

# КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ

Стеценко В.Ю. (ТП-08м)\*

Большое влияние на потери давления при движении теплоносителя в технических трубах оказывает коэффициент сопротивления трения  $\lambda$ .

Он может быть рассчитан несколькими способами в зависимости от режима течения и шероховатости трубы. Шероховатость может быть равномерной и неравномерной. Оба вида шероховатости различают по форме выступов, их размерам, промежуткам между ними и т.д. Большинство технических труб характеризуется неравномерной шероховатостью.

Среднюю высоту  $\Delta_0$  выступов называют абсолютной шероховатостью. Отношение средней высоты выступов к гидравлическому диаметру трубы называют относительной шероховатостью  $\bar{\Delta}$ .

Зависимость коэффициента сопротивления  $\lambda$  от числа  $Re$  и  $\bar{\Delta}$ , установленная опытами Никурадзе для стабилизированного течения с неравномерной шероховатостью (рисунок 1), указывает на существование трех основных режимов (областей) протекания потока.

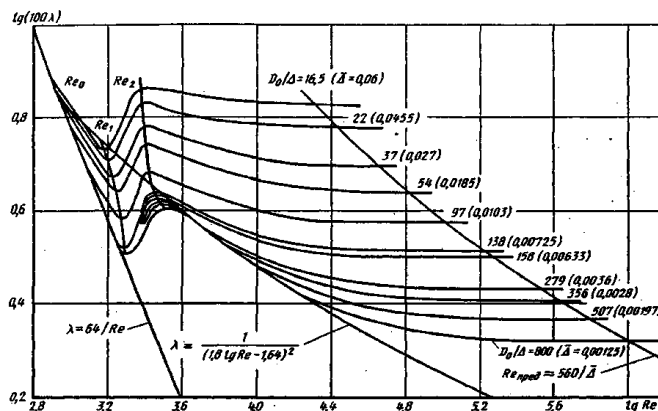


Рисунок 1. Зависимость  $\lambda$  от  $Re$  и  $\bar{\Delta}$  при неравномерной шероховатости, полученная опытным путем

Первый режим, называемый ламинарным, относится к малым значениям чисел  $Re$  (до  $Re \approx 2000$ ) и характеризуется тем, что шероховатость не оказывает никакого влияния на величину  $\lambda$ . По закону Гагена – Пуазейля:

$$\lambda = 64 / Re. \tag{1}$$

При некотором значении  $Re$  кривые сопротивления начинают отклоняться от закона Гагена – Пуазейля в сторону увеличения  $\lambda$ , и чем больше относительная шероховатость, тем раньше наступает это отклонение. Число  $Re$ , соответствующее началу отклонения, можно определить по формуле (2), предложенной Л. А. Самойленко:

$$Re_0 = 754 \exp(0,0065 / \bar{\Delta}). \tag{2}$$

\* Руководитель – доц.кафедры ПТ Пяташкин Г.Г.

Во второй зоне (смены режимов движения) от  $Re_1$  до  $Re_2$  каждому значению  $\bar{\Delta}$  соответствует переходная кривая, имеющая границы  $Re_1$  и  $Re_2$ :

$$Re_1 = 1160(1/\bar{\Delta})^{0,11}, \quad Re_2 = 2090(1/\bar{\Delta})^{0,635}. \quad (3)$$

Коэффициент сопротивления трения технических труб при стабилизированном течении в зоне смены режимов находят по формулам, предложенным Л.А.Самойленко:

$$\text{при } Re_0 < Re < Re_1 \quad \lambda = 4,4 Re^{-0,595} \exp(-0,00275/\bar{\Delta}); \quad (4)$$

$$\text{при } Re_1 < Re < Re_2 \quad \lambda = (\lambda_2 - \lambda^*) \exp\{-[0,0017(Re_2 - Re)]^2\} + \lambda^*, \quad (5)$$

$$\text{где при } \bar{\Delta} \leq 0,007 \quad \lambda^* = \lambda_1; \quad \lambda_1 \approx 0,032; \quad \lambda_2 = 7,244(Re_2)^{-0,643};$$

$$\text{при } \bar{\Delta} > 0,007 \quad \lambda^* = \lambda_1 - 0,0017; \quad \lambda_1 = 0,0775 - \frac{0,0109}{\bar{\Delta}^{0,286}}; \quad \lambda_2 = \frac{0,145}{\bar{\Delta}^{-0,244}}.$$

Для третьей области чисто турбулентного течения ( $Re > 4000$ ) коэффициент сопротивления трения труб можно вычислить по приближенной формуле (6), предложенной А.Д.Альтшулем (рисунок 2,а):

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta} + 68/Re)^{0,25}. \quad (6)$$

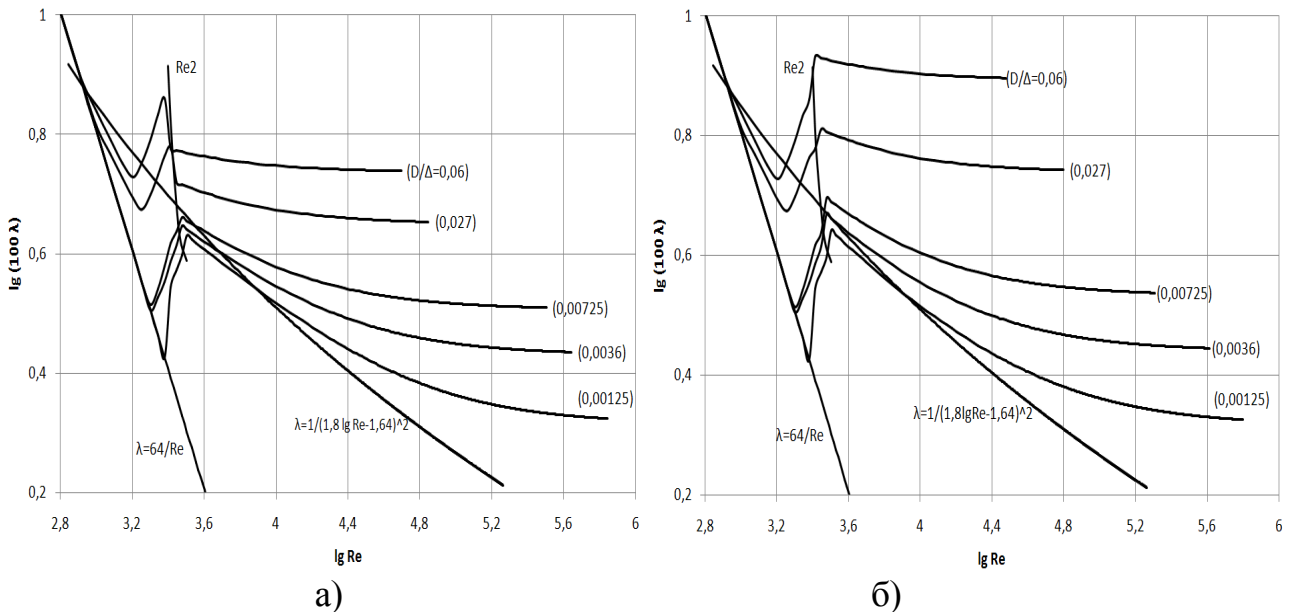


Рисунок 2. Зависимость  $\lambda$  от  $Re$  и  $\bar{\Delta}$  при неравномерной шероховатости, полученная с использованием а) приближенной формулы А.Д.Альтшуля ; б) интерполяционной формулы Кольбука – Уайта

Также для вышеуказанного режима Кольбрук – Уайт предложили интерполяционную формулу (7), по которой были получены кривые (рисунок 2,б):

$$\lambda = 1/\left[21\lg\left(2,51/(Re\sqrt{\lambda}) + \bar{\Delta}/3,7\right)\right]^2. \quad (7)$$

Из проведенного анализа следует, что кривые Кольбука – Уайта (рисунок 2,б) дают некоторый запас в расчетах, т.к. расположены немного выше (на 2 – 4%) аналогичных кривых Альтшуля (рисунок 2,а) и Никурадзе (рисунок 1).