора при слиянии потоков // Вопросы гидравлики и водоснабжения / МИСИ. М., 1980. Сб. № 174. С. 5—9.

7-21. **Клячко Л. С., Успенская Л. Б.** Расчетные формулы для нормализованных вентиляционных тройников и узлов ответвления промышленных конструкций воздухопроводов // Труды ВНИИГСа. 1970. Вып. 28. С. 25—45.

7-22. **Клячко Л. С., Пустошная В. Ф.** Исследование влияния некоторых конструктивных элементов прямоугольных тройников на их аэродинамические характеристики // Труды ВНИИГСа. 1970. Вып. 28. С. 46—53.

7-23. **Кожевникова Е. Н.** Перемешивание жидкостей в трубопроводах при различных способах подачи примеси: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1983. 168 с.

7-24. **Кожевникова Е. Н., Локтионова Е. А.** Потери напора при соединении двух потоков // Тр. ЛПИ. 1984. № 401. С. 43—46.

7-25. **Кривицкая Н. А.** Исследование равномерности распределения приточного воздуха из промышленных воздухопроводов постоянного

сечения с дисковыми плафонами: дисс. ... канд. техн. наук / Белорус. политехн. ин-т. Минск, 1972. 148 с.

7-26. **Кузменко Л. М.** Обобщение формулы Борда—Карно на случай смешения двух потоков с неравномерным скоростным полем // Гидромеханика. Республ. межвуз. сб. АН УССР. Киев, 1979. Вып. 40. С. 39—43.

7-27. **Левин С. Р.** Гидравлическое сопротивление сварных крестовин и тройников // Водоснабжение и сантехника. 1961. № 4. С. 10—13.

7-28. **Левин С. Р.** Деление потоков в трубопроводах // Труды ЛТИ им. С. М. Кирова. 1948. № 1. (3). С. 86—103.

7-29. **Левин С. Р.** Новый метод теоретического определения гидравлических сопротивлений при смешении потока в трубопроводах // Труды ЛТИ им. С. М. Кирова. 1955. № 6. С. 119—140.

7-30. **Левин С. Р.** Смешение потоков в крестообразных соединениях трубопроводов // Труды ЛТИ им. С. М. Кирова. 1954. № 5. С. 80—95.

7-31. **Левин С. Р.** Сопротивление тройников вытяжных воздухопроводов // Отопление и вентиляция. 1940. № 10—11. С. 5—10.

7-32. **Левин С. Р.** Соударение потоков несжимаемой жидкости в трубопроводах // Труды ЛТИ им. С. М. Кирова. 1958. № 8. С. 89—103.

7-33. **Любанов В., Чакъров Т.** Обобщено течение на Мазес // Теоретична и приложно механика / Болгарска Акад. на Науките. 1980. № 2. С. 54—57.

7-34. **Нейков О. Д., Алексеев А. Г., Коваль В. И.** Местные сопротивления и турбулентность при слиянии и разделении воздушных потоков // Труды н.-и. ин-та по вентиляции и очистке воздуха на горнорудн. пред., 1969. Вып. 5. С. 37—45.

7-35. **Неймарк Л. И.** Исследование сопротивления тройников высокоскоростных приточных систем кондиционирования воздуха // Кондиционирование воздуха / Труды н.-и. инж. сан.-техн. 1966. Вып. 18. С. 139—150.

7-36. **Петров Г. А.** Гидравлика переменной массы (Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути). Харьков, 1964. 224 с.

7-37. **Прузнер А. С.** Сопротивление тройников при работе на нагнетании // Современные вопросы вентиляции. М., 1941. С. 41—60.

7-38. **Рекин А. Д.** Гидравлическое сопротивление при разделении потока жидкости по двум параллельным каналам с произвольным соотношением расходов // Инж.-физ. ж.-л. 1981. Т. 11. № 5. С. 842—847.

7-39. **Секуидов А. Н.** Универсальная связь между потерями, турбулизацией и смешением в цилиндрическом канале // Турбулентные струйные течения. Таллин, 1982. С. 104—108.

7-40. **Сосин М. Л., Неймарк Л. И.** Аэродинамические характеристики прямых приточных крестовин // Исслед., расчет, проектиро-

вание сан.-техн. систем/АН СССР. М., 1970. Вып. 2. 150 с.

7-41. **Талиев В. Н.** Аэродинамика вентиляции. М., 1979. 295 с.

7-42. **Талиев В. Н.** Потери давления в воздуховоде при делении потока на два разнонаправленных потока//Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1983. № 5. С. 100—102.

7-43. **Талиев В. Н.** Расчет местных сопротивлений тройников. М., 1952. 35 с.

7-44. **Талиев В. Н., Татарчук Г. Т.** Сопротивление прямоугольных тройников//Вопросы отопления и вентиляции. М., 1951. С. 50—80.

7-45. **Татарчук Г. Т.** Местные сопротивления чугунных крестовин//Вопросы отопления и вентиляции. М., 1956. С. 31—45.

7-46. **Терентьев Н. И.** Исследования взаимного влияния тройников и отводов на местные потери давления в трубопроводах центральных насосных установок. М., 1971 (Труды ЦНИИ МПС). Вып. 453. С. 40—47.

7-47. **Ульянов И. Е., Крумина Н. Н., Вокарь Н. В.** Проектирование воздухопроводов самолетных силовых установок. М., 1979. 96 с.

7-48. **Успенская Л. Б.** Коэффициент сопротивления нормализованных вентиляционных тройников на всасывающих воздухопроводах//Водоснабжение и санитарная техника. 1963. № 2. С. 10—15.

7-49. **Цаль Р. Я., Чечик Е. Н.** Вычислительные машины в расчетах санитарно-технических систем. Киев, 1968. 143 с.

7-50. **Штейнберг М. О., Идельчик И. Е.** Исследование гидравлического сопротивления коллекторов переменного сечения газоочистных и других сооружений//Промышленная и санитарная очистка газов. 1973. № 2. С. 1-5.

7-51. **Boyar R. E., Brown W. K., Jr., Nguyn M. D.** Friction loss characteristics of branch duct fittings with a fixed duct configuration//Trans. ASHRAE. New York, 1966. V. 72. Part 1. P. 346—357.

7-52. **Forney L. J., Lee H. C.** Optimum dimensions for pipeline mixing at a T-Junction//AIChE J. 1982. V. 28. N 6. P. 980—987.

7-53. **Franke P.** Die zusatzlichen Verluste bei der Vereinigung von zwei Wasserströmen in einem gemeinsamen steigsschacht//VDI—Zeitschrift. 1955. Bd. 97. N 24. S. 841—843.

7-54. **Gardel A.** Les pertes de charge dans les branchements en Té des conduites de section circulaire//Bulletin technique de la suisse romande. 1970. N 25. P. 363—391.

7-55. **Laggenmiller K.** Beitrag zur strömungs- und festigkeitgünstigen Ausbildung von Abzweigen und Beileitungen. 1973. 133 s.

7-56. **Ito H., Sato M., Oka K.** Complete characteristics of energy losses due to division and combination of flow at a sorewed tee//Trans. of the Japan SME. 1978. V. 44. N 387. P. 3902—3907.

7-57. **Ito H., Sato M., Oka K.** Energy losses due to division and combination of flow at 90° wyes//Trans. of the JSME. 1984. S. B. V. 50. N 450. P. 342—349.

7-58. **Iwanami S., Suu Tetsuo, Kato Hiroshi.** Study on flow characteristics in right-angled pipe fittings. Ist. rept. On case of mater flow//Bull. JSME. 1969. V. 12. N 53. P. 1041—1050.

7-59. **Kališ J.** Hydraulické ztráty v odbočnicich rozdělovacich potrubí vodnich elekträren//Vodohospod. časop. 1964. Sv. 12. No I. S. 48—77.

7-60. **Kinne E.** Der Verlust in 60° Rohrverzweigungen//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München. 1931. Heft 4. S. 90—105.

7-61. **Konzo S.** Investigation of the pressure losses of takeoffs for extended-plenum type air conditioning duct systems//University of Illinois bulletin. 1953. N 415. P. 110—116.

7-62. **Kramer K.** Der Druckabfall in einen laminar durchströmten regelmässig verzweigten Rohrleitungssystem mit Anwendung auf den Blutkreislauf des Menschen//Arch. Kreislaufforsch. 1967. Bd. 52. N. 1—2. S. 79—95.

7-63. **Kubo Toshisuke, Ueda Tatsuhiro.** On the characteristics of divided flow and confluent flow in headers//Bull JSME, 1969. V. 12. N 52. S. 802—809.

7-64. **Lakshmana, Rao N. S.** Pressure losses at pipe trifurcations//Water Power. 1969. V. 21. N. 8. P. 309—313.

7-65. **Marchetti M., Nosedà G.** Perdite di carico nelle biforcazioni simmetriche a diametro costante, delle condotte forzate//Energia elettr. 1960. V. 37. N 4. P. 289—301.

7-66. **Petermann F.** Der Verlust in schiefwinkligen Rohrverzweigungen//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München, 1929. Heft 3. S. 100—120.

7-67. **Platzer B.** Berechnung von Druckverlustwerten in rechtwinkligen Kreuzverzweigungen//Luft-und Kälte-Technik. 1982. V. 18. N 4. S. 219—220, 239, 240.

7-68. **Price J. T.** Chimney flow improvement//Power Engineering. 1967. September. P. 52—55.

7-69. **Rao N. S., Lakshmana, Rao B.C.S., Ramaswamy R. I.** Pressure losses at trifurcations in closed conduits//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1967. V. 93. N 3. P. 51—64.

7-70. **Rao B.C.S., Lakshmana R.N.S., Shivaswamy M. S.** Distribution of energy losses at conduit trifurcations//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1968. V. 94. N 6. P. 1363—1374.

7-71. **Rao P. V., Sharma S.N.P.** Energy loss at abrupt pipetrifurcations//Univ. Roorkee Res. J. 1968. V. 10. N 3—4. Part 1. P. 43—53.

7-72. **Ruus E.** Head losses in wyes and manifolds//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1970. V. 96. N 3. P. 593—608.

7-73. **Spielbauer M.** Die spezifischen astwiderstände von Rohrverzweigungen und ihre

Bedeutung für die Entegration der Leistungsverluste sowie für die Querschnittsoptimierung // Bautechnik. 1963. Bd. 40. N 1. S. 19—26.

7-74. **Spychala F.** Versuche zur ermittlung von Druckverlusten in Rohrleitungen und Formstücken von Luftungsanlagen // Schiffbau Forschung. 1968. Bd. 7. N 5—6. S. 216—222.

7-75. **Shisholm D.** Calculate pressure losses in bends and tees during steamwater flow // Engng and Boiler House Rev. 1967. V. 82. N 8. P. 235—237.

7-76. **Tsao S., Rodgers W.** Numerical solutions of transients in pneumatic networks. Part 3. Network problems with branching // Trans. ASME. 1969. V.E. 36. N 3. P. 594—597.

7-77. **Turton R. K.** Design of slurry distribution manifolds // The Engineer Technical Contributors Section. 1966. April, 29. P. 641—643.

7-78. **Vogel C.** Untersuchungen über den Verlust in rechtwinkligen Rohrverzweigungen // Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München. 1926. Heft 1, 1928. Heft 2. S. 85—105.

7-79. **Williamson J., Rhone T. J.** Dividing flow in branches and Wyes // J. of the hydraulics division. 1973. May. P. 747—769.

## ВОСЬМОЙ РАЗДЕЛ

8-1. **Альтшуль А. Д., Краснов Н. С.** К расчету влияния загрязнений на гидравлическое сопротивление сеток с квадратными ячейками // Движение однородных и неоднородных жидкостей // Труды МИСИ им. В. В. Куйбышева. М., 1968. Вып. 2. № 55. С. 70—75.

8-2. **Альтшуль А. Д.** Гидравлические сопротивления. М., 1970. 216 с.

8-3. **Азров М. Э., Годес О. М.** Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. М., 1968. 510 с.

8-4. **Азров М. Э., Годес О. М., Наринский Д. А.** Аппараты со стационарным зернистым слоем. М., 1979. 175 с.

8-5. **Басовская А. А., Рейсиг В. А.** Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления в микросопловых решетках // Инж-физ. ж-л. 1980. Т. 39. № 5. С. 798—801.

8-6. **Басовская А. А., Рейсиг В. А.** Экспериментальное исследование теплообмена и гидравлического сопротивления при протекании воздуха через проволочную решетку // Инж-физ. ж-л. 1977. Т. 33. № 4. С. 734—739.

8-7. **Белов С. В.** Пористые материалы в машиностроении. М., 1981. 184 с.

8-8. **Бернштейн Р. С., Померанцев В. В., Шагалова С. Л.** Обобщенный метод расчета аэродинамического сопротивления загруженных сечений // Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах. М., 1958. С. 267—289.

8-9. **Воскресенский А. К., Обливин А. Н., Сагаль С. З.** Гидродинамические характеристики пористых тел // Вопросы теплопередачи // Тр. Московского лесотехнического ин-та. 1981. Вып. 130. С. 5—21.

8-10. **Гидравлическое сопротивление перфорированных решеток** // Г. И. Дербунович, А. С. Земская, Е. У. Репик, Ю. П. Соседко // Ученые записки ЦАГИ. 1984. Т. 15. № 2. С. 114—118.

8-11. **Гольдштейн М. А.** Процессы переноса в зернистом слое // Ин-т теплофизики СО АН СССР. Новосибирск, 1984. 163 с.

8-12. **Гордон Г. М., Аладжалов И. А.** Газочистка рукавными фильтрами в цветной металлургии. М., 1956. 180 с.

8-13. **Григорьев А. Ф.** Зависимость гидравлического сопротивления рукавного фильтра от пылесодержания ткани // Сб. науч. трудов по санитарной технике. Волгоград, 1971. Вып. 3. С. 72—76.

8-14. **Дрябин В. А., Галерштейн Д. М., Забродский С. С.** Гидравлическое сопротивление неподвижного зернистого слоя нисходящему пылегазовому потоку // Инж.-физ. ж-л. 1978. Т. 34. № 5. С. 828—832.

8-15. **Дульнев В. Б.** Определение потерь напора в решетках // Гидротехническое строительство. 1956. № 9. С. 31—35.

8-16. **Жаворонков Н. М.** Гидравлические основы скрубберного процесса и теплопередача в скрубберах. М., 1944. 224 с.

8-17. **Жаворонков Н. М.** и др. Гидро- и аэродинамика насадок скрубберных и ректификационных колонн. Критические явления в орошаемых неупорядоченных насадках // Химическая промышленность. 1949. № 3. С. 75—79.

8-18. **Зайцев М. М.** Расчет рукавного фильтра // Труды НИИцемента. 1950. Вып. 3. С. 80—89.

8-19. **Зиндра Н. Н., Сухарев М. И.** Исследование роста сопротивления тканевых фильтров при очистке аэрозолей // Труды Ленинградского института текстильной и легкой промышленности. 1969. Вып. 10. С. 31—35.

8-20. **Идельчик И. Е.** Аэродинамика технологических аппаратов. М., 1983. 351 с.

8-21. **Идельчик И. Е.** Аэродинамика промышленных аппаратов. М., 1964. 286 с.

8-22. **Идельчик И. Е.** Выравнивающее действие сопротивления, помещенного за диффузором // Труды БНТ МАП. 1948. № 662. С. 25—52.

8-23. **Идельчик И. Е.** Гидравлическое сопротивление при входе потока в каналы и протекании через отверстия // Промышленная аэродинамика. 1944. № 2. С. 27—57.

8-24. **Идельчик И. Е.** Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

8-25. **Идельчик И. Е.** К расчету гидравлического сопротивления контактных и фильтрующих

- ших аппаратов цилиндрической формы // Химическая промышленность. 1964. № 11. С. 60—62.
- 8-26. **Идельчик И. Е.** Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия // Гидротехническое строительство. 1953. № 5. С. 31—36.
- 8-27. **Идельчик И. Е.** Расчет гидравлического сопротивления сухих решетчатых тарелок и перегородок // Химическая промышленность. 1960. № 3. С. 247—251.
- 8-28. **Идельчик И. Е.** Способы равномерного распределения газового потока в промышленных аппаратах // Химическая промышленность. 1955. № 6. С. 31—37.
- 8-29. **Идельчик И. Е.** Принудительная раздача потока в газоочистных, теплообменных и других аппаратах. М., 1957. С. 151—207. (Труды НИИОГаза. № 1).
- 8-30. **Идельчик И. Е.** Учет влияния вязкости на гидравлическое сопротивление диафрагм и решеток // Теплоэнергетика. 1960. № 9. С. 75—80.
- 8-31. **Ильин Ю. В.** Течение газа через пористые металлические стенки // Изв. вузов. Авиационная техника. 1959. № 1. С. 65—73.
- 8-32. **Ишкин Н. П., Каганер М. Г.** Гидравлическое сопротивление пористых сред // Кислород. 1952. № 3. С. 25—36.
- 8-33. **К вопросу о гидравлическом сопротивлении сеток** / Г. И. Дербунович, А. С. Земская, Е. У. Репик, Ю. П. Соседко // Ученые записки ЦАГИ. 1980. Т. II. № 2. С. 133—136.
- 8-34. **Конобеев Б. И., Малюсов В. А., Жаворошков Н. М.** Гидравлическое сопротивление и толщина пленки при обратном течении жидкости под действием газа в вертикальных трубах // Химическая промышленность. 1957. № 3. С. 21—26.
- 8-35. **Коллеров Д. К.** Гидродинамика поровых сред // Химическая промышленность. 1959. № 2. С. 18—23.
- 8-36. **Конструкционные материалы и изделия на основе углерода:** Каталог-справочник. М., 1980. 63 с.
- 8-37. **Краснов Н. С.** О коэффициенте сопротивления сеток с квадратными ячейками в области малых чисел Рейнольдса. М., 1971. С. 64—66 (Труды Коломенского фил. ВЗПИ. Вып. 5).
- 8-38. **Кузьмин Ю. М.** Формула для определения потерь напора в металлических сетках // Водоснабжения и сан. техника. 1966. № 2. С. 27—29.
- 8-39. **Курбанов А. З., Крейнин Е. В., Бергуз А. Л.** Исследование гидродинамики и теплообмена единичных сеток // Инж.-физ. ж-л. 1981. Т. 40. № 5. С. 916—918.
- 8-40. **Лейбензон Л. С.** Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М., 1947. 150 с.
- 8-41. **Минский Е. М.** О турбулентной фильтрации в пористых средах // ДАН СССР. 1951. Т. 78. № 3. С. 85—93.
- 8-42. **Мити Д. М., Шуберт С. А.** Гидравлика зернистых материалов. М., 1955. 112 с.
- 8-43. **Михеев М. А., Михеева И. М.** Основы теплопередачи. М., 1977. 344 с.
- 8-44. **О гидравлическом сопротивлении решетчатых и дырчатых тарелок** / В. В. Дильман, Е. П. Даровских, М. Э. Азров, Л. С. Аксельрод // Химическая промышленность. 1956. № 3. С. 156—161.
- 8-45. **Петрянов И. В.** и др. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М., 1968. 78 с.
- 8-46. **Рекк Е. В.** Сравнительная оценка тканей, применяющихся для очистки воздуха от пыли в вентиляционных фильтрах // Отопление и вентиляция. 1934. № 4. С. 10—15.
- 8-47. **Усюкая И. П., Аксельрод Л. С.** Основы гидравлического расчета сетчатых ректификационных колонн // Кислород. 1949. № 1. С. 60—65.
- 8-48. **Участкин П. В.** Исследование эффективности и гидродинамического сопротивления элиминаторов // Отопление и вентиляция. 1940. № 6. С. 21—30.
- 8-49. **Хайжовков В. И.** Сопротивление сеток // Промышленная аэродинамика. М., 1944. № 2. С. 101—114.
- 8-50. **Хованский О. М.** О коэффициенте потерь гидродинамического напора в перфорированных решетках и сетках квадратного плетения // Изв. вузов. Машиностроение. 1963. № 2. С. 101—106.
- 8-51. **Царлин А. М., Вороши Б. Д., Ходов Г. Я.** Гидравлическое сопротивление труб с насадкой неправильной формы при прохождении газа с высокой температурой // Инж.-физ. ж-л. 1964. Т. 7. № 8. С. 103—107.
- 8-52. **Чертков Б. А.** Гидродинамический режим на тарелках проволочного типа при малой плотности орошения // Процессы хим. техн. М.-Л., 1965. С. 36—43.
- 8-53. **Чукан В. В., Кузнецов Р. Ф.** Гидравлическое сопротивление плотного слоя кусковых материалов // Химия и технология топлива и масел. 1967. № 8. С. 10—12.
- 8-54. **Шевякова С. А., Орлов В. К.** Исследование гидравлического сопротивления и теплопередачи в теплообменниках из перфорированных пластин // Инж.-физ. ж-л. 1983. Т. 45. № 1. С. 32—36.
- 8-55. **Шемурин В. А.** О зависимости между коэффициентом фильтрации и удельным сопротивлением песчано-глиняных пород // Гидротехническое строительство. 1962. № 9. С. 35—40.
- 8-56. **Шепелев И. А.** Основы расчета воздушных завес, приточных струй и пористых фильтров. М., 1950. 139 с.
- 8-57. **Шиманский Ю. Н.** О коэффициенте сопротивления слоя твердых частиц // Химическая промышленность. 1966. № 6. С. 476—477.

- 8-58. Экспериментальное определение гидравлических характеристик пористых материалов при больших давлениях//И. Е. Идельчик, И. Б. Воронин, И. В. Гордеев, Ю. П. Матвеев//Теплоэнергетика. 1973. № 1. С. 81—83.
- 8-59. **Benton E. R., Knapton D. A.** Supersonic drag of porous wire screens, «ARS, Journal», 1962. V. 32. N 10. P. 1608—1610.
- 8-60. **Bernt J., Heidenreich E., Tittel R.** Zur Bestimmung des Druckverlustes bei Filtermitteln, Chem. Techn., 1974, Bd. 26, Heft 11. S. 692—693.
- 8-61. **Böhlen B., Rürki H. U., Guyer A.** Über den Druckverlust Strömender Gase in Schüttichten bei erhöhtem Druck.//Helv. chim acta, 1965. Bd. 48. N 1. S. 1270—1278.
- 8-62. **Bruniak R., Sockel H.** Widerstandsmessungen an Rohren und Gerüstteilen. Österr. Ingr. Z., 1961. Bd. V4., N 9. S. 320—325.
- 8-63. **Cornell W. G.** Losses in flow normal to plane screens, Trans. of ASME, 1958. N 4. P. 45—53.
- 8-64. **Ergun S.** Fluid flow through packed columns, Chemical Engng. Progress. 1952. V. 48. N 2. P. 89—94.
- 8-65. **Flachsbart O.** Widerstand von Seidengazefiltern Rundrucht und Blechstreifensieben mit quadratischen Märgen, Ergebniss der aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, IV Lieferung. 1932. S. 30—40.
- 8-66. **Flow through porous media—the Ergun equation revised** //I. F. Macdonald, El-Sayed M. S., Mow K., Dullien A. L.//Ind. Eng. Chem. Fundam., 1979. V. 18. N 3. P. 199—208.
- 8-67. **Huesmann K.** Druckverlust und Durchflussockoeffizienten von parallel engeströmten perforierten Platten//Gesundh-Ingr. 1966. Bd. 87. N 6. P. 158—160.
- 8-68. **Ingmanson W. L.** Resistance of Wire Screen to Flow of Water.//Tappi, 1961, V. 44. N 1. P. 47—54.
- 8-69. **Kirschmer O.** Untersuchungen über den Gefallsverlust an Rechen//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule, München, 1926, Heft 1. S. 91—100.
- 8-70. **Klinger J.** Zur Bestimmung des Widerstandswerters von Drahtsiebgeweben//Wissenschaftliche Z. der Techn. Un. Dresden. 1966, Bd. 15, H. 1, S. 93—99.
- 8-71. **Mathur M. L., Kachhara N. L.** Pressure losses in flow through screens//Indian Engr., 1968, V. 12. N 10. P. 19—27.
- 8-72. **Milton P., Francis J. R. D.** The aerodynamic drag of perforated plates at zero incidence//J. Roy. Aeronaut. Soc. 1958. V. 62. N 568. P. 301—303.
- 8-73. **Monahan R. E.** The resistance to flow of perforated plates and wire screens.//Pulp and Paper Mag. Canada, 1965. V. 66. N 1. P. T33—T38.
- 8-74. **Morgan P. G.** Fluid flow through screens of flow solidity//J. Roy. Aeronaut. Soc., 1962. V. 66. No 613. P. 54—56.
- 8-75. **Osborn J. F.** Rectangular-bar trashrack and baffle headlosses//J. Power Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., 1968. V. 94. N 2. P. 111—123.
- 8-76. **Pinker R. A., Herbert M. V.** Pressure loss associated with compressible flow through square-mesh wire gauzes//J. Mech. Engng. Sci., 1967. V. 9. N 1. P. 11—23.
- 8-77. **Rummer R. R., Drinker P. A.** Resistance to laminar flow through porous media//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1966. V. 92. N 5. P. 155—163.
- 8-78. **Sakra T., Kuchler M., Lécjaks L.** Tiakové stráty při průtoku tekutin sity//Sb. vedeck. prací Vysoké školy chem.—technol. Pardubice. 1967. sv. 2. S. 189—203.
- 8-79. **Sháran V. R.** Characteristics of flow through two-dimensional screen and perforated plates//J. of Sci. Ind. Res., 1975. V. 34. N 2. P. 82—92.
- 8-80. **Smith P. L., Van Winkle M.** Discharge coefficients through perforated plates at Reynolds numbers of 400 to 3000//A. I. Ch. E. Journal. 1958. V. 4. N 5. P. 266—268.
- 8-81. **Socket H.** Abströmung hinter Schaufelgittern//Brennstoff—Wärme-Kraft. 1967. V. 19. N 8. P. 393—395.
- 8-82. **Spandler I.** Untersuchungen über den Verlust an Rechen beischräger Zuströmung//Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule, München, 1928. Heft 2. S. 63—70.
- 8-83. **Stengel H., Fischer H. Y.** Ergebnisse von strömungstechnischen Untersuchungen an Netztüchern im Windkanal//Schiffbautechnik, 1964. Bd. 14. N 7. S. 374—381.
- 8-84. **Wen C. Y., O'Brien W. S., Fan L.** Pressure drop through packed beds operated cocurrently//J. Chem. and Engng Data, 1963. V. 8. N 1. P. 47—51.
- 8-85. **Zabeltitz Ch.** Gleichungen für Widerstandsbeiwerte zur Berechnung der Strömungswiderstände von Kugeln und Schüttichten//Grundlag. Landtechn. 1967. Bd. 17. N 4. S. 148—154.

## ДЕВЯТЫЙ РАЗДЕЛ

- 9-1. **Абелев С. А.** Гидравлика затворов и клапанов//Гидравл. исследования. М., 1962. С. 30—40.
- 9-2. **Абрамович Г. Н.** Теория турбулентных струй. М., 1960. 715 с.
- 9-3. **Альтшуль А. Д., Калицин В. И.** О потерях напора в конфузорно-диффузорных узлах с задвижкой//Газовая промышленность. 1960. № 2. С. 35—39.
- 9-4. **Альтшуль А. Д., Арзуманов Э. С.** Потери давления в регулирующих клапанах при течении вязких жидкостей//Нефтяное хозяйство. 1967. № 7. С. 51—56.



- 9-5. Арзуманов Э. С. Расчет и выбор регулирующих органов автоматических систем. М., 1971. 112 с.
- 9-6. Арзуманов Э. С., Везирян Р. Е. Потери давления в заслоночных регулирующих органах при течении вязких жидкостей в трубопроводах // Нефтяное хозяйство. 1971. № 9. С. 66—68.
- 9-7. Аронович В. В., Слободкин М. С. Арматура регулирующая и запорная. М., 1953. 284 с.
- 9-8. Баланин В. В. Гидравлические характеристики дисковых затворов с обтекателями // Труды Ленинградского ин-та водного тр-та. 1967. Вып. 112. С. 4—17.
- 9-9. Баулин К. К. Испытание лабиринтных уплотнений // Труды ВИГМ. 1940. Вып. 10. С. 50—65.
- 9-10. Губарев П. С. Местные сопротивления арматуры трубопроводов воздуха высокого давления // Судостроение. 1957. № 3. С. 41—44.
- 9-11. Гуревич Д. Ф. Основы расчета трубопроводной арматуры. Л., 1956. 230 с.
- 9-12. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления при входе потока в каналы и протекании через отверстия // Промышленная аэродинамика. М., 1944. № 2. С. 27—56.
- 9-13. Идельчик И. Е. К расчету сопротивления лабиринтных уплотнений // Котлотурбостроение. 1953. № 3. С. 40—45.
- 9-14. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.
- 9-15. Кокая Н. В. Гидравлика конусных затворов и камеры гашения гидравлической энергии // Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л. 1985. С. 186—188.
- 9-16. Корягин В. С., Гинзбург Я. Л., Штейнберг М. О. Коэффициенты гидравлического сопротивления тарельчатых клапанов, работающих в стесненных условиях // Теплоэнергетика. 1981. № 3. С. 73—74.
- 9-17. Кремис С. А. К определению гидравлических сопротивлений в обратных клапанах // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1963. № 1. С. 65—70.
- 9-18. Кузнецов Л. А., Рудомино Б. В. Конструирование и расчет трубопроводов тепловых установок. М., 1949. 215 с.
- 9-19. Левкоева Н. В. К вопросу об определении потерь напора в местных сопротивлениях // Исследования в области теоретической и прикладной аэродинамики / Труды МАИ. 1959. Вып. 111. С. 155—160.
- 9-20. Левкоева Н. В. Зависимость коэффициентов местных сопротивлений трубопроводной арматуры от числа Рейнольдса / Труды МАИ. 1961. Вып. 143. С. 131—139.
- 9-21. Лыжин О. В. Дроссельные устройства в потоке сжимаемого газа // Инженерный журнал. 1965. № 4. С. 641—649.
- 9-22. Мурун Г. А. Гидравлическое сопротивление прямооточных вентилей // Отопление и вентиляция. 1941. № 5. С. 25—30.
- 9-23. Павлухин А. В. О расчете аэродинамических сопротивлений комбинаций створчатых клапанов с другими местными сопротивлениями // Труды ин-тов охраны труда ВЦСПС. 1967. Вып. 48. С. 130—145.
- 9-24. Полубояринов Ю. Г., Яковлев Н. А. Коэффициенты местных сопротивлений непрямоточных конусных вентилей при ламинарном режиме движения жидкости // Труды ЛПИ. 1966. № 274. С. 120—128.
- 9-25. Ролле Н. Л. Коэффициенты сопротивления и расхода кольцевого затвора // Гидротехническое строительство. 1953. № 4. С. 18—23.
- 9-26. Скобельцын Ю. А., Хомутов П. В. Взаимное влияние различных по конфигурации прохода запорных устройств при низких числах Рейнольдса // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1972. № 7. С. 62—65.
- 9-27. Современные конструкции трубопроводной арматуры: Справочное пособие / Под ред. Ю. М. Котелевского, М., 1970. 250 с.
- 9-28. Сотников А. Г., Саидова Д. З. Исследование отдельных узлов системы кондиционирования воздуха // Санитарная техника. Доклады ко 2-й научной конференции молодых ученых-строителей / Труды ЛИСИ. 1967. С. 115—120.
- 9-29. Тетеревников В. Н. Гидравлические характеристики створчатых клапанов // Труды ЛИОТ. 1955. С. 53—54.
- 9-30. Френкель Н. З. Гидравлика. М., 1956. 456 с.
- 9-31. Чебышева К. В. К вопросу о расчете лабиринтного уплотнения // Технические заметки / ЦАГИ. 1937. № 142. 25 с.
- 9-32. Чуракова С. В., Юркина М. П. О величине коэффициента гидравлического сопротивления линзовых компенсаторов // Энергомашиностроение. 1962. № 8. С. 21—24.
- 9-33. Эльтерман Е. М. Коэффициенты местных сопротивлений конусных диафрагм // Труды ин-тов охраны труда ВЦСПС. 1963. С. 45—50.
- 9-34. Эрлих А. М. Паропроводы, их арматура и прочие детали. М., 1937. 256 с.
- 9-35. Яньшин Б. И. Гидродинамические характеристики затворов и элементов трубопроводов. М., 1965. 260 с.
- 9-36. Яньшин Б. И. Затворы и переходы трубопроводов. М., 1962. 179 с.
- 9-37. Bach C. Versuche über Ventilbelassung und Ventilweiderstand. 1884. 310 s.
- 9-38. Baumann H. D. Die Einführung eines kritischen Koeffizienten für die Bestimmung des



Durchflusses von Stellventilen// Regelungstechnik. 1963. Heft 11. S. 495—499.

9-39. **Hearly J. H., Patterson M. N., Brown E. I.** Pressure losses through fittings used in return air duct systems//ASHRAE. Journal. 1962. V. 4. N 5. P. 70—76.

9-40. **Hörnig G.** Druckverluste in Schnellkupplungsrohren, formstücken und armaturenbeim Fliesen von Klärschlamm//Wasserwirtschaft-Wassertechn. 1969. Bd. 1. N 11. S. 374—377.

9-41. **Kearnton W. J.** The flow air through radial labyrinth glands//Proc. Instn. Mech. Engrs. 1955. V. 169. N 30. P. 539—552.

9-42. **Komotori K.** Probleme bei Labirintstopflüssen//Proc. Fujihara Mem. Fac. Engng Keio Univ. 1961. V. 14. N 54. P. 73—120.

9-43. **Komotori K.** Flow observations in the labyrinth packing//Proc. Fujihara Mem. Fac. Engng. Keio Univ. 1956. V. 9. N 33. P. 33—41.

9-44. **Maione U.** Perdite di carico delle strozzature a spidolo vivo dei pozzipiezometrici. Ricerca sperim//Energia electr 1968. V. 45. N 4. P. 237—253.

9-45. **Reichert V.** Theoretisch—experimentelle Untersuchung en zur Widerstandscharakteristik von Hydraulikventilen//Wissenschaftliche Zeit der Technischen Univer. Dresden. 1982. Bd. 31. Heft 2. S. 149—155.

9-46. **Skalička J.** Hydraulické stráty skriticich orgánech na potrubí a jejich závislost na reynoldsove cisle//Sb. Vysokého učeni techn. Brně 1965. N 1. S. 57—63.

9-47. **Weisbach J.** Lehrbuch der technischen Mechanik. Berlin. 1875. 320 s.

## ДЕСЯТЫЙ РАЗДЕЛ

10-1. **Адамов Г. А.** Общая формула сопротивления при относительном движении частиц и среды//Известия АН СССР. Металлургия и топливо. 1961. № 6. С. 168—178.

10-2. **Аэродинамическое сопротивление горных выработок/Ф. А. Абрамов, В. А. Долинский, И. Е. Идельчик, И. О. Керстен, В. Я. Цоликов. М., 1964. 186 с.**

10-3. **Аэродинамическое сопротивление шахтных стволов и способы его снижения/А. А. Сочинский, А. И. Ксенофонтова, А. А. Харев, И. Е. Идельчик. М., 1953. 363 с.**

10-4. **Бударин В. А.** Исследование силового взаимодействия потока жидкости с плохообтекаемым телом в трубе круглого сечения: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1982. 166 с.

10-5. **Быстров П. И., Михайлов В. С.** Гидродинамика коллекторных теплообменных аппаратов. М., 1982. 223 с.

10-6. **Вахрушев И. А.** Общее уравнение для коэффициента лобового сопротивления частиц различной изометрической формы при относительном движении в безграничной среде//Химическая промышленность. 1965. № 8. С. 54—57.

10-7. **Горлин С. М.** Влияние начальной турбулентности на обтекание гладких и шероховатых цилиндров//Научн. докл. конф. Ин-та механики МГУ. М., 1970. С. 11—22.

10-8. **Горлин С. М., Штеренлихт Д. В., Романенко Г. А.** Аэродинамические характеристики шероховатых цилиндров//Гидродинамика/Труды Харьковского университета. Харьков, 1966. Вып. 4. С. 20—27.

10-9. **Горлин С. М., Худяков Г. Е.** Влияние начальной турбулентности потока на аэродинамическое сопротивление плохообтекаемых тел с острыми кромками//Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1969. № 2. С. 120—128.

10-10. **Горлин С. М.** Экспериментальная аэромеханика. М., 1970. 423 с.

10-11. **Грабовский А. М., Бударин В. А.** К расчету коэффициентов лобового и местного сопротивлений плохообтекаемых тел//Изв. вузов. Энергетика. Минск, 1980. № 12. С. 60—64.

10-12. **Девнин С. И.** Аэрогидродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций. Л., 1967. 223 с.

10-13. **Дущевский Г. М.** Исследование обтекания цилиндра в трубе круглого сечения//Гидравлика и гидротехника (Межвед. республ. научно-техн. сборник. Киев, 1966. № 4. С. 110—117.

10-14. **Идельчик И. Е.** Потери на удар в потоке с неравномерным распределением скоростей//Труды БНТ МАП. М., 1948. Вып. 662. С. 1—24.

10-15. **Идельчик И. Е.** Гидравлическое сопротивление (физико-механические основы). М.—Л., 1954. 316 с.

10-16. **Кертиков В., Димитров Х., Барска С.** Исследование аэродинамического сопротивления вертикальных горных выработок//Рудодоб. металлургия. 1967. № 11. С. 16—20.

10-17. **Клеймен, Говин.** Влияние турбулентности на коэффициент сопротивления сферических частиц при сверхкритическом режиме течения//Процессы и аппараты хим. пр-ва. 1969. № 34. С. 15—19.

10-18. **Клячко Л. С.** Уравнение движения пылевых частиц в пылеприемных устройствах//Отопление и вентиляция. 1934. № 4. С. 27—32.

10-19. **Корепанов К. В.** Вентиляционное сопротивление движущихся в горных выработках вагонеток и поездов//Разработка месторожд. полезн. ископаемых. Киев, 1965. Вып. 4. С. 18—27.

10-20. **Крапивица А. М.** Гидравлическое сопротивление однорядного продольного трубного пучка, обтекаемого плоскопараллельным потоком газа//Теплоэнергетика. 1972. № 6. С. 30—34.

10-21. **Кузнецов Б. Я.** Аэродинамические исследования цилиндров//Труды ЦАГИ. М., 1931. Вып. 98. 50 с.

- 10-22. Кузнецов Б. Я. Лобовое сопротивление тросов, проволок, тендеров и авиационных лент // Труды ЦАГИ. М., 1931. Вып. 97. 45 с.
- 10-23. Лемб Г. Гидродинамика. М., 1947. 690 с.
- 10-24. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М., 1973. 904 с.
- 10-25. Ляхтер В. М., Прудовский А. М. Гидравлическое моделирование. М., 1984. 392 с.
- 10-26. Малевич Ю. А., Легкий В. М. Аэродинамическое сопротивление одиночных ребренных труб в поперечном потоке воздуха // Изв. вузов. Энергетика. 1966. № 7. С. 116—120.
- 10-27. Масеев М. М., Бать А. А., Хохлова Л. Н. Аэродинамическое сопротивление группы цилиндров // Науч. тр. Ин-та механики МГУ. 1970. № 4. С. 23—32.
- 10-28. Мыгай В. К., Носова И. С. Об уменьшении сопротивления плохообтекаемых тел // Теплоэнергетика. 1980. № 8. С. 60—63.
- 10-29. Певз Г. Д., Держипсевиц И. Б. Исследование лобового сопротивления расстрелов нового вида шахтных стволов // Разработка рудн. месторождений/Респ. межвед. сб. науч. тр. Киев., 1969. Вып. 2 (27). С. 60—68.
- 10-30. Ретгер Э. И. Аэродинамика бесформенных промышленных зданий // Микроклимат зданий и задачи теплофизики. М., 1963. С. 6—25.
- 10-31. Саркисян Т., Гаррисон Ц. Образование вихря и сопротивление в неустановившемся потоке // Прикладная механика. М., 1963. Т. 30. С.Е. № 1. С. 75—85 (рус. пер.).
- 10-32. Снижение сопротивления плохообтекаемых тел с помощью продольных выемок/Б. Квасс, Ф. Ховард, Л. Вейнштейн, Д. Бушнелл // Ракетная техника и космонавтика. 1981. Т. 19. № 6. С. 124—126.
- 10-33. Устинов А. М., Калчев С. Т. Определение коэффициентов аэродинамического сопротивления выработок с новыми видами крепи // Труды Карагандинск. науч.-иссл. угольн. ин-та. 1964. Вып. 16. С. 140—145.
- 10-34. Фабрикант Н. Я. Аэродинамика. М., 1964. 530 с.
- 10-35. Федяевский К. К., Блюмина Л. X. Гидроаэродинамика отрывного обтекания тел. М., 1977. 120 с.
- 10-36. Хайжонков В. И. Аэродинамическое сопротивление трубчатых ферм // Технические отчеты. БНИ МАП. М., 1955. № 131. 13 с.
- 10-37. Хенвен А. Р., Ляхов Д. М. О коэффициентах гидравлического сопротивления сферы и слоя сферических элементов // Теплофизика высоких температур. 1982. Т. 20. № 6. С. 1119—1123.
- 10-38. Худяков Г. Е. Влияние удлинения на аэродинамические характеристики призматических тел квадратного сечения // Труды Ин-та механики МГУ. 1970. Т. 4. № 14. С. 28—32.
- 10-39. Чжен П. Отрывные течения. М., 1972. Т. 1. 300 с.; Т. 2. 280 с.
- 10-40. Чернов А. П. Обтекание неподвижного цилиндра запыленным потоком // Труды Ин-та энерг. АН Каз. ССР. 1961. № 3. С. 63—69.
- 10-41. Шаловал Г. Т. Исследование коэффициентов сопротивления грузонесущих цилиндров, движущихся в трубах // Известия вузов. Горный журнал. 1964. № 3. С. 129—135.
- 10-42. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., 1974. 711 с.
- 10-43. Штеренлихт Д. В. Лобовое сопротивление цилиндров с продольными ребрами // Труды Всес. науч.-иссл. ин-та гидротехн. 1962. Вып. 4. С. 230—235.
- 10-44. Юрьев Б. Н., Лесникова М. П. Аэродинамические исследования // Труды ЦАГИ. М., 1928. Вып. 33. 230 с.
- 10-45. Юрьев Б. Н. Экспериментальная аэродинамика. М., 1932. 315 с.
- 10-46. Brenner H., Cox R. G. The resistance to a particle of arbitrary shape in translational motion at small Reynolds numbers // J. Fluid Mech. 1963. V. 17. N 4. P. 561—595.
- 10-47. Chasteau V. A., Gillard D. The prediction of the resistance to air flow of mine shafts equipped with internal structures // J. Mine Ventilat. Soc., S. Africa. 1965. V. 18. N 10. P. 133—146.
- 10-48. Ergebnisse der aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, Lieferung III, 1927. 280 s.
- 10-49. Fargie D., Martin B. W. Developing laminar flow in a pipe of circular cross-section // Proc. Roy. Soc. Lond., 1971. A. 321. P. 461—476.
- 10-50. Fage A., Warsap J. The effects of turbulence and surface roughness on the drag of circular cylinders // ARCRM. 1963. N 93. P. 1283.
- 10-51. Goin K. L., Lawrence W. B. Subsonic drag of spheres at Reynolds number from 200 to 10 000 // AIAA Journal. 1968. V. 6. N 5. P. 961—962.
- 10-52. Hori Ei-ichi. Experiments on flow around a pair of parallel circular cylinders // Proc. 9th Japan Nat. Congr. Appl. Mech. Tokyo. 1960. P. 231—234.
- 10-53. Young D. F. Drag and Lift on spheres within cylindrical tubes // J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1960. V. 86. N 6. Part 1. P. 47—57.
- 10-54. Kafkova D., Smutek R. L'influence du mouvement oscillatoire d'un fluide sur le mouvement d'une particule spherique // Acta techn.-CSAV. 1969. V. 14. N 5. P. 610—629.
- 10-55. Koch L. Solids in pipes // Internat. Sci. and Technol. 1964. N 26. P. 68—72.
- 10-56. Livesey J. L., Turner I. T. The influence of velocity profile characteristics on the drag

of short circular struts spanning two-dimensional channels//J. of the Royal Aeronaut. Soci. 1967. V. 71. N 680. P. 569—573.

10-57. Morel T., Bohn M. Flow over two circular disks in tandem//J. of Fluids Engin. Trans. of the ASME. 1980. V. 102. N 1. P. 104—111.

10-58. Richter A., Naudascher E. Fluctuating forces on a rigid circular cylinder in confined flow//Journ. of Fluid Mechan. 1976. V. 78. N 3. P. 561—576.

10-59. Robertson J., Rutherford G. S. Turbulence effect on drag of angular blunt bodies//J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Eng. 1969. V. 95. N 2. P. 781—785.

10-60. Rumpf H. Über das Ansetzen fein verteilter Stoffe an den wänden von Stromungs Kanälen//Chem. Ingr. Techn. 1953. Bd. 25. N 6. S. 317—327.

10-61. Smythe W. R. Flow around a sphere in a circular tube//Phys. Fluids. 1961. V. 4. N 6. P. 756—759.

10-62. Stordeur A. N. Drag coefficients for fuel—element spacers//Nucleonics. 1961. V. 19. N 6. P. 74—76.

10-63. Tanaka Z., Jinoya K. New approximate equation of drag coefficient for spherical particles//J. Chem. Engng. Japan. 1970. V. 3. N 2. P. 261—262.

10-64. Torobin L. B., Gauvin W. H. The drag coefficients of single spheres moving in steady and accelerated motion in a turbulent fluid//A.I.Ch.E. Journal. 1961. V. 7. N 4. P. 615—619.

10-65. Wentz Ch. A., Thodos G. Total and form drag friction factors for the turbulent flow of air through packed and distended beds of spheres//A.I.Ch.E. Journal. 1963. V. 9. N 3. P. 358—361.

## ОДИННАДЦАТЫЙ РАЗДЕЛ

11-1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М., 1960. 715 с.

11-2. Аверьянов А. Г. Вентиляция цехов судостроительных заводов. М., 1969. 268 с.

11-3. Батурин В. В., Шепелев И. А. Аэродинамические характеристики приточных насадков//Современные вопросы вентиляции. М., 1941. С. 23—35.

11-4. Брусилловский И. В. Определение оптимальных параметров диффузоров осевых вентиляторов и их энергетических характеристик по экспериментальным данным//Пром. аэродинамика. М., 1987. Вып. 2 (34). С. 118—133.

11-5. Бушель А. Р. Снижение внутренних потерь в шахтной установке с осевым вентилятором//Труды МАП. М., 1948. № 673. 50 с.

11-6. Бычкова Л. А. Рекомендации по расчету гидравлических сопротивлений сложных элементов систем вентиляции. М., 1981. 32 с.

11-7. Гинзбург Я. Л., Идельчик И. Е. Экспериментальное определение коэффициентов во-

сстановления давления в конических диффузорах при больших дозвуковых скоростях и различных условиях на входе//Ученые записки ЦАГИ. М., 1973. Т. 4. № 3. С. 23—31.

11-8. Горелов Г. М., Фрейдин А. С. Некоторые результаты экспериментального исследования диффузора с подпором потока на выходе//Труды Куйбышевского авиац. ин-та. 1963. Вып. 15. Ч. 2. С. 35—42.

11-9. Гримятлин М. И. Раздача воздуха через перфорированные воздухопроводы//Труды ЛИОТ. Л., 1960. 190 с.

11-10. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. М., 1970. 384 с.

11-11. Довжик С. А., Гиневский А. С. Экспериментальные исследования напорных патрубков стационарных осевых турбомашин//Технические отчеты. БНИ МАП. М., 1955. № 130. 13 с.

11-12. Довжик С. А., Морозов В. И. Экспериментальное исследование кольцевых диффузоров осевых турбомашин//Пром. аэродинамика. М., 1961. Вып. 20. С. 168—201.

11-13. Идельчик И. Е. Аэродинамика потока и потери напора в диффузорах//Пром. аэродинамика. БНТ МАП. М., 1947. № 3. С. 132—209.

11-14. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления при входе потока в каналы и протекании через отверстия//Пром. аэродинамика. БНТ НКАП. М., 1944. № 2. С. 27—57.

11-15. Идельчик И. Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). М., 1954. 316 с.

11-16. Идельчик И. Е. Определение коэффициентов сопротивления при истечении через отверстия//Гидротехническое строительство. 1953. № 5. С. 31—36.

11-17. Идельчик И. Е. Потери на удар в потоке с неравномерным распределением скоростей//Труды МАП. М., 1948. Вып. 662. С. 1—24.

11-18. Идельчик И. Е. Учет влияния вязкости на гидравлическое сопротивление диафрагм и решеток//Теплоэнергетика. 1960. № 9. С. 75—80.

11-19. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. Об исследовании влияния числа Рейнольдса и условий входа на закономерности движения потока в диффузорах//Пробл. вентиляции и кондицион. воздуха. Минск, 1969. С. 224—231.

11-20. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. О механизме влияния входа на сопротивление диффузоров//Инж.-физ. ж-л. 1969. Т. 16. № 3. С. 413—416.

11-21. Идельчик И. Е., Гинзбург Я. Л. Основные результаты новых экспериментальных исследований конических диффузоров//Механическая очистка промышленных газов/НИИ-Огаз. М., 1974. С. 178—210.

11-22. Идельчик И. Е., Глязбург Я. Л. Простые способы уменьшения сопротивления коротких диффузоров с большими углами расширения//Водоснабжение и сан. техника. 1971. № 10. С. 27—30.

11-23. Клячко Л. С., Пустошная В. Ф., Чемоданова О. В. Статический (улиточный) центробежный воздухораспределитель. ВНИИГС //Вопросы проектирования и монтажа санитарно-технических систем. М., 1970. С. 16—25 (Труды ВНИИГС. Вып. 28).

11-24. Локшин И. Л., Газирбекова А. Х. Работа диффузоров, установленных за центробежными вентиляторами//Промышленная аэродинамика/БНИ МАП. М., 1955. № 6. С. 127—152.

11-25. Носова М. М. Сопротивление входных и выходных раструбов с экраном//Промышленная аэродинамика/БНИ МАП. М., 1956. № 7. С. 95—100.

11-26. Носова М. М., Тарасов Н. Ф. Сопротивление приточно-вытяжных шахт//Промышленная аэродинамика. 1959. № 12. С. 197—215.

11-27. Носова М. М., Барнакова Т. С. Сопротивление входных и выходных отверстий в присутствии проходящего потока//Промышленная аэродинамика. 1959. № 15. С. 20—38.

11-28. Промышленная аэродинамика/БНИ МАП. М., 1956. № 6. 181 с.

11-29. Федоткин П. М. О потерях напора при выходе двухфазного потока из труб//Изв. вузов. Энергетика. 1966. № 8. С. 69—77.

11-30. Ханжонков В. И. Аэродинамические характеристики квадратного вентиляционного дефлектора ЦАГИ и его модификаций//Промышленная аэродинамика. М., 1986. Вып. I (33). С. 88—106.

11-31. Ханжонков В. И. Сопротивление истечению через отверстия в стенке в присутствии проходящего потока//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 15. С. 5—19.

11-32. Ханжонков В. И. Сопротивление приточных и вытяжных шахт//Промышленная аэродинамика/БНТ МАП. М., 1947. № 3. С. 214—219.

11-33. Ханжонков В. И. Сопротивление сектор //Промышленная аэродинамика/БНТ НК-АП. М., 1944. № 2. С. 101—115.

11-34. Ханжонков В. И. Улучшение эффективности диффузоров с большими углами раскрытия при помощи плоских экранов//Промышленная аэродинамика/БНТ МАП. М., 1947. № 3. С. 210—214.

11-35. Ханжонков В. И. Уменьшение аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 12. С. 181—198.

11-36. Ханжонков В. И., Давыденко Н. И. Сопротивление боковых отверстий концевой участка трубопровода//Промышленная аэродинамика. М., 1959. № 15. С. 38—46.

11-37. Ханжонков В. И., Талиев В. Н. Уменьшение сопротивления квадратных отводов направляющими лопатками//Технические отчеты/БНИ МАП. М., 1947. № 10. 16 с.

11-38. Юдин Е. Я. Колена с тонкими направляющими лопатками//Промышленная аэродинамика/БНИ МАП. М., 1956. № 7. С. 55—80.

11-39. Bevier C. W. Resistance of wooden louvers to fluid flow//Heating, piping and air conditioning. 1955. May. P. 25—33.

11-40. Cobb P. R. Pressure loss of air flowing through 45-degree wooden louvers//Heating, piping and air conditioning. 1953. December. P. 41—45.

11-41. Hofmann A. Die Energieumsetzung in saugrohrähnlicherweiterter Düsen//Mitteilungen. 1931. Heft 4. S. 90—95.

## ДВЕНАДЦАТЫЙ РАЗДЕЛ

12-1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М., 1960. 715 с.

12-2. Александров А. Е., Костиков Д. Е., Лозовецкий В. В. Обобщение зависимости для расчета гидравлических характеристик решетчатых насадочных пучков//Соврем. проблемы гидродинамики и теплообмена в элементах энергетических установок и криогенной техники/ВЗМИ. М., 1982. С. 61—66.

12-3. Альтшуль А. Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. М., 1962. 250 с.

12-4. Антуфьев В. М., Казаченко Л. С. Теплопередача и сопротивление конвективных поверхностей нагрева. М., 1938. 290 с.

12-5. Антуфьев В. М., Белецкий Г. С. Теплопередача и аэродинамическое сопротивление трубчатых поверхностей в поперечном потоке. М., 1948. 310 с.

12-6. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод)/Под ред. С. И. Мочана. М., 1977. 255 с.

12-7. Аэродинамическое сопротивление поперечно-омываемых пучков труб с неравномерными шагами/В. А. Локшин, В. Н. Фомина, Е. А. Ушаков, Б. А. Агресс//Теплоэнергетика. 1976. № 12. С. 30—33.

12-8. Аэродинамическое сопротивление поперечно-омываемых пучков труб новых профилей/В. А. Ушаков, В. Н. Фомина, Е. Я. Титова, В. А. Самарин//Теплоэнергетика. 1980. № 4. С. 53—56.

12-9. Барахтенко Г. М., Идельчик И. Е. Влияние формы закручивающего устройства на гидравлическое сопротивление прямооточного циклона//Промышленная и санитарная очистка газов. М., 1974. № 6. С. 4—7.

12-10. Басманов П. И., Поплавская В. А. Аналитические аэрозольные фильтры АФА: Каталог. М., 1968. 25 с.

12-11. Батарейные циклоны. М., 1956. 104 с.

- 12-12. Брук А. Д. Дымососы газоочистных сооружений. М., 1984. 145 с.
- 12-13. Вальдберг А. Ю., Дубинская Ф. Е., Исянов Л. М. Очистка промышленных газов в скрубберах Вентури/ЦНИИТЭнефтепром. М., 1972. 45 с.
- 12-14. Вопросы проектирования промысловых судов. Ч. 2. Судовые системы/И. З. Гольденберг, О. И. Асланьян, А. С. Дымов, Б. Д. Рохи//Тр. Калининградского технич. ин-та рыбной пром-сти и хоз-ва. 1974. Вып. 55. 20 с.
- 12-15. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов: Каталог/Ю. А. Попов, С. С. Янковский, М. Г. Мазус и др./ЦИНТИхимнефтемаш, М., 1984. 92 с.
- 12-16. Гервасьев А. М. Пылеуловители СИОТ. Свердловск, 1954. 95 с.
- 12-17. Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод)/Под ред. В. А. Локшина, Ф. Ф. Петерсона, А. А. Шварца, М., 1978. 255 с.
- 12-18. Гольденберг И. З. Исследование взаимного влияния поворотов потока в напорных каналах судовых систем: Дис. ... канд. техн. наук. Калининград, 1967. 146 с.
- 12-19. Гольденберг И. З. Учет взаимного влияния отводов при выборе «коротких» напорных каналов//Судостроение. 1964. № 4. С. 24—26.
- 12-20. Грабовский А. М. Исследование взаимного влияния местных сопротивлений//Научные записки Одесского политехнического ин-та. 1955. № 3. С. 75—86.
- 12-21. Джалилидзе М. М., Лисейкин И. Д. Исследование теплоотдачи и аэродинамического сопротивления в поперечно-омываемых мембранных шахматных пучках//Теплоэнергетика. 1982. № 9. С. 63—67.
- 12-22. Дубинская Ф. Е. Расчет коэффициента гидравлического сопротивления труб распылителей//Промышленная и санитарная очистка газов. 1971. № 3 и 4. С. 57—58.
- 12-23. Дубинская Ф. Е. Низконапорные трубы Вентури//Обеспыливающие устройства промышленной вентиляции/МДНТИ им. Держинского. М., 1970. С. 78—81.
- 12-24. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. М., 1982. 472 с.
- 12-25. Залогин Н. Г., Шухер С. М. Очистка дымовых газов. М., 1954. 220 с.
- 12-26. Зюбан В. А. Учет характеристик элементов разветвленных трубопроводов при компоновке судовых систем охлаждения: Дис. ... канд. техн. наук. Севастополь. 1981. 239 с.
- 12-27. Идельчик И. Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. М., 1983. 360 с.
- 12-28. Идельчик И. Е. Аэродинамика промышленных аппаратов. М., 1964. 287 с.
- 12-29. Идельчик И. Е. Гидравлическое сопротивление циклонов, его определение, величина и пути снижения//Механическая очистка промышленных газов/НИИОгаз. М., 1974. С. 135—159.
- 12-30. Идельчик И. Е. К вопросу о гидравлическом сопротивлении циклонов//Инж.-физ. ж-л. 1969. Т. 16. № 5. С. 899—901.
- 12-31. Идельчик И. Е. К расчету и проектированию групповых циклонов//НИПИОТ-СТРОМ. Новороссийск. 1969. Вып. I. С. 44—66.
- 12-32. Идельчик И. Е. О методике экспериментального определения гидравлического сопротивления циклонов//Водоснабжение и санитарная техника. 1969. № 8. С. 21—25.
- 12-33. Идельчик И. Е., Мальгин А. Д. Гидравлическое сопротивление циклонов НИИОгаз//Промышленная энергетика. 1969. № 8. С. 45—48.
- 12-34. Идельчик И. Е., Александров В. П. Выбор компоновок электрофильтров на мощных энергоблоках и их моделирование//Теплоэнергетика. 1971. № I. С. 28—30.
- 12-35. Идельчик И. Е., Александров В. П. О компоновке электрофильтров и их аэродинамическом моделировании//Сборник докладов межобластного семинара по очистке газов. Ярославль, 1972. С. 31—45.
- 12-36. Идельчик И. Е., Александров В. П., Коган Э. И. Исследование прямооточных циклонов системы золоулавливания ГРЭС//Теплоэнергетика. 1968. № 8. С. 45—48.
- 12-37. Идельчик И. Е., Коган Э. И. К исследованию прямооточных циклонов//Проблемы вентиляции и кондиционирования воздуха. Минск, 1969. С. 318—326.
- 12-38. Идельчик И. Е., Штейнберг М. О. Некоторые результаты исследования циклонов ЦН-15, работающих в сети//Химическая промышленность. 1970. № 2. С. 154—155.
- 12-39. Исследование полей осевых скоростей в приточных тройниках/О. И. Асланьян, И. З. Гольденберг, В. А. Зюбан, Н. И. Печенкин//Изв. вузов. Энергетика. 1987. № 11. С. 110—116.
- 12-40. Исследование теплоотдачи и аэродинамического сопротивления в мембранных шахматных пучках с поперечными ребрами/И. Д. Лисейкин, А. М. Конелиович, М. З. Кравец, В. А. Дидура//Теплоэнергетика. 1984. № 2. С. 38—41.
- 12-41. Ишаков Н. Н. Гидравлическое сопротивление трубчатых пучков в области малых чисел Рейнольдса//Труды Ленингр. кораблестроительного ин-та. Л., 1964. № 45. С. 130—139.
- 12-42. Казакевич Ф. П. Влияние угла атаки газового потока на аэродинамическое сопротивление пучков труб//Известия ВТИ. 1952. № 8. С. 55—60.
- 12-43. Казакевич Ф. П. Влияние шероховатости на аэродинамическое сопротивление пучков труб при поперечном омывании их га-

зовым потоком//Теплоэнергетика. 1961. № 1. С. 23—27.

12-44. **Калмыков А. В.** Аэродинамика, тепло- и массообмен в дисперсных потоках. М., 1967. 185 с.

12-45. **Карпухович Д. Т.** Высокоэффективный циклон СЦН-40//Информ. листок о н.-т. достижениях/Ярославский центр н.-т. информации и пропаганды. Ярославль, 1985. 6 с.

12-46. **Кириичев Е. Ф.** Очистка дымовых газов электростанций от золы. М., 1962. 270 с.

12-47. **Клячко Л. С.** Метод теоретического определения пропускной способности аппаратов с вращающимся осесимметричным течением жидкости//Теория и практика обеспыливающей вентиляции/ЛИОТ. Л., 1952. 195 с.

12-48. **Ковалев-Кривонос П. А.** Повышение сроков службы трубопроводов систем охлаждения заборной водой путем модернизации их конструкций при очередных ремонтах: Дис. ... канд. техн. наук. Севастополь, 1982. 142 с.

12-49. **Ковалев-Кривонос П. А., Гольденберг И. З.** Экспериментальное исследование гидравлических потерь при взаимодействии арматуры и отводов в судовых трубопроводах//Гидравлика, гидротранспорт рыбы и его технические средства/Тр. КТИРПиХ. Калининград, 1977. Вып. 69. С. 48—53.

12-50. **Коротаев О. И., Пучков П. И., Федорович Е. Д.** Гидравлическое сопротивление дистанционирующих элементов из муфт для пучков стержневых твэлов//Теплоэнергетика. 1979. № 12. С. 36—40.

12-51. **Коузов П. А.** Циклоны ЛИОТ с водяной пленкой. Л., 1953. 53 с.

12-52. **Коузов П. А.** Сравнительная оценка циклонов различных типов//Обеспыливание в металлургии. М., 1971. С. 185—196.

12-53. **Кузнецов Н. В., Щербаков А. З.** Экспериментальное определение теплопередачи и аэродинамического сопротивления чугунного ребристого воздухоподогревателя//Известия ВТИ. 1951. № 2. С. 51—55.

12-54. **Кузнецов Н. В., Щербаков А. З., Титова Е. Я.** Новые расчетные формулы для аэродинамического сопротивления поперечно-обтекаемых пучков труб//Теплоэнергетика. 1954. № 9. С. 27—32.

12-55. **Лисейкин И. Д.** Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление мембранных конвективных поверхностей нагрева//Теплоэнергетика. 1984. № 12. С. 66—69.

12-56. **Локшин В. А., Лисейкин И. Д.** Исследование и расчет аэродинамики мембранных конвективных поверхностей нагрева//Теплоэнергетика. 1971. № 9. С. 35—37.

12-57. **Локшин В. А., Лисейкин И. Д., Аронов Д. И.** Исследование и расчет теплоотдачи и аэродинамических сопротивлений коридорных пучков труб//Теплоэнергетика. 1975. № 1. С. 75—77.

12-58. **Локшин В. А., Мочан С. И., Фомина В. Н.** Обобщение материалов по аэродинамическим сопротивлениям шахматных поперечно-омываемых пучков труб//Теплоэнергетика. 1971. № 10. С. 41—48.

12-59. **Луговский С. И., Андрианов И. С.** Очистка газов, отходящих от вагранок и электросталеплавильных печей. М., 1972. 175 с.

12-60. **Марьямов Н. Б.** Расчет трубчато-пластинчатых и трубчато-ребристых радиаторов//Труды ЛПИ. Л., 1946. № 18. 215 с.

12-61. **Марьямов Н. Б.** Экспериментальное исследование и расчет авиационных радиаторов//Труды ЦАГИ. М., 1938. № 367. 230 с.

12-62. **Мясный Е. М., Корчажкин М. П.** К расчету пропускной способности циклонных сепараторов//Газовая промышленность. 1956. № 11. С. 21—25.

12-63. **Михеев М. А., Михеева И. М.** Основы теплопередачи. 2-е изд., стереотип. М., 1977. 344 с.

12-64. **Мурашкевич Ф. И.** Эффективность пылеулавливания турбулентным промывателем//Инж.-физ. ж-л. 1959. Т. 2. № 11. С. 825—829.

12-65. **Обобщение материалов по аэродинамическому сопротивлению поперечно-омываемых гладкотрубных пучков/И. С. Мочан, В. Н. Фомина, П. И. Микушкина, Е. Я. Титова//Теплоэнергетика, 1985. № 11. С. 14—20.**

12-66. **Очистка промышленных газов от пыли/В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мяков, И. К. Решидов. М., 1981. 390 с.**

12-67. **Павлов Г. Г.** Аэродинамика технологических процессов и оборудования текстильной промышленности. М., 1975. 152 с.

12-68. **Петрянов И. В., Козлов В. И., Басмаинов П. И., Огородников Б. И.** Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М., 1968. 78 с.

12-69. **Пирумов А. И.** Аэродинамические основы инерционной сепарации. М.: 1961. 170 с.

12-70. **Пирумов А. И.** Обеспыливание воздуха. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1981. 296 с.

12-71. **Пирумов А. И.** Рекомендации по проектированию очистки воздуха в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха/ЦНИИпромзданий. М., 1972. С. 60—90.

12-72. **Рабинович Б. В.** Введение в литейную гидравлику. М., 1966. 320 с.

12-73. **Рычагов В. В., Шольц М. Е.** Взаимное влияние местных сопротивлений в напорных коммуникациях насосных станций: Экспресс-информация/ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1970. Сер. 6. Вып. 2. 20 с.

12-74. **Скобелцын Ю. А., Хомутов П. В.** Взаимное влияние различных по конфигурации прохода запорных устройств при низких числах Рейнольдса//Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1972. № 7. С. 22—23.

- 12-75. **Современные конструкции трубопроводной арматуры: Справочное пособие/Под ред. Ю. М. Котелевского.** М., 1970. 250 с.
- 12-76. **Справочник по пыле- и золоулавливанию/М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, В. Ю. Падва, А. А. Русанов, И. И. Урбах.** 2-е изд., перераб. и доп. М., 1983. 312 с.
- 12-77. **Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха/Под ред. И. Г. Старовойтова.** М., 1978. Ч. 2. 510 с.
- 12-78. **Стасюлявичюс Ю. Л., Самошко П. С.** Теплообмен и аэродинамика шахматных пучков труб в поперечном потоке воздуха//Инж.-физ. ж-л. 1964. Т. 8. № 11. С. 10—15.
- 12-79. **Тагер С. А.** Расчет аэродинамического сопротивления циклонных камер сгорания//Теплоэнергетика. 1971. № 7. С. 18—23.
- 12-80. **Талиев В. Н.** Аэродинамические характеристики новых конструкций аэрационных фонарей. М., 1955. 60 с.
- 12-81. **Тарат Э. Я., Вальдберг А. Ю.** О гидравлическом сопротивлении провальных решеток при пенном режиме//ЖПХ. 1970. Т. 13. № 8. С. 315—320.
- 12-82. **Тебеньков Б. П.** Рекуператоры для промышленных печей. М., 1967. 358 с.
- 12-83. **Теверовский Е. Н.** Опыт эксплуатации и промышленных испытаний различных золоуловителей и рекомендации по их выбору//Труды конференции по вопросам золоулавливания, шлакоулавливания и шлакозолоиспользования. М., 1955. С. 135—150.
- 12-84. **Теверовский Е. Н., Зайцев М. М.** Пылеулавливающий, абсорбционный и теплообменный аппарат «ТП» с высокоскоростным потоком газа//Труды НИИОгаз. М., 1957. № 1. С. 105—133.
- 12-85. **Тормозящее действие коронного разряда на поток газа в электрофильтре/А. А. Гурвиц, Ю. А. Лямин, Л. С. Левин и др.**//Промышленная и санитарная очистка газов: Экспресс-информация/ЦИНТИхимнефтемаш. М., 1985. Сер. ХМ-14. 5 с.
- 12-86. **Тулин С. Н.** Теплопередача и сопротивление в пучках трубок с проволочным оребрением//Теплоэнергетика. 1958. № 3. С. 70—75.
- 12-87. **Ужов В. Н.** Очистка промышленных газов электрофильтрами. М., 1967. 344 с.
- 12-88. **Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю.** Очистка промышленных газов мокрыми фильтрами. М., 1972. 247 с.
- 12-89. **Ужов В. Н., Мягков Б. И.** Очистка промышленных газов фильтрами. М., 1970. 319 с.
- 12-90. **Умбрасас М.-Р. А.** Оценка безотказности судовых трубопроводов, включающих сочетание отводов, при проектировании систем морской воды: Дис. ... канд. техн. наук. Севастополь, 1984. 178 с.
- 12-91. **Участкин П. В.** Исследование эффективности и гидравлического сопротивления элиминаторов//Отопление и вентиляция. 1940. № 6. С. 33—39.
- 12-92. **Фрухт И. А.** Гидравлическое сопротивление фонарей, снабженных ветроотбойными притками//Строительная промышленность. 1958. № 1. С. 41—45.
- 12-93. **Фрухт И. А.** Влияние геометрических соотношений на работу незадуваемых вытяжных фонарей для аэрации//Известия вузов. Строительство и архитектура. 1959. № 7. С. 31—37.
- 12-94. **Ханжонков В. И.** Аэродинамическое сопротивление плоских каналов с обратным симметричным поворотом//Промышленная аэродинамика. М., 1962. Вып. 21. С. 151—156.
- 12-95. **Ханжонков В. И.** Аэродинамические характеристики унифицированного дефлектора ЦАГИ для вагонов//Промышленная аэродинамика. М., 1958. № 10. С. 111—117.
- 12-96. **Ханжонков В. И.** Вентиляционные дефлекторы. М., 1947. 105 с.
- 12-97. **Циклоны НИИОгаз, Ярославль,** 1971. 94 с.
- 12-98. **Шольц М. Е.** К вопросу о взаимном влиянии местных сопротивлений//Вопросы гидравлики/Моск. гидромелиор. ин-т. М., 1969. С. 131—135.
- 12-99. **Штромберг Я. А., Кануников В. Ф.** Конструкции пылеуловителей лаборатории промышленной вентиляции и аэродинамики ВНИИОТ ВЦСПС (Тбилиси)//Обеспыливание в металлургии. М., 1971. С. 156—162.
- 12-100. **Щербаков А. Э., Жирнов Н. И.** Теплопередача и аэродинамическое сопротивление чугунного ребристо-зубчатого воздухоподогревателя//Теплоэнергетика. 1954. № 8. С. 25—30.
- 12-101. **Электрофильтры: Каталог/Ю. А. Попов, С. С. Яковский, М. Г. Мазус и др.**//ЦИНТИхимнефтемаш. М., 1986. 30 с.
- 12-102. **Эльперин И. Т.** Поворот газов в трубном пучке//Известия АН БССР. 1950. № 3. С. 70—78.
- 12-103. **Юдин Е. Я., Елин И. С.** Выбор оптимальных параметров осевых вентиляторов//Тр. ЦАГИ. М., 1946. № 591. С. 1—20.
- 12-104. **Brauer H.** Untersuchungen über den Strömungswiderstand und den Wärmeübergang bei fluchtend angeordneten Rippenrohren//Techn. Mitt. 1962. Bd. 55. N 5. S. 214—226.
- 12-105. **Robinson K. K., Briggs D. E.** Pressure drop of air flowing across triangular pitch banks of finned tubes//Chem. Engng. Progr. Sympos. 1966. V. 62. N 64. P. 177—184.
- 12-106. **Zumann R.** Druckverlust bei quer angestromten Glatrohrbündeln//Chemiker-Ztg. Chem. Appar. 1962. Bd. 86. N 8. S. 275—281.



## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### В

**Вход:** в прямой канал 140, 141; в трубу 122—125, 131—136; из ограниченного объема 129

**Выходы при различной заделке прямой трубы** 129—131

**Выход:** из диффузора 512—538; из канала 560; 561; из колена 543—546; из трубы 510—512, 530, 531, 556—560; с экраном 128

**Вязкость газов:** динамическая 14—16, 18; кинематическая 14, 15, 17, 18

### Г

**Газы:** Истечение из отверстия 35—41; Режимы течения 18—20; Свойства 12—18; Уравнения движения 21—29

### Д

**Давление статическое** 32, 33

**Дефлекторы** 620, 621

**Деформация потока в прямой трубе** 163, 164

**Диафрагмы** 167—173, 175—177

**Диффузор:** в сети с расширением в одной плоскости 227—230; выходной 538, 539, 542, 543; круглого сечения 211—223, 232, 233, 235, 236; плоский пятиканальный дозвуковой 230—232; прямоугольного сечения 224—227, 236—238, 243; с криволинейными образующими 233, 234; с несимметричным расширением 241, 242; со ступенчатыми стенками 238; 243, 244; с переходом с круга на прямоугольник или с прямоугольника на круг 256; с расширением в одной плоскости 238, 239, 241, 242

**Диффузоры** 209, 210: кольцевые 244, 245; кривоосные 247—249; пониженного сопротивления 240; радиально-кольцевые и осердиально-кольцевые 246

### Ж

**Жидкости:** Истечение из отверстия 35—41; Плотность 12, 13; Режимы течения 18—20; Уравнения движения 21—29

### З

**Задвижки** 434, 435, 438—442

**Затворы:** вальцовые 443, 444; дисковые 452, 453, 456; дроссельные 455; заплюпка 451; обратные 458; одностворчатые 453, 454; плоские дисковые 452, 453; сегментные 450, 451; шаровые 447—449

**Змеевики** 468

### К

**Калориферы** 607—609

**Каналы криволинейные** 280—282

**Клапан** 434: всасывающий с сеткой 458; выпускной 444, 445; конусный 460, 461; «Косва» 435; прямоочного типа 436; регулирую-

щий 457; с делительными стенками 437; тарельчатый 459—462

**Колена:** без лопаток 308, 309; в системе пневмотранспорта 330, 331; Z-образной формы 295—298; круглого сечения 284, 293—295, 322; прямоугольного сечения 289—291, 317, 318, 320, 321; П-образной формы 299—301; с закругленными кромками 288, 289; сопряженные 308—315; составленные из отдельных звеньев 292, 293—295; с острыми кромками 286, 287; U-образной формы 301, 302

**Коллекторы:** вделанные в стенку 177; Z-образной формы 400; очерченные по дуге круга 126; 127; П-образной формы 399; раздающие 397; собирающие 398

**Компенсаторы** 466, 467

**Конфузоры круглого сечения** 249—252

**Короб раздающий** 396

**Коэффициент:** гидравлического сопротивления 10; расхода жидкости 37—40

**Кран** 446, 452

**Крестовины** 386—395

### Л

**Лабиринт с перетеканием из одного объема в другой** 464—466

### М

**Материалы фильтрующие** 417, 418

### Н

**Нагнетатель:** Работа в сети 41—43

**Насадки** 421—424: из деревянных реек 425, 426; из керамических колец 424, 425; приточные (воздухораспределители) 547—552; слоевые 421—424

### О

**Обводы** 308—312

**Отверстия** 173, 174, 178—180

**Отводы** 277—279; 282; в системе пневмотранспорта 330, 331; гибкие стеклотканевые 316; круглого сечения 284; крутоизогнутые 308—312; прямоугольного сечения 317, 318; расположенные за центробежными вентиляторами 285; с концентрическими направляющими лопатками 318, 319; сопряженные 303—308;

### П

**Патрубки входные осевых стационарных турбомашин** 141

**Печь нагревательная** 619, 620

**Пластинки прямоугольные** 484, 495

**Поворот:** плоский 275; пространственный 273, 274, 323—327; симметричный 328—330

**Поток:** дозвуковой 25—27; с равномерным распределением скоростей 158, 159

**Промыватель турбулентный (труба Вентури)** 590, 591



Профиты 486, 495, 496  
Пучка труб 99—101, 611—616  
Пылеуловитель 592

## Р

Радкаторы 604—606  
Распорки 481—485  
Раструб (конический коллектор) 127, 128  
Расширение врезанное 158—163  
Рекуператоры 618  
Решетки: жалюзийные 182; из перфорированных листов 408; из утолщенных реек 410, 411; при больших дозвуковых скоростях 415, 416; с закругленными краями отверстий 411, 412; с различными формами краев отверстий 412, 413; стержневые 419, 420  
Рукава из резины 106, 107

## С

Самотяга 28, 29  
Сети 29—32, 43—48  
Сетки 414, 415  
Системы гомогенные и гетерогенные 33—35  
Скрубберы 593  
Сопротивления сетей гидравлические 29—32, 43—59  
Створки 180—182  
Струя свободная 562—564  
Сужение врезанное 165, 166

## Т

Тела: изотермической формы 489; плохообтекаемые 477; различной формы 490—493  
Теплообменники 617  
Ткани фильтрующие 427  
Тройник: вытяжной 343—363, 378; — отвод 628; при больших скоростях 371—373; приточный 364—371, 373—378; сборный—коллектор 630—632; симметричной формы 379—386; — тройник 629, 630; улучшенной формы 371, 372  
Трубы: аэродинамические 49, 54—59, 183; из алюминиевых или стальных лент 102; из бере-

зовой фанеры 110; из прорезиненного материала типа брезента 109, 110; кольцевого поперечного сечения 95—98, 108, 109; любого сечения 112, 113; пластмассовые 111, 112; прямоугольные 93—95, 103, 104; со стыками (сварные) 102, 103; с прямоугольными кольцевыми выемками 103, 104; треугольного сечения 98, 99

## У

Уплотнение лабиринтное 463  
Установка для мокрой очистки газов 43—55  
Устройства воздухоприемные 142  
Участки: входные электрофильтров 599, 560; выходные 561, 562; в сети переходные 252—255

## Ф

Ферма, помещенная в трубу 498, 499  
Фильтры 594—599  
Фонари 622—624

## Ц

Циклоны: батарейные 586; НИИОгаза 579—585; противоточные 582; прямоточные 587—589  
Цилиндры: гладкие 497; круговые 479—481, 485; эллиптические 493, 494

## Ч

Часть фасонная—арматура 632—634

## Ш

Шар 487, 488  
Шахты 137—139, 553—556  
Шероховатость поверхности труб и каналов эквивалентная 78—84

## Э

Электрокалориферы 610  
Электрофильтры 601—603  
Элементы: вентиляторов 142—145; выходные за вентилятором 540—542  
Элеминаторы 625

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Идельчик Исаак Евсеевич

### СПРАВОЧНИК ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЯМ

Редактор *И. И. Лесниченко* Переплет художника *В. Д. Епанешникова* Технический редактор *Л. П. Гордеева*  
Корректор *И. М. Борейша*

ИБ № 4863

Сдано в набор 03.04.89. Подписано в печать 30.05.91. Формат 70×100/16. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура «таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 54,6. Усл. кр.-отт. 54,6. Уч.-изд. л. 52,27.  
Тираж 1300 экз. Заказ 1153. «С»

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Стромынский пер., 4.

Отпечатано в московской типографии № 4 Госкомпечати СССР, 129041, Москва, Б. Переяславская, 46, с диапозитивов, изготовленных в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054, Москва, Валовая, 28. З.а.к. 1584