ном канале не превысили величину $v_{пов}$ = 0,15 м/с. Это удаление и следует признать минимальным при заборе из канала максимального расхода $Q_{макс}$ = 46,0 $м^3$/с.

Р е з ю м е

Предлагается приближенный способ расчета поперечных скоростей, основанный на допустимости замены работы насоса или трубы водозабора гидродинамической моделью стока.

Л и т е р а т у р а

1. Р о н ж и н И.С. Изучение плана течений открытого потока методом ЭГДА. – "Труды Гидропроекта", сб. 11. М., 1964.

УДК 532.542.4; 518.3

В.Б. Х е й н м а н (канд.техн.наук), Г.Е. И т к и н а, Я. И. М а т в е е в а

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЮ ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА
(формула Н.З. Френкеля)

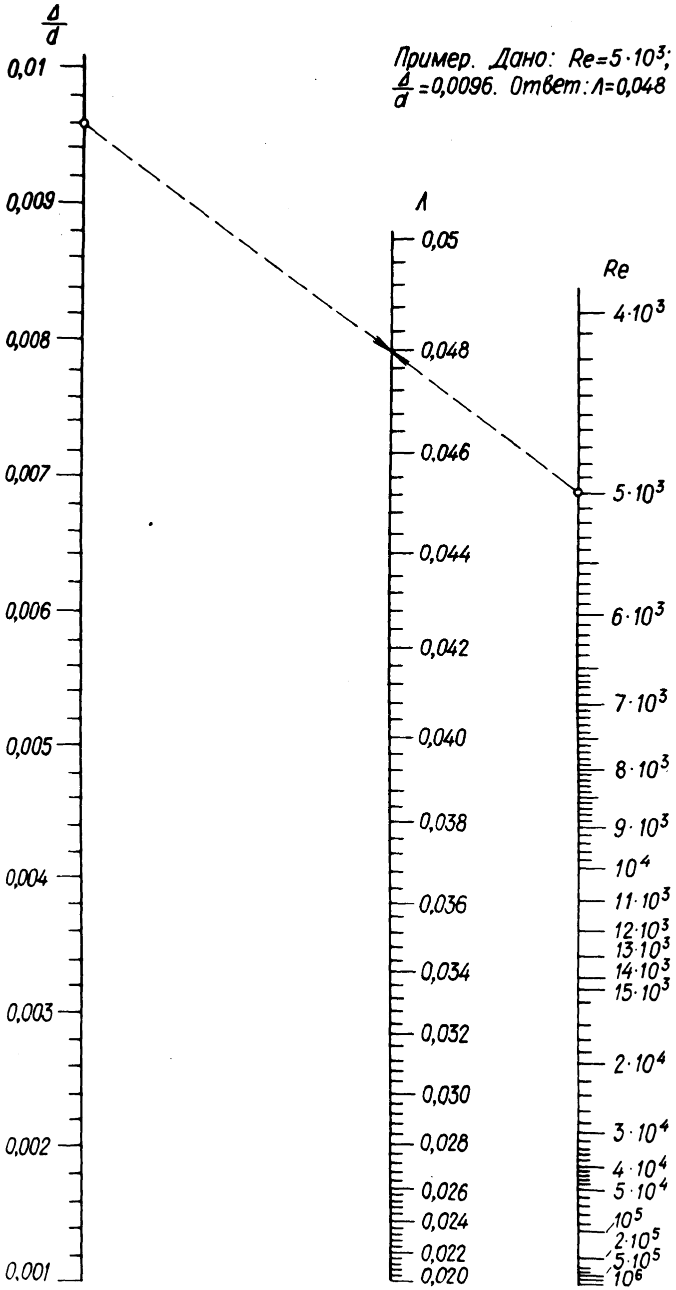
Для определения коэффициента гидравлического трения (коэффициента Дарси) предложен ряд формул, учитывающих зависимость его от размеров поперечного сечения трубы, шероховатости стенок и числа Рейнольдса. Одной из них является формула Н.З. Френкеля для турбулентного движения в промышленных шероховатых и гладких трубах:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left[\frac{\Delta}{3{,}7\,d} + \left(\frac{6{,}81}{Re}\right)^{0{,}9}\right]. \qquad (1)$$

Однако нахождение коэффициента λ по формуле (1) связано с большой вычислительной работой.

Нами построены номограммы из выравненных точек, дающие возможность одним наложением линейки находить значения λ по заданным значениям $\frac{\Delta}{d}$ и Re.

Для удобства построения номограммы, с учетом того, что при больших значениях Re существенное влияние на значение коэффициента λ оказывает отношение $\frac{\Delta}{d}$, нами построены две номограммы. Одна номограмма (рис. 1) построена для значений



Δ/d
0,01
0,009
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
0,001
Пример. Дано: Re=5·10³;
Δ/d =0,0096. Ответ: Λ=0,048
Λ
0,05
0,048
0,046
0,044
0,042
0,040
0,038
0,036
0,034
0,032
0,030
0,028
0,026
0,024
0,022
0,020
Re
4·10³
5·10³
6·10³
7·10³
8·10³
9·10³
10⁴
11·10³
12·10³
13·10³
14·10³
15·10³
2·10⁴
3·10⁴
4·10⁴
5·10⁴
10⁵
2·10⁵
5·10⁵
10⁶

Рис. 1.

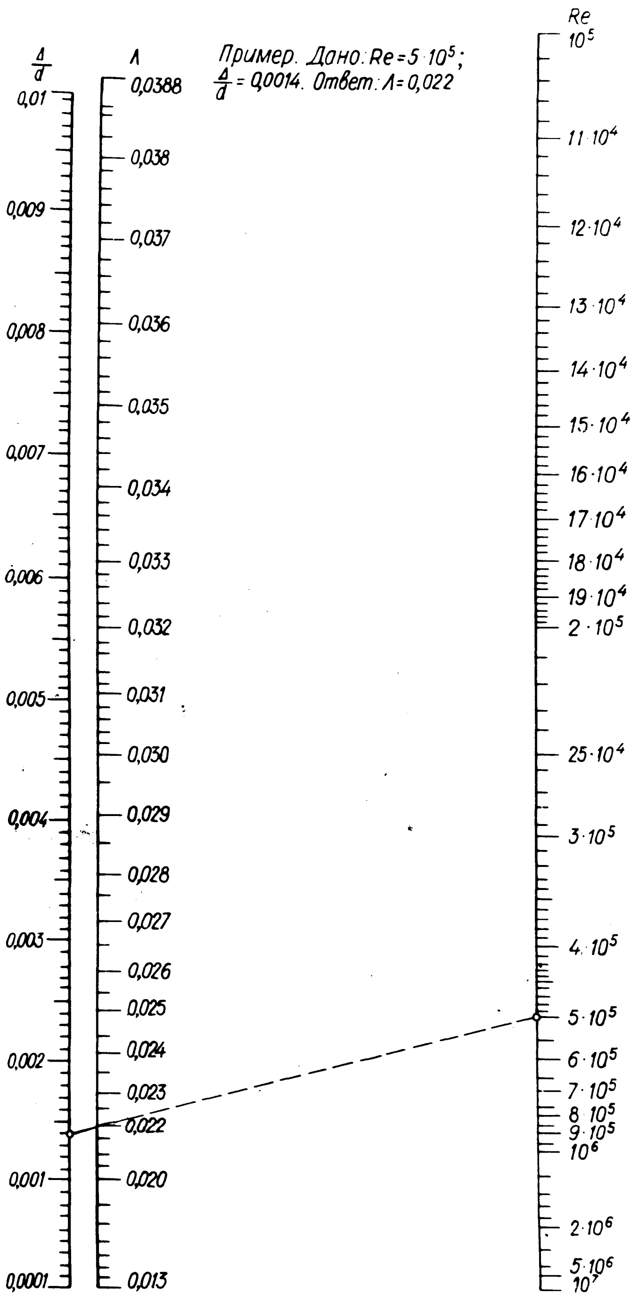

Пример. Дано: Re = 5·10^5;
Δ/d = 0,0014. Ответ: Λ = 0,022
Δ/d
0,01
0,009
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
0,001
0,0001
Λ
0,0388
0,038
0,037
0,036
0,035
0,034
0,033
0,032
0,031
0,030
0,029
0,028
0,027
0,026
0,025
0,024
0,023
0,022
0,020
0,013
Re
10^5
11·10^4
12·10^4
13·10^4
14·10^4
15·10^4
16·10^4
17·10^4
18·10^4
19·10^4
2·10^5
25·10^4
3·10^5
4·10^5
5·10^5
6·10^5
7·10^5
8·10^5
9·10^5
10^6
2·10^6
5·10^6
10^7

Рис.2.

чисел Рейнольдса в пределах $4 \cdot 10^3$ до 10^6. Вторая номограмма (рис.2) построена для диапазона $10^5 < Re < 10^7$.

При построении номограммы использовались данные для λ и Re, приведенные Н.З. Френкелем [1]. Значения внутреннего диаметра d труб промышленных трубопроводов соответствуют действующим ГОСТам и приведены в соответствии ГОСТом 5525 – 50 для чугунных водопроводных труб.

Для построения номограммы формула (1) преобразована к виду

$$10^{-\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} = \frac{1}{3,7}\left(\frac{\Delta}{d}\right) + \left(\frac{6,81}{Re}\right)^{0,9}. \quad (2)$$

Таблица 1

Координаты	Шкала	Шкала	Шкала
x	0	100	62,5
y	$10^5\left(\frac{1}{3,7}\frac{\Delta}{d} - 27 \cdot 10^{-5}\right)$	$6 \cdot 10^4\left[\left(\frac{6,81}{Re}\right)^{0,9} - 2 \cdot 10^{-5}\right]$	$375 \cdot 10^2\left(10^{-\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} - 29 \cdot 10^{-5}\right)$

Таблица 2

Координаты	Шкала	Шкала	Шкала
x	0	100	6
y	$10^5\left(\frac{1}{3,7}\frac{\Delta}{d} - 3 \cdot 10^{-5}\right)$	$16 \cdot 10^5\left[\left(\frac{6,81}{Re}\right)^{0,9} - 3 \cdot 10^{-6}\right]$	$94118\left(10^{-\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} - 33 \cdot 10^{-6}\right)$

Таблица 3

Неподвижная плоскость

Координаты	Поле (Re, d)	Поле (Δ d)
x	$-10^4\left(\frac{6,81}{Re}\right)^{0,9} - 10$	$10^4 \frac{\Delta}{3,7\,d}$
y	$10^4 \frac{1}{d}$	$10^4 \frac{1}{d}$

Транспарант

Координаты	Фиксированная точка	Шкала
x	0	$10^4 \cdot 10^{-\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} + 10$
y	0	0

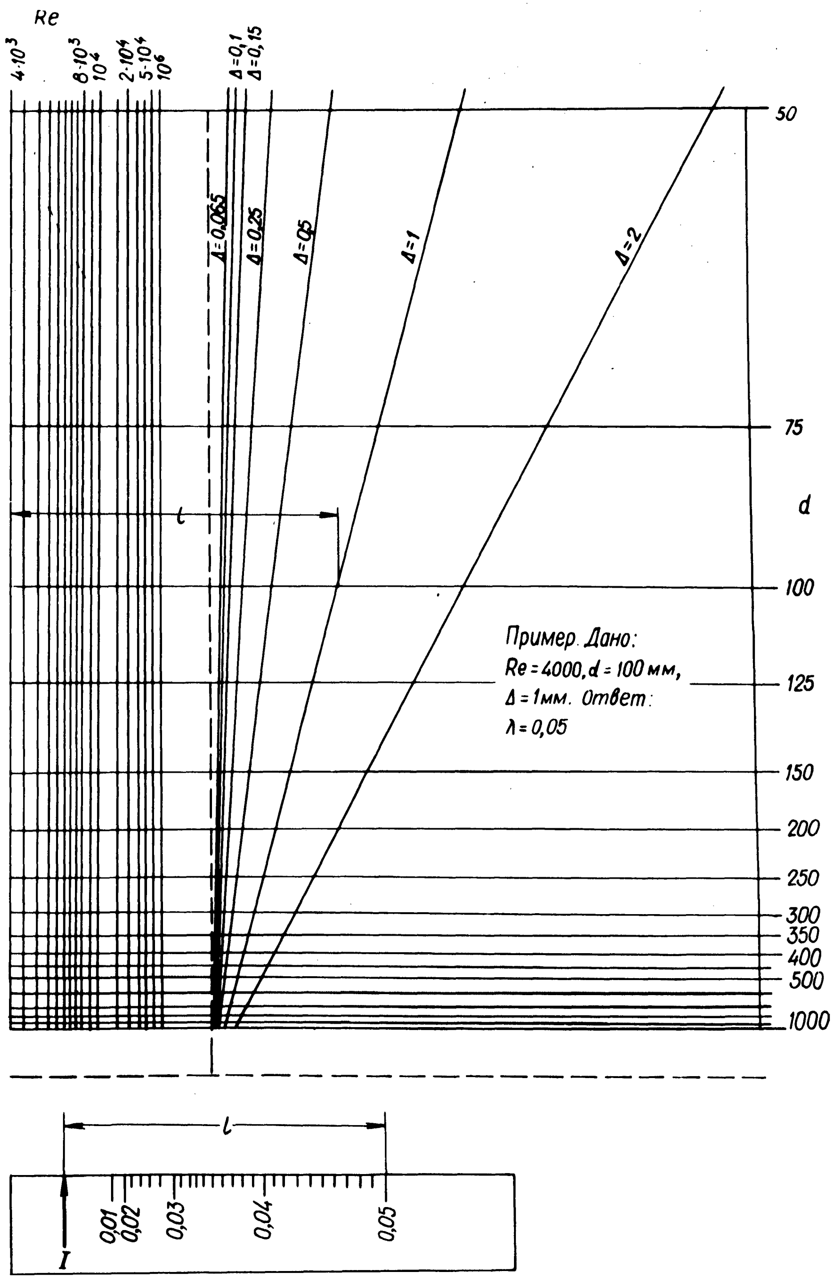

Re
4·10³
8·10³
10⁴
2·10⁴
5·10⁴
10⁶
Δ=0,1
Δ=0,15
Δ=0,065
Δ=0,25
Δ=0,5
Δ=1
Δ=2
50
75
d
100
125
150
200
250
300
350
400
500
1000
l
Пример. Дано:
Re = 4000, d = 100 мм,
Δ = 1мм. Ответ:
λ = 0,05
l
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
I

Рис.3.

Формула (2) является канонической формулой вида

$$f_3 = f_1 + f_2,$$

допускающей построение номограммы из выравненных точек.

Уравнения элементов номограмм приведены в табл.1,2,а номограммы на рис.1,2.Правила пользования указаны на номограммах.

Пример. Дано $Re = 5 \cdot 10^3$, $\frac{\Delta}{d} = 0{,}096$. Найти λ.

На номограмме (рис.1) на шкале $\frac{\Delta}{d}$ берем точку с пометкой 0,096, а на шкале Re – $5 \cdot 10^3$. Прикладываем край линейки к этим точкам. Линейка пересекает шкалу λ в точке с пометкой 0,048. Следовательно, $\lambda = 0{,}048$.

Для формулы (1) также построена номограмма с транспарантом в виде линейки, которой можно пользоваться и как циркульной номограммой. Номограмма дает возможность находить значения λ по заданным значениям Δ,d, Re.

Формула (1) при этом приводится к канонической форме вида

$$f_{12} + f_3 = f_{14},$$

для которой разработана Г.С. Хованским [2] методика построения номограмм [2] .

Уравнение элементов номограммы приведены в табл.3, а номограмма на рис.3. Правила пользования показаны на номограмме.

Пример. Дано $Re = 4 \cdot 10^3$, $d = 100$ мм, $\Delta = 1$ мм. Найти λ.

На номограмме (рис.3) помещаем одну ножку циркуля в точку поля (Re, d), соответствующую значениям $Re = 4 \cdot 10^3$, $d = 100$, а вторую ножку в точку поля (Δ, d), соответствующую значениям $\Delta = 1$, $d = 100$. Не меняя расстояния между ножками, поместим одну ножку в фиксированную точку 1 транспаранта, вторая точка попадает в точку с пометкой 0,05. Следовательно, $\lambda = 0{,}05$.

Резюме

Приведены сконструированные авторами номограммы для расчета коэффициента сопротивления трению по формуле Френкеля. Номограммы дают возможность заменить громоздкие расчеты простыми механическими операциями. Точность номограмм достаточна для их использования на практике.

Литература

1. Френкель Н.З. Гидравлика. М., 1956. 2. Хованский Г.С. Методы номографирования. М., 1964.