

ГИДРОДИНАМИКА

- **Гидродинамика** (от гидро- и динамика), раздел гидравлики, в котором изучаются движение несжимаемых жидкостей и взаимодействие их с твёрдыми телами.
- ***Кинематика*** жидкости обычно в гидравлике рассматривается совместно с динамикой и отличается от нее изучением видов и кинематических характеристик движения жидкости без учета сил, под действием которых происходит движение, тогда как динамика жидкости изучает законы движения жидкости в зависимости от приложенных к ней сил.

- **Гидродинамическое давление (p)** – это внутреннее давление развивающееся при движении жидкости.
- **Скорость движения жидкости в данной точке (u)** – это скорость перемещения находящейся в данной точке частицы жидкости, определяемая длиной пути l , пройденного этой частицей за единицу времени t .

- Существует два способа изучения движения жидкости - Лагранжа и Л. Эйлера.

- **Способ Лагранжа** заключается в рассмотрении движения каждой частицы жидкости, т. е. *траектории их движения*. В начальный момент времени положение частицы определено начальными координатами ее полюса x_0, y_0, z_0 . При движении частица перемещается и ее координаты изменяются, Движение жидкости определено, если для каждой частицы можно указать координаты x, y и z как функции начального положения (x_0, y_0, z_0) и времени t :

- $x = x(x_0, y_0, z_0, t);$

- $y = y(x_0, y_0, z_0, t);$

- $z = z(x_0, y_0, z_0, t).$

- Переменные x_0, y_0, z_0 и t называют **переменными Лагранжа**.

- **Способ Эйлера** заключается в рассмотрении движения жидкости в различных точках пространства в данный момент времени.
- Метод позволяет определить скорость движения жидкости в любой точке пространства в любой момент времени, т. е. характеризуется построением *поля скоростей* и поэтому широко применяется при изучении движения жидкости.
- В данный момент времени в каждой точке этой области, определяемой координатами x, y, z находится частица жидкости, имеющая некоторую скорость u , которая называется ***мгновенной местной скоростью***.
- Совокупность *мгновенных местных скоростей* представляет векторное поле, называемое ***полем скоростей***.
- *Поле скоростей* может изменяться во времени и по координатам:
- $u_x = u_x(x, y, z, t);$
- $u_y = u_y(x, y, z, t);$
- $u_z = u_z(x, y, z, t).$
- Переменные x, y, z и t называют ***переменными Эйлера***.
- Векторными линиями поля скоростей являются линии тока.

- По характеру изменения поля скоростей во времени движения жидкости делятся на *установившиеся, неуставившиеся и квазистационарное.*
- **Установившееся движение** – движение, при котором, в любой точке потока жидкости скорость (и давление) с течением времени не изменяется, т. е. зависят только от координат точки
- $u_x = u_x(x, y, z).$
- **Неуставившееся движение** – движение, при котором в любой точке потока жидкости скорость с течением времени изменяется, т. е.
- $u_x = u_x(x, y, z, t).$
- **Квазистационарное движение** – движение, при котором изменчивость характеристик движения жидкости в течение выбранного промежутка времени не является существенной, т.е. ее влияние лежит в пределах допускаемой точности решения, и его можно рассматривать как установившееся.

- Установившееся движение жидкости подразделяется на **равномерное и неравномерное**.
- **Равномерным** называется установившееся движение, при котором живые сечения вдоль потока не изменяются: в этом случае $w = \text{const}$ средние скорости по длине потока также не изменяются, т.е.

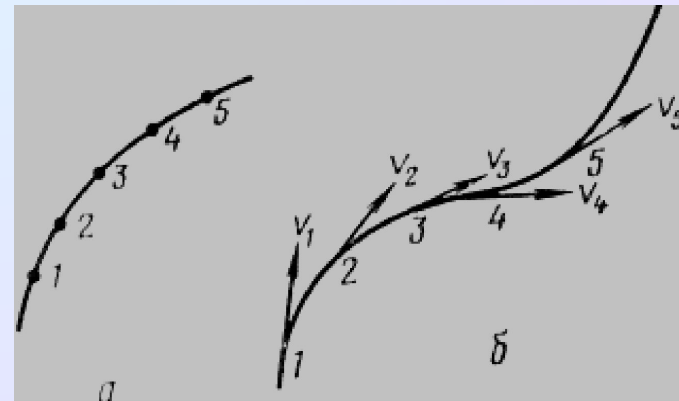
$$v = \text{const}$$

- Установившееся движение называется **неравномерным**, когда распределение скоростей в различных поперечных сечениях неодинаково; при этом средняя скорость и площадь поперечного сечения потока могут быть и постоянными вдоль потока.

- Потоки жидкости по своему характеру подразделяются **на *напорные, безнапорные и гидравлические струи.***
- При ***напорном*** движении поток не имеет свободной поверхности, т. е. соприкасается с твердыми стенками со всех сторон.
- При ***безнапорном*** движении поток имеет свободную поверхность, т. е. он соприкасается с твердыми стенками лишь по части периметра.
- В ***гидравлических струях*** поток окружен со всех сторон свободной поверхностью.

Гидравлические характеристики движения жидкости

- **Траектория движения частицы жидкости** – это путь движения отдельной частицы жидкости в пространстве.
- При *установившемся* движении траектория движения частиц жидкости неизменна по времени.
- При *неустановившемся* движении траектория движения частиц непрерывно меняется по времени, т. к. происходит изменение скорости течения по величине и по направлению.
- **Траектория движения** изображает путь, который проходит частица жидкости за некоторый промежуток времени.



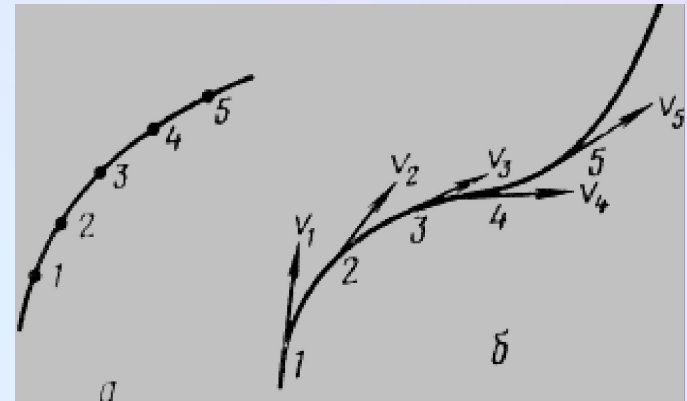
а – траектория движения частиц,
б – линии тока

Гидравлические характеристики движения жидкости

Линия тока – это линия, проведенная через ряд точек в движущейся жидкости таким образом, что в каждой из этих точек векторы скорости в данный момент времени касательны к ней.

Линия тока дает некоторую мгновенную характеристику потока, связывает различные частицы жидкости, лежащие на линии тока в данный момент, и показывает направление вектора скорости частиц в этот момент.

При установившемся движении жидкости траектория движения частиц жидкости совпадает с линией тока.



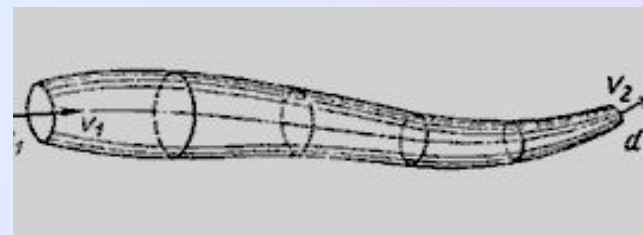
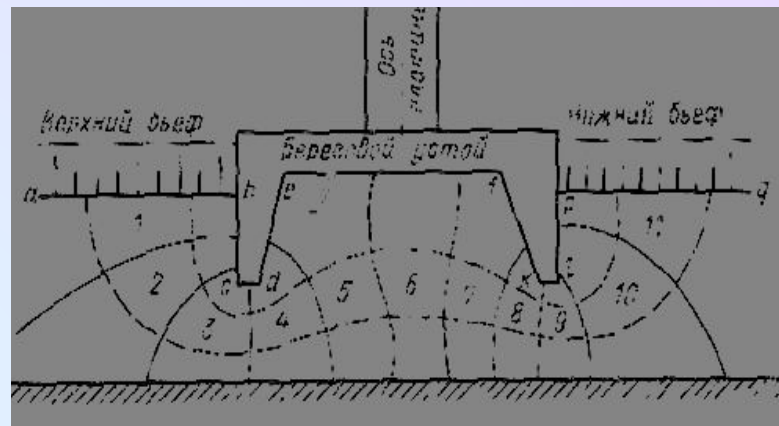
а – траектория движения частиц,
б – линии тока

- **Линии равных напоров** – линии перпендикулярные к линиям тока.

- Проекция линий равных напоров на горизонтальную плоскость представляют собой **карту уровенной поверхности (изогипс, изопьез)**.

- **Гидродинамическая сетка** – система линий равных напоров и перпендикулярных к ним линий тока (рис.)

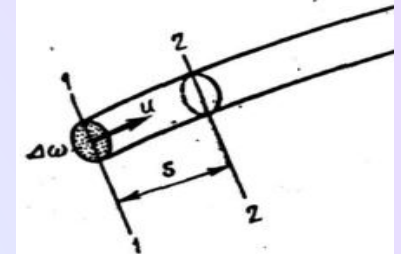
- **Трубка тока** – трубчатая непроницаемая поверхность, которая образуется если в движущейся жидкости взять бесконечно малый замкнутый контур и через все его точки провести линии тока.



■ **Элементарной струйкой** называется часть жидкости, заключенная внутри трубки тока. Элементарная струйка характеризует состояние движения жидкости в данный момент времени t .

■ При установившемся движении элементарная струйка имеет следующие свойства:

- 1. форма и положение элементарной струйки с течением времени остаются неизменными, так как не изменяются линии тока;
- 2. приток жидкости в элементарную струйку и отток из нее через боковую поверхность невозможен, так как по контуру элементарной струйки скорости направлены по касательной;
- 3. скорость и гидродинамическое давление во всех точках поперечного сечения элементарной струйки можно считать одинаковым ввиду малости площади



■ **Потоком жидкости** называется совокупность движущихся с разными скоростями элементарных струек.

- К гидравлическим характеристикам движения жидкости относятся понятия *живого сечения, смоченного периметра, гидравлического радиуса, расхода жидкости и средней скорости.*
- *Живое сечение* (w) – это поперечное сечение потока, перпендикулярное ко всем линиям тока.
- *Например,* в круглой трубке диаметром d , в которой все поперечное сечение занято жидкостью, живое сечение – это площадь круга

- $$w = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2.$$

- **Смоченный периметр** – та часть периметра живого сечения, которая соприкасается с твердыми стенками, образуя смоченную поверхность. Например, для русла вся боковая поверхность потока, за исключением свободной поверхности которую жидкость имеет на границе с газообразной средой.
- Для круглой трубы, работающей полным сечением, смоченный периметр равен длине окружности, т. е..

$$\chi = \pi d, \text{ м}$$

- Для круглой незаполненной трубы если угол в радианах,

$$\chi = \pi d \frac{\varphi}{360^\circ},$$

- или если угол φ в градусах

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



- *Гидравлический радиус* (R) – отношение площади живого сечения к смоченному периметру. Например, для круглой трубы, работающей полным сечением, гидравлический радиус четверти ее диаметра, т. е.

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

■ .

- **Расход жидкости** (Q) – это ее объем, протекающий в единицу времени через живое сечение потока. Расход для элементарной струйки

- $dQ = u dw$,

- где u – истинная скорость движения частиц жидкости, dw – площадь сечения элементарной струйки.

- **Средняя скорость** – отношение расхода к площади живого сечения

- $v = Q/w$,

- откуда

- $Q = wv$, м³/с.