

Tablica 7.11

d - dowolnie obrane	d_1	d_2	...	...	d_i
$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$	v_1	v_2	...	...	v_i
$Re = \frac{v d}{\nu}$	Re_1	Re_2	...	...	Re_i
$\varepsilon = \frac{k}{d}$	ε_1	ε_2	...	...	ε_i
λ (wg Colebrooka)	λ_1	λ_2	...	...	λ_i
$f(d)$	$f(d_1)$	$f(d_2)$	...	...	$f(d_i)$

7.5.3. OBLICZANIE DŁUGICH PRZEWODÓW

Do długich przewodów występujących w praktyce można zaliczyć m.in. przewody wodociągowe, ciepłne, naftowe. Charakteryzują się one niewielką ilością przeszkód lokalnych a ich długość jest bardzo duża w porównaniu ze średnicą. W obliczeniach długich przewodu pomija się więc straty miejscowe i wysokość prędkości jako wielkości bardzo małe w porównaniu ze stratami liniowymi.

Rozważając przepływ w przewodzie długim o stałym przekroju poprzecznym napiszemy równanie Bernoulliego dla dwóch przekrojów w postaci

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{s1}$$

lub

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right) = h_{s1} . \quad (7.29)$$

Z równania (7.29) wynika, że cała różnica energii potencjalnej zużywana jest na pokonanie oporów liniowych.

Straty liniowe można wyrazić ze wzoru (7.3) w postaci

$$h_{sl} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Stąd spadek hydrauliczny

$$I = \frac{h_{sl}}{l} = \lambda \frac{v^2}{2g d}.$$

Z równania ciągłości

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Podstawiając tę zależność do wzoru na I otrzymamy

$$I = \frac{h_{sl}}{l} = \lambda \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4 \cdot 2g d} = \lambda \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5}.$$

Zastępując wyrażenie $\frac{\pi^2 g d^5}{8\lambda}$ przez $K^2 = \frac{1}{A}$ napiszemy

$$I = \frac{h_{sl}}{l} = \frac{Q^2}{K^2} = A Q^2, \quad (7.30)$$

gdzie: $K = \sqrt{\frac{\pi^2 g d^5}{8\lambda}}$ określa przepuszczalność przewodu,

$A = \frac{1}{K^2}$ - oporność właściwa przewodu.

Można równanie (7.30) zapisać w postaci

$$h_{sl} = \frac{Q^2}{K^2} = A l Q^2 \quad (7.31)$$

lub

$$Q = K\sqrt{I}, \quad (7.32)$$

gdzie $K = f(\lambda, d)$.

Wzory (7.30) do (7.32) są bardzo proste i wygodne do obliczeń. Parametr przepuszczalności K zależy od średnicy przewodu i współczynnika oporów liniowych λ , który w strefie kwadratowej zależności oporów zależy tylko od chropowatości.

Wartości przepuszczalności K i oporności właściwych przewodów A w strefie kwadratowej zależności oporów dla przewodów o bezwzględnej chropowatości $k = 0,05$ mm i $k = 0,1$ mm zestawiono w tablicy 7.12.

Tablica 7.12

d	k = 0,05 mm			k = 0,1 mm		
	K	K^2	A	K	K^2	A
[mm]	$[m^3/s]$	$[m^6/s^2]$	$[s^2/m^6]$	$[m^3/s]$	$[m^6/s^2]$	$[s^2/m^6]$
50	$1,39 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-4}$	$5,19 \cdot 10^3$	$1,27 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$6,19 \cdot 10^3$
100	$8,52 \cdot 10^{-2}$	$7,25 \cdot 10^{-3}$	$1,38 \cdot 10^2$	$7,85 \cdot 10^{-2}$	$6,17 \cdot 10^{-3}$	$1,62 \cdot 10^2$
125	$1,52 \cdot 10^{-1}$	$2,32 \cdot 10^{-2}$	$4,30 \cdot 10$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$1,99 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10$
150	$2,45 \cdot 10^{-1}$	$6,02 \cdot 10^{-2}$	$1,66 \cdot 10$	$2,27 \cdot 10^{-1}$	$5,16 \cdot 10^{-2}$	$1,94 \cdot 10$
200	$5,19 \cdot 10^{-1}$	$2,70 \cdot 10^{-1}$	3,71	$4,82 \cdot 10^{-1}$	$2,32 \cdot 10^{-1}$	4,31
300	1,49	2,22	$4,50 \cdot 10^{-1}$	1,39	1,93	$5,19 \cdot 10^{-1}$
400	3,15	9,91	$1,01 \cdot 10^{-1}$	2,94	8,63	$1,16 \cdot 10^{-1}$
500	5,62	$3,14 \cdot 10$	$3,17 \cdot 10^{-2}$	5,25	$2,76 \cdot 10$	$3,63 \cdot 10^{-2}$
1000	$3,39 \cdot 10$	$1,15 \cdot 10^3$	$8,71 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10$	$1,01 \cdot 10^3$	$9,89 \cdot 10^{-4}$

Podane w tablicy 7.12 wartości K i A stosowane są, jak wiemy, w obliczeniach przewodów długich w strefie kwadratowej zależności oporów. Dla obliczeń w strefie przejściowej przepływu burzliwego należy wprowadzić do wzoru (7.31) współczynnik poprawkowy φ

$$h'_{sl} = \varphi A l Q^2 = \frac{\lambda}{\lambda_{kw}} A l Q^2 \quad (7.33)$$

Współczynnik φ jest równy stosunkowi współczynnika oporów liniowych w strefie przejściowej do jego wartości w strefie kwadratowej zależności oporów.

Wartości $K = f(d, n)$ podano w tablicy 7.13.

Tablica 7.13

d	$n = 0,0111$	$\frac{1}{n} = 90$	$n = 0,0125$	$\frac{1}{n} = 80$	$n = 0,0143$	$\frac{1}{n} = 70$
[mm]	K, [1/s]	$K^2 \cdot 10^{-3}$	K, [1/s]	$K^2 \cdot 10^{-3}$	K, [1/s]	$K^2 \cdot 10^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7
40	5,308	0,028	4,666	0,022	4,083	0,017
50	9,624	0,092	8,46	0,072	7,403	0,055
75	28,37	0,805	24,94	0,622	21,83	0,476
100	61,11	3,734	53,72	2,886	47,01	2,209
125	110,8	12,28	97,4	9,487	85,23	7,264
150	180,2	32,46	158,4	25,09	138,6	19,21
175	271,8	73,86	238,9	57,08	209,0	43,70
200	388,0	150,6	341,0	116,4	298,5	89,08
225	531,2	282,2	467,0	218,1	408,6	167,0
250	703,5	494,9	618,5	382,5	541,2	292,8
300	1144,0	1309,0	1006,0	1011,0	880,0	774,4
350	1726,0	2978,0	1517,0	2301,0	1327,0	1722,0
400	2464,0	6070,0	2166,0	4691,0	1895,0	3592,0
450	3378,0	11380,0	2965,0	8792,0	2594,0	6731,0
500	4467,0	19950,0	3927,0	15410,0	3436,0	11810,0
600	7264,0	52760,0	6386,0	40780,0	5587,0	31220,0
700	10960,0	120100,0	9632,0	92780,0	8428,0	71040,0
750	13170,0	173400,0	11580,0	134100,0	10130,0	102600,0
800	15640,0	244700,0	13750,0	189100,0	12030,0	144800,0
900	21420,0	453600,0	18830,0	354500,0	16470,0	271400,0
1000	28360,0	801500,0	24930,0	621700,0	21820,0	476000,0

Najprościej została określona (1) zależność współczynnika przy pomocy dwu wzorów:

- wzoru Altshula dla strefy przejściowej

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

- wzoru Schiffrinsona dla strefy kwadratowej zależności oporów

$$\lambda_{kw} = 0,11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0,25}.$$

Korzystając z podanych wzorów napiszemy

$$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{kw}} = \left(1 + \frac{68v}{vk} \right)^{0,25} \quad (7.34)$$

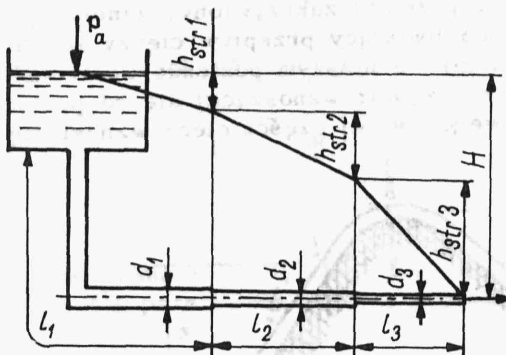
W tablicy 7.14 podano wartości φ dla wody w zależności od prędkości v i współczynnika chropowatości $k(v = 0,01 \text{ cm}^2/\text{s})$.

Tablica 7.14

$k[\text{mm}]$	$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{kw}}$ w zależności od $v [\text{m/s}]$											
	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1,5	2	3	4	5
0,1	2,88	1,67	1,45	1,35	1,28	1,24	1,14	1,1	1,08	1,05	1,04	1,03
1,0	1,67	1,14	1,08	1,05	1,04	1,03	1,015	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00

Do obliczenia przewodu składającego się z odcinków o różnych średnicach (rys.7.23) zastosujemy zależność (7.31)

$$h_{sl} = \frac{Q^2 l}{K^2}$$



Rys.7.23

Straty liniowe na poszczególnych odcinkach można zapisać następująco:

$$h_{sl1} = \frac{Q^2 l_1}{K_1^2}, \quad h_{sl2} = \frac{Q^2 l_2}{K_2^2}, \quad h_{sl3} = \frac{Q^2 l_3}{K_3^2}.$$

Sumując straty na całym ciągu szeregowo połączonych przewodów otrzymamy

$$H = h_{sl_1} + h_{sl_2} + h_{sl_3} = Q^2 \left(\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \frac{l_3}{K_3^2} \right),$$

stąd obliczymy wydatek cieczy Q

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \frac{l_3}{K_3^2}}},$$

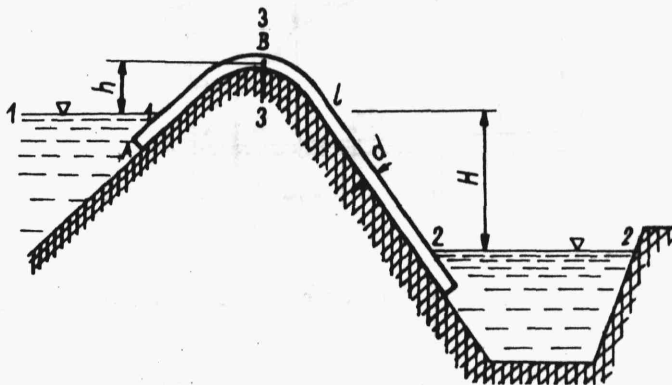
gdzie: H - wielkość naporu,

K_1, K_2, K_3 - parametry przepuszczalności zależne od odpowiednich średnic d_1, d_2, d_3 .

Z obliczonych wysokości strat liniowych sporządzono linię spadku ciśnień w postaci linii łamanej, składającej się z prostych odcinków o różnych kątach nachylenia do osi przewodu.

7.5.4. PRZEPŁYW PRZEZ LEWAR I SYFON

Lewarem nazywamy przewód zakrzywiony, zanurzony końcami w dwóch zbiornikach i umożliwiający przepływ cieczy ze zbiornika o wyższym poziomie do zbiornika o niższym poziomie zwierciadła (rys.7.24). Lewar składa się z dwu części: wznoszącej się od poziomu wody górnej do punktu szczytowego, w tej części ciecz wznosi się ku górze



Rys.7.24