

МЕХАНИКА

Лектор: Жақыпов Әлібек Серікұлы

Тел: +7 705 660 69 63

e-mail: Alibek.Zhakypov@kaznu.edu.kz

10 лекция

«Силы, действующие на жидкость, находящуюся в состоянии равновесия или движения»

Цель лекции: сформировать у студентов представление о силах, действующих на жидкость в покое и движении, о природе вязкости и внутреннего трения, о различии ламинарного и турбулентного течения и роли числа Рейнольдса как критерия режима течения.

Задачи лекции:

1. Рассмотреть массовые и поверхностные силы, действующие на жидкость, и их связь с массой, объемом и площадью поверхности.
2. Ввести понятие вязкости и внутреннего трения, вывести закон вязкого трения Ньютона для сдвигового течения между пластинами.
3. Дать определения динамического и кинематического коэффициентов вязкости и указать их размерности.
4. Объяснить физическую разницу между ламинарным и турбулентным течением вязкой жидкости и их качественные признаки.
5. Ввести число Рейнольдса, показать его физический смысл и критические значения для перехода от ламинарного к турбулентному течению.

Основные понятия и термины:

Массовые и поверхностные силы в жидкости – массовые силы распределены по всему объему жидкости и пропорциональны массе или при однородной жидкости ее объему сюда относятся сила тяжести, инерционные и центробежные силы. Поверхностные силы действуют на площадку раздела и пропорциональны ее площади это нормальные силы давления и сжатия, а также касательные силы трения, возникающие при движении жидкости относительно границы.

Вязкость и закон вязкого трения Ньютона – вязкость свойство реальной жидкости оказывать сопротивление относительно перемещению ее слоев. При сдвиговом течении между двумя параллельными пластинами силы внутреннего трения направлены против относительной скорости слоев. Опыт показывает, что касательное напряжение на единицу площади пропорционально градиенту скорости по нормали к слоям, что и выражает закон вязкого трения Ньютона, в котором динамический коэффициент вязкости характеризует величину этого сопротивления

Ламинарное и турбулентное течение — ламинарное течение упорядоченное слоистое движение, при котором соседние слои жидкости

скользят друг относительно друга без перемешивания, а профиль скорости имеет устойчивый вид например для потока в трубе он параболический. Турбулентное течение характеризуется появлением вихрей и хаотическими траекториями частиц среды, при этом скорость, давление и другие параметры испытывают нерегулярные флуктуации по времени и координатам.

Число Рейнольдса – безразмерная комбинация характеристик потока, включающая скорость, характерный размер и кинематическую вязкость, которая определяет режим течения вязкой жидкости

План лекции

1 Силы, действующие на жидкость в покое и движении массовые и поверхностные силы, их примеры.

2 Вязкость и внутреннее трение определение, опыт со сдвиговым течением между двумя пластинами, прилипание жидкости к стенкам.

3 Закон вязкого трения Ньютона касательное напряжение, градиент скорости, динамический и кинематический коэффициенты вязкости, их размерности.

4 Режимы течения вязкой жидкости ламинарное и турбулентное течение, профили скорости, роль вихрей и перемешивания.

5 Число Рейнольдса определение, физический смысл, критические значения и переход от ламинарного к турбулентному течению, примеры для потока в трубе.

«Силы, действующие на жидкость, находящуюся в состоянии равновесия или движения»

Массовые или объемные силы

пропорциональны массе, а при однородной жидкости и объему.

К этим силам относятся: собственная масса жидкости, силы инерции и центробежные силы.

Поверхностные силы

пропорциональны площади той поверхности, на которую они действуют.

К этим силам относятся:

а) силы нормальные к поверхности жидкости (сжатия, давления, растяжения);

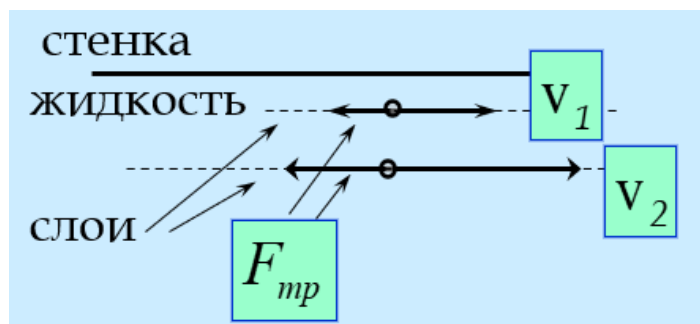
б) касательные (силы трения, возникающие только при движении жидкости).

ВЯЗКОСТЬ это свойство жидкости или газа оказывать сопротивление передвижению ее частиц и характеризующее степень ее текучести и подвижности.

Внутреннее трение. Вязкость. Ламинарное и турбулентное движение жидкостей.

Вязкость – это сопротивление перемещению одного слоя жидкости относительно другого. Характерна для реальных жидкостей (вода, мед, глицерин, масло, кефир).

Вязкость – это сопротивление перемещению одного слоя жидкости относительно другого. Характерна для реальных жидкостей (вода, мед, глицерин, масло, кефир).



При движении слоев возникают силы внутреннего трения, направленные противоположно скоростям. 2-й слой ускоряет 1-й, 1-й тормозит 2-й.

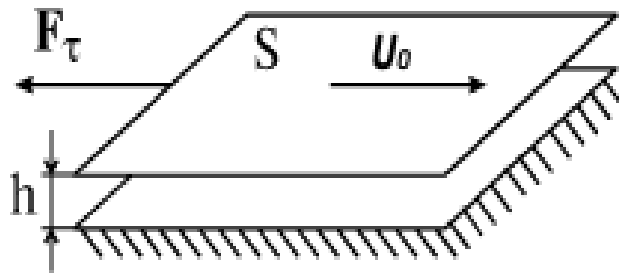
$$F_{\text{тр}} = \eta \left| \frac{dv}{dx} \right| S - \text{модуль силы внутреннего трения.}$$

η - динамическая вязкость, зависит от природы и температуры жидкости.

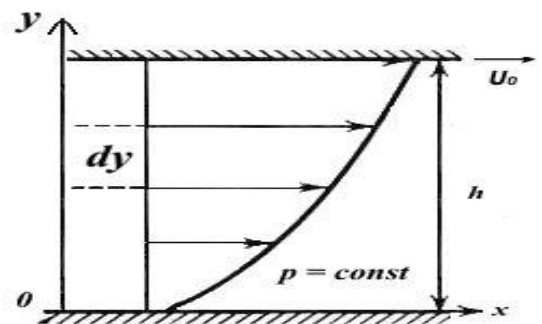
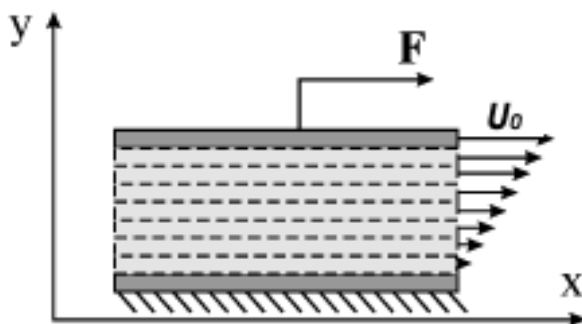
$$[\eta] = 1 \text{ Паскаль} \cdot 1 \text{ секунда}$$

При скольжении друг относительно друга двух параллельных плоскостей, пространство

между которыми заполнено жидкостью, силы вязкого трения препятствуют скольжению



Пусть нижняя пластина неподвижна, а верхняя движется со скоростью U_0 .



Расстояние между пластинами h .

Давление – постоянное: $p = \text{const}$.

Опыт показывает,

что жидкость прилипает к пластинам

скорость жидкости на нижней пластине равна $u=0$,

скорость жидкости на на верхней равна – $u=U_0$.

В пространстве между пластинами имеет место линейное распределение скоростей т.е. скорость течения пропорциональна расстоянию y от нижней пластины.

$$u(y) = \frac{y}{h} U_0 \quad (10.1)$$

Со стороны верхней пластины к жидкости должна быть приложена касательная сила

в направлении движения, которая уравнивает силу трения жидкости.

Опыт показывает, что эта сила пропорциональна скорости движения верхней пластины U_0 и обратно пропорциональна расстоянию h между пластинами:

$$\tau \sim \frac{U_0}{h}$$

Из (10.1) следует:

$$\frac{U_0}{h} = \frac{u(y)}{y} \quad \text{или} \quad \frac{u(y)}{y} \sim \frac{du}{dy} \quad \text{Тогда} \quad \tau \sim \frac{du}{dy}$$

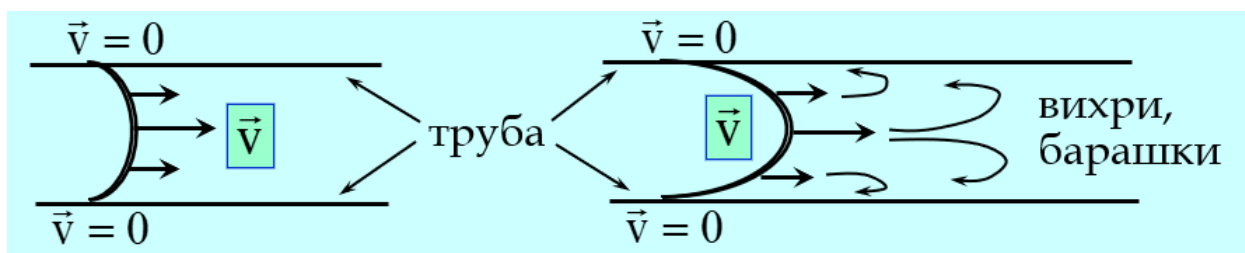
$\tau = \mu \frac{du}{dy}$ - закон трения Ньютона.

Динамический коэффициент вязкости – μ . $[\mu] = [\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2]$ или $[\text{Па} \cdot \text{с}]$.

Кинематический коэффициент вязкости – ν . $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ $[\nu] = [\text{м}^2/\text{с}]$.

Жидкость может течь в двух режимах:

1. При малых V – ламинарное (слоистое, без перемешивания)
2. При больших V – турбулентное (вихревое).



Ламинарное течение. Жидкость не перемешивается, профиль скорости – парабола.

Турбулентное течение. Образуются вихри, интенсивное перемешивание, профиль – сложен.

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Ламинарное течение – лат. *Lamina* – полоска

упорядоченное течение вязкой жидкости или газа, характеризующееся отсутствием перемешивания между соседними слоями. Существование ламинарного течения возможно только до определенного, критического значения числа Рейнольдса, после чего течение переходит в турбулентное течение.

Турбулентное течение – лат. *Turbulentus* – беспорядочный

течение жидкости или газа, при котором частицы совершают неупорядоченные, хаотические движения по сложным траекториям, а скорость, температура, давление и плотность среды испытывают хаотические изменения.

Критерием перехода от ламинарного к турбулентному течению служит число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{\text{ср.}} \cdot d}{\eta} = \frac{v_{\text{ср.}} \cdot d}{\nu}$$

Где: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость

d – характерный масштаб (диаметр).

При: $Re < 1000$ – ламинарное течение,

$1000 < Re < 2000$ переход от ламинар. к турб.

$Re > 2000$ – турбулентное течение.

Число Рейнольдса позволяет моделировать гигантские трубы малыми. Это можно делать если одинаково число Рейнольдса.

Переход ламинарного течения в турбулентное происходит при определенном значении Числа Рейнольдса Re .

Число Рейнольдса, Re – это безразмерная комбинация величин, характеризующих движение тела в вязкой среде или течение вязких жидкостей

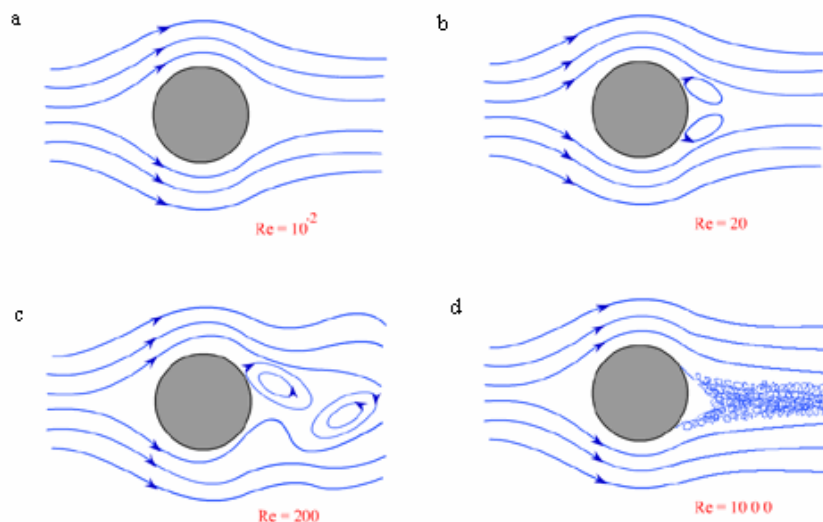
$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} \text{ - Число Рейнольдса}$$

Физический смысл числа Рейнольдса:

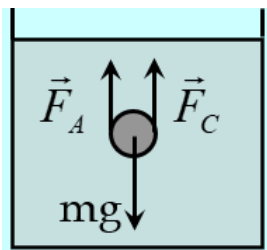
ламинарное течение $Re \ll Re_{кр}$

турбулентное течение $Re \gg Re_{кр}$.

Для течения вязкой несжимаемой жидкости по круглой цилиндрической трубе $Re_{кр} = 2300$.



- a) ламинарный режим, $Re < 1$;
 b) первая стадия неустойчивости, $1 < Re < 40$;
 c) вторая стадия неустойчивости (вихревая дорожка), $Re > 40$;
 d) развитая турбулентность, $Re > 10^3$.



$$mg = F_A + F_C$$

Тогда измеряя скорость получаем вязкость:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ш} g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ж} g + 6\pi \eta r v$$

$$\eta = \frac{2(\rho_{ш} - \rho_{ж})gr^2}{9v}$$

Контрольные вопросы

1. Какие силы называют массовыми и какие поверхностными как они зависят от объема и площади поверхности жидкости
2. Дай определение вязкости и объясни, как формулируется закон вязкого трения Ньютона для слоев жидкости между параллельными пластинами
3. Чем отличаются динамический и кинематический коэффициенты вязкости какие размерности они имеют
4. По каким признакам можно отличить ламинарное течение вязкой жидкости от турбулентного как меняется профиль скорости при переходе между этими режимами
5. Запиши выражение для числа Рейнольдса и поясни, какие значения соответствуют ламинарному, переходному и турбулентному течению в круглой трубе

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1990.- 478 с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики М.: Высш. шк., 1989.- 608 с.
3. Савельев И.В. Общий курс физики. Т1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1988.- 416 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Наука, 1985.
5. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.1,2,3.-М.: Наука, 1974,1980
6. Сивухин Д.В. Курс общей Физики. – М.: Наука, 1986. Т. 1.