

# Гидродинамика

# План урока:

- 1 Понятие о живом сечении, средней и истинной скорости, расходе. Смоченный периметр и гидравлический радиус.
- 2 Движение равномерное, установившееся и неустановившееся, напорное и безнапорное.
- 3 Ламинарный и турбулентный режим движения жидкости.
- 4 Связь между средней и максимальной скоростью. Опыты Рейнольдса. Границы существования ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости.



**Гидродинамика** — раздел гидравлики, изучающий законы движения жидкости, а также взаимодействия между жидкостью и твердыми телами при их относительном движении.

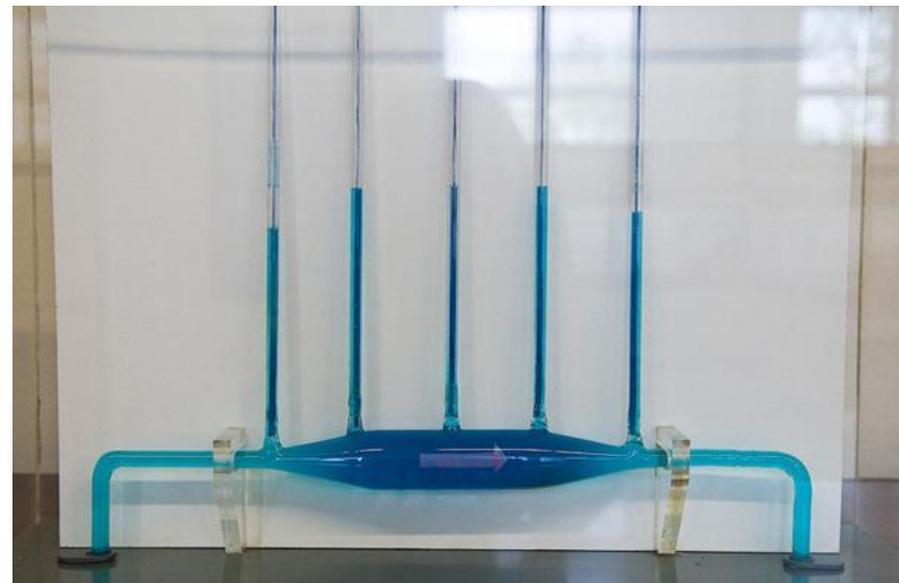
**Гидродинамическое давление — это внутреннее давление, развивающееся при движении жидкости.**

**Гидродинамические характеристики потока**

**Скоростью движения жидкости в данной точке называется скорость перемещения в пространстве частицы жидкости, находящейся в этой точке.**

## Поток и его гидравлические элементы:

Поток жидкости - это непрерывная масса частиц жидкости, движущаяся в определенном направлении.



**Живое сечение потока ( $\text{м}^2$ ,  $\text{мм}^2$ ,  $\text{см}^2$ ) - это площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная к направлению течения.**

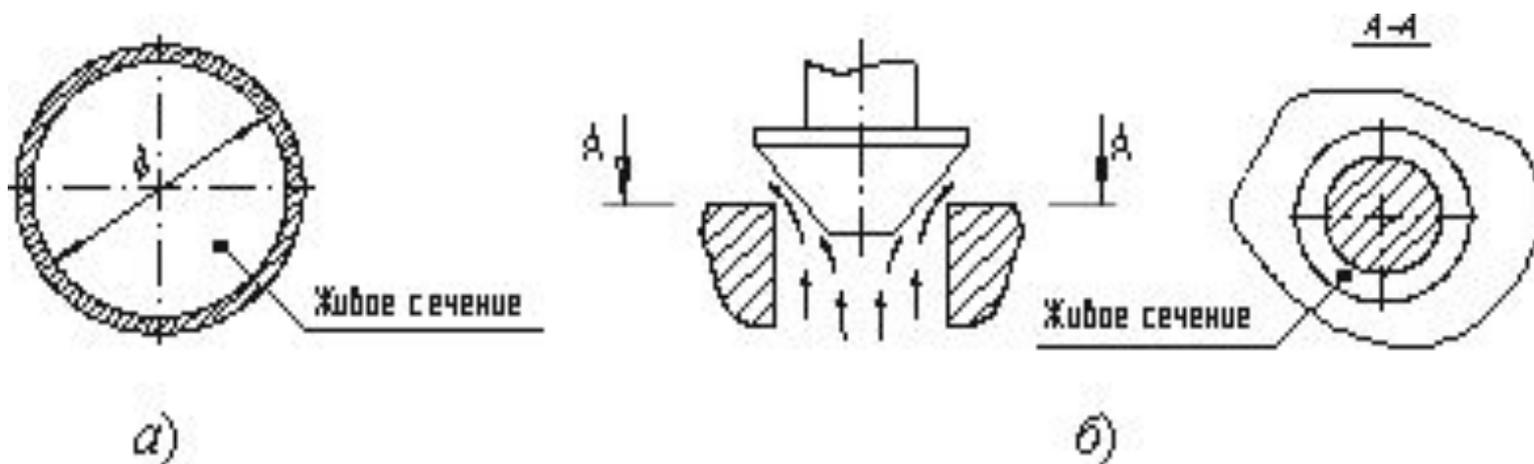
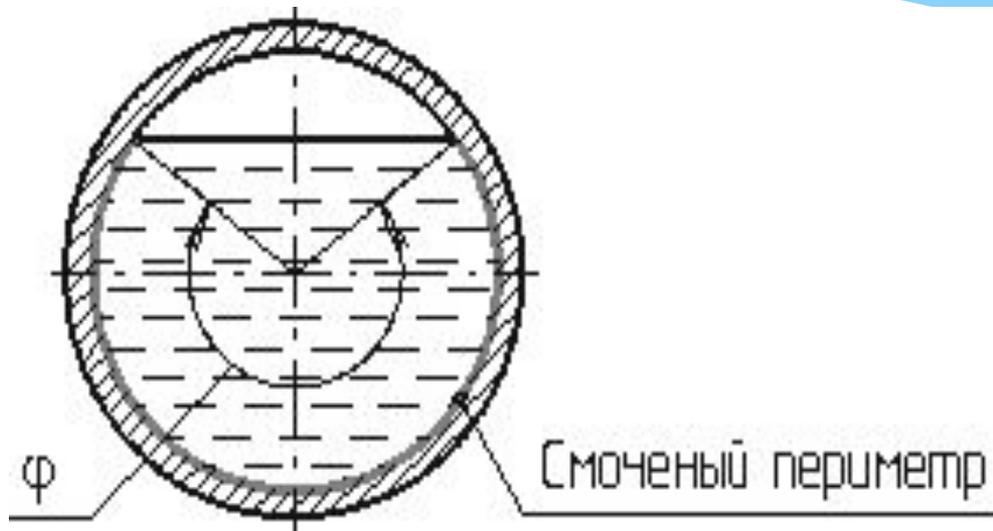


Рисунок 1 - Живые сечения:  
а - трубы, б – клапана



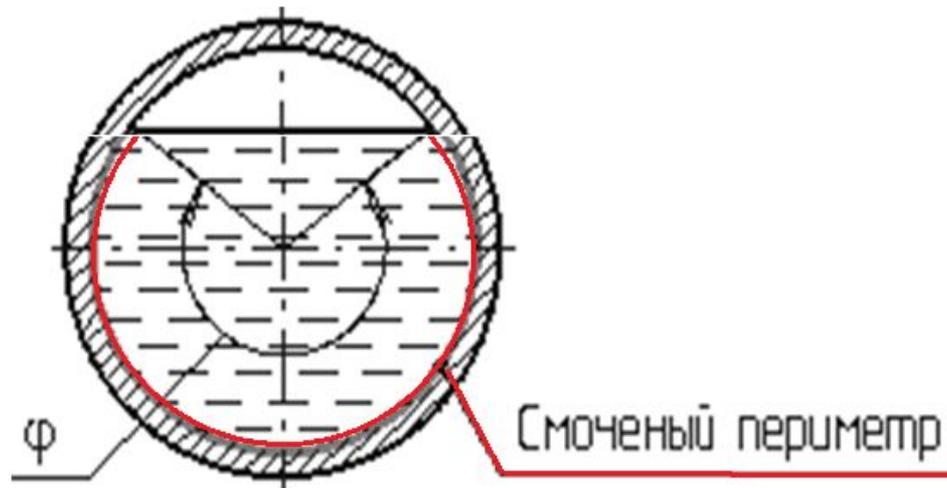
**Смоченный периметр  $\chi$  ("хи") - часть периметра живого сечения, ограниченная твердыми стенками (выделен утолщенной линией).**

# Смоченный периметр

Для круглой трубы если угол в радианах,

$$\chi = \pi D \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{D\varphi}{2}$$

ИЛИ



$$\chi = \pi D \frac{\varphi}{360^\circ}, \text{ если угол } \varphi \text{ в градусах.}$$

**Гидравлический радиус  
потока  $R$  - отношение  
живого сечения к  
смоченному периметру .**

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ (M)}$$

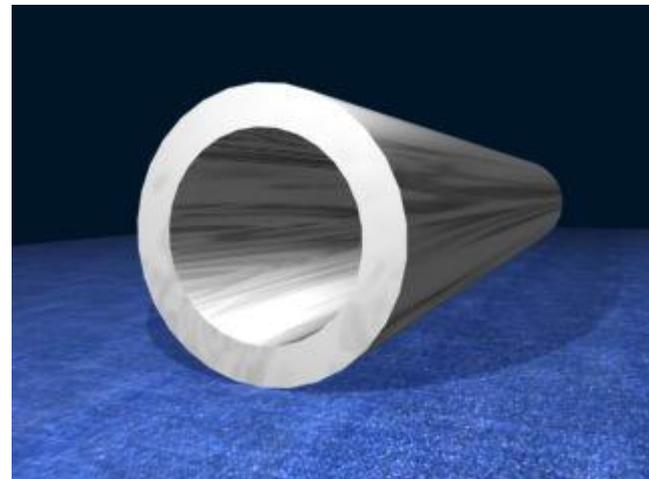
# Эквивалентный диаметр

$d_{\text{э}}$  – равен четырем  
гидравлическим  
радиусам

$$d_{\text{э}} = 4R$$

Для круглых труб:

$$R = d/4, \quad d_{\text{э}} = d$$



Для прямоугольных труб:

$$R = ab/2(a+b),$$

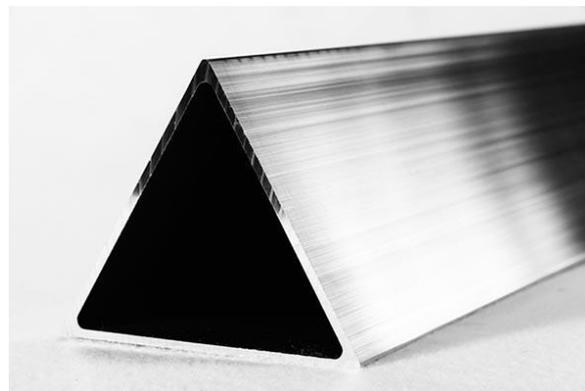
$$d_{\text{э}} = 2ab/a + b$$

для треугольных труб со  
стороной равной «а»

$$\omega = \left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right) a^2$$

$$\chi = 3a, R = a/4\sqrt{3},$$

$$d_{\text{э}} = a/\sqrt{3}$$



**Расход потока  $Q$  - объем  
жидкости  $V$ , протекающей  
за единицу времени  $t$  через  
живое сечение  $\omega$ .**

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (\text{м}^3/\text{с}, \text{ литр}/\text{мин}).$$

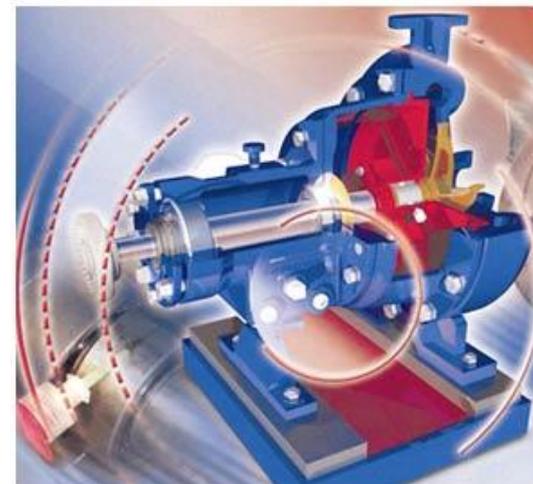
**Средняя скорость потока  $v$  -  
скорость движения жидкости,  
определяющаяся отношением  
расхода жидкости  $Q$  к площади  
живого сечения  $\omega$**

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega}, \quad (\text{м/с})$$

## **2 Движение равномерное, установившееся и неустановившееся, напорное и безнапорное**

# Виды движения жидкости:

**1 Установившееся движение-это движение при котором скорость и давление в любой точке пространства, занятого жидкостью не изменяется с течением времени. (Движение жидкости в трубе, создаваемое насосом, при постоянном числе оборотов рабочего колеса).**



**2 Неустановившееся движение-это движение, при котором скорость и давление в любой точке пространства, занятого жидкостью изменяется с течением времени.(Движение жидкости в трубе, создаваемого поршневым насосом).**

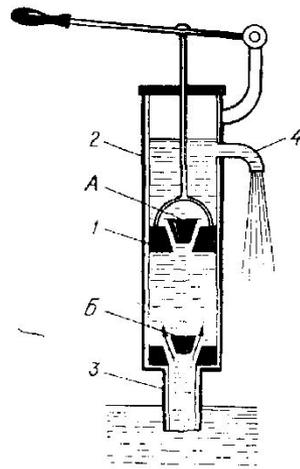


Рис. 49

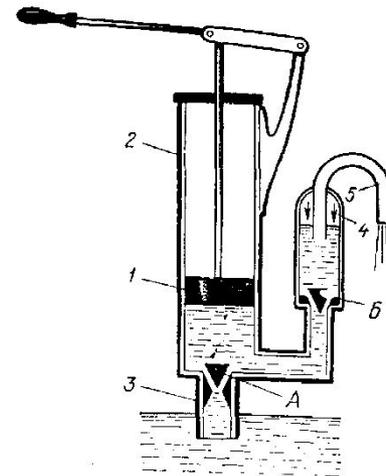
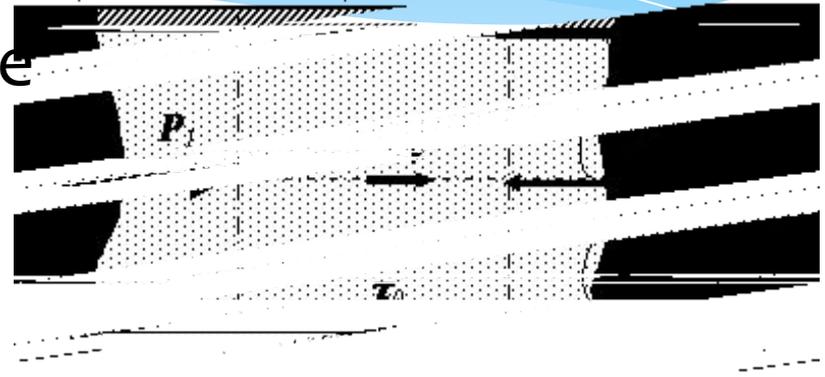


Рис. 50

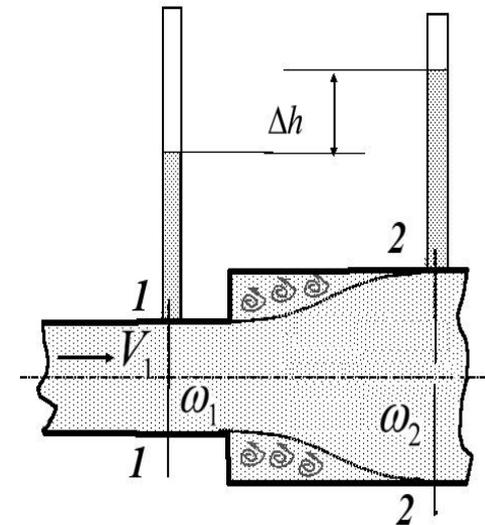
### 3 Равномерное движение

жидкости – установившееся движение, при котором живые сечения и средняя скорость потока не изменяются по его длине (движение жидкости в цилиндрической трубе).

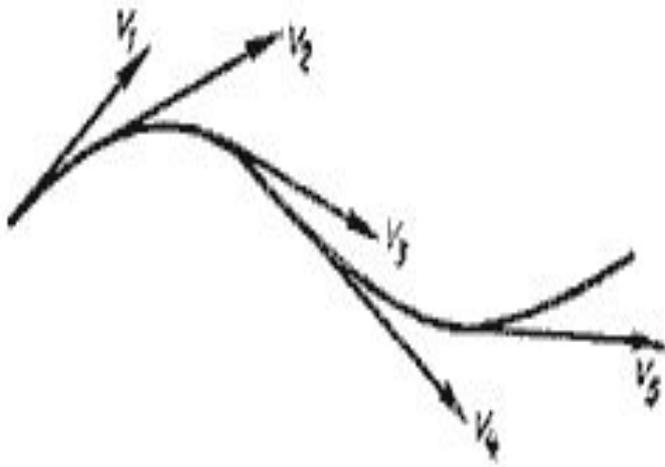


### 4 Неравномерное движение –

установившееся движение, при котором живые сечения и средняя скорость потока изменяется по его длине (движение жидкости в суживающейся или расширяющейся трубе).

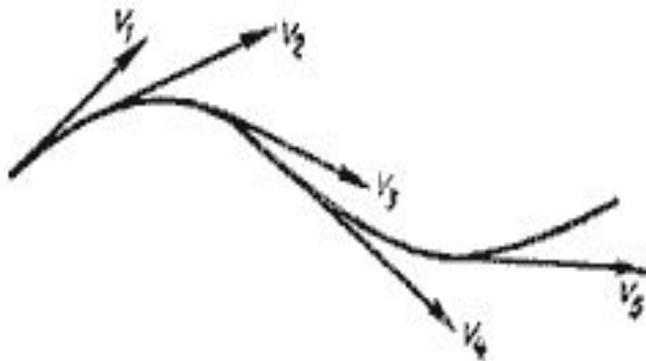


**5 Линия тока** (применяется при неустановившемся движении) это кривая, в каждой точке которой вектор скорости в данный момент времени направлены по касательной.



**Трубка тока** - трубчатая поверхность, образуемая линиями тока с бесконечно малым поперечным сечением.

Часть потока, заключенная внутри трубки тока называется **элементарной струйкой**.

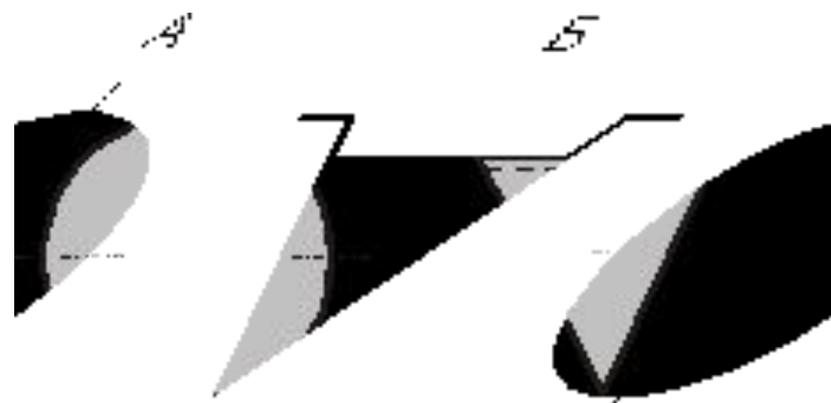


**Напорное течение** наблюдается в закрытых руслах без свободной поверхности. Напорное течение наблюдается в трубопроводах с повышенным (пониженным давлением).



*ламинарный поток Напорный поток 5*

**Безнапорное** - течение со свободной поверхностью, которое наблюдается в открытых руслах (реки, открытые каналы, лотки и т.п.).



*свободный поток Напорный поток*



# **3 Ламинарный и турбулентный режим движения жидкости**

Имеют место два различных по своему характеру режима движения

**Ламинарный  
режим  
движения  
жидкости**

**турбулентный  
режим  
движения  
жидкости**

При **ламинарном** режиме жидкость движется слоями без поперечного перемешивания, причем пульсации скорости и давления отсутствуют.

При ламинарном течении в трубе все линии тока направлены параллельно оси трубы. Ламинарное течение является упорядоченным при постоянном напоре строго установившегося течения.

Ламинарный режим наблюдается преимущественно при движении вязких жидкостей (нефти, смазочных масел и т.п.), и менее вязких жидкостей при их течении с небольшими скоростями.



При **турбулентном** режиме слоистость нарушается, движение жидкости сопровождается перемешиванием и пульсациями скорости и давления.

Движение отдельных частиц оказывается хаотичным, беспорядочным. Наряду с осевым перемещением наблюдается вращательное и поперечное перемещение отдельных объемов жидкости. Этим и объясняются пульсации скоростей и давления.



Критерием для определения режима движения является безразмерное число **Рейнольдса**. Для труб круглого сечения число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re = u \cdot d / \nu;$$

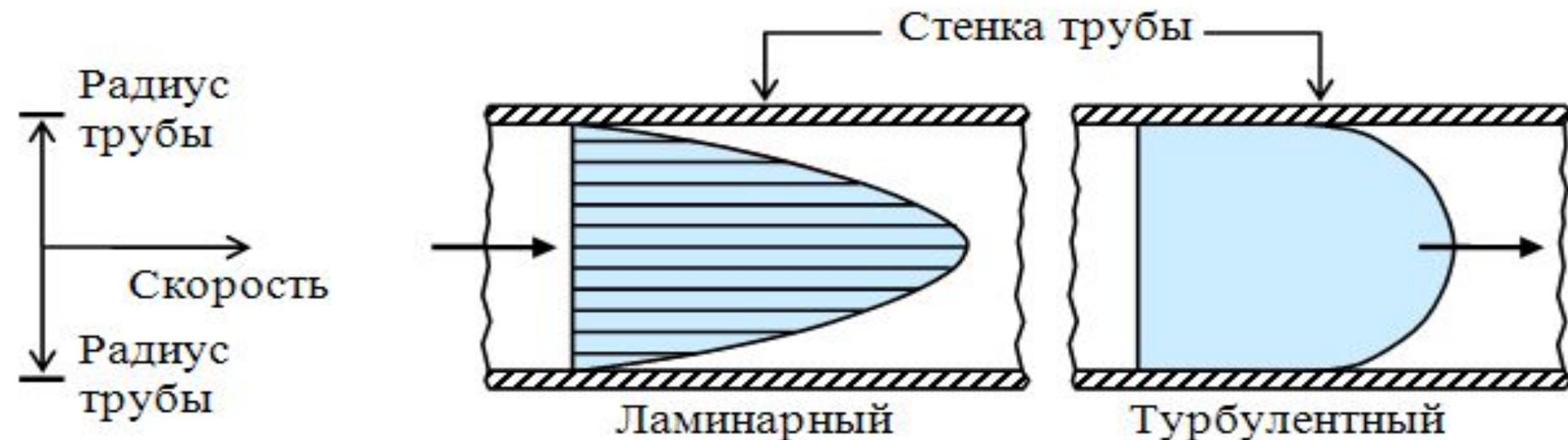
где  $u$  — средняя скорость жидкости;

$d$  — диаметр трубы;

$\nu$  — кинематический коэффициент

вязкости жидкости.

При малой скорости потока в гладкой трубе (число Рейнольдса  $Re < 2300$ ) режим движения жидкости ламинарный, а при высокой скорости ( $Re > 10000$ ) – турбулентный



В диапазоне от  $Re < 2300$  до  $Re > 10000$  режим переходный от ламинарного к турбулентному  
Во всех случаях, даже когда поток в трубе турбулентный, в узком пристенном слое течение ламинарное

