

МЕХАНИКА

Лектор: Жақыпов Әлібек Серікұлы

Тел: +7 705 660 69 63

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

9 лекция «Жидкость»

Цель лекции: сформировать у студентов понимание основных понятий механики жидкости идеальной и реальной, давления в жидкости, уравнения неразрывности и уравнения Бернулли как выражения закона сохранения энергии потока несжимаемой жидкости.

Задачи лекции:

1. Ввести понятие жидкости как сплошной среды и различие между идеальной и реальной жидкостью.
2. Объяснить физический смысл сжимаемости и условия, при которых жидкость можно считать несжимаемой.
3. Рассмотреть определение давления в жидкости и получить выражение гидростатического давления, связанного с глубиной.
4. Ввести линию тока и трубку тока и на их основе получить уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости.
5. Записать и проанализировать уравнение Бернулли для установившегося течения идеальной жидкости, выделив статическое, динамическое и гидростатическое давления.

Основные понятия и термины:

Жидкость и сжимаемость – жидкость агрегатное состояние вещества, обладающее текучестью и способное изменять форму под действием внешних сил. Реальная жидкость может быть сжимаемой или несжимаемой. Сжимаемость характеризует способность уменьшать объем под действием внешнего давления, мерой служит относительное изменение плотности под действием давления..

Сплошная среда – сплошная изменяемая среда модель, при которой при описании движения можно пренебречь молекулярным строением вещества и считать параметры непрерывно распределенными.

Число Кнудсена — критерием применимости этой модели служит число Кнудсена отношение длины свободного пробега молекул к характерному размеру задачи. При малых значениях числа Кнудсена среда рассматривается как сплошная, при больших нужен молекулярно кинетический подход.

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости – соотношение, выражающее сохранение объема потока в установившемся течении несжимаемой жидкости внутри трубки тока. Для двух сечений трубки

выполняется равенство произведений скорости на площадь сечения, что отражает неизменность расхода потока вдоль трубки

Уравнение Бернулли – выражение закона сохранения энергии для идеальной несжимаемой жидкости в установившемся течении вдоль одной трубки тока.

План лекции

1 Понятие жидкости. Идеальная и реальная жидкость. Свойства вязких и невязких жидкостей.

2 Сплошная среда и число Кнудсена. Область применимости механики сплошной среды.

3 Сжимаемость и несжимаемость жидкости. Плотность и изменение объема под действием давления.

4 Давление в жидкости. Гидростатическое давление столбика жидкости, зависимость от глубины. Формулировка закона Архимеда.

5 Линии тока и трубка тока. Установившееся течение. Вывод уравнения неразрывности для несжимаемой жидкости.

6. Энергетический подход к течению жидкости. Вывод и анализ уравнения Бернулли, статическое, динамическое и гидростатическое давления. Применение к горизонтальной трубке тока.

«Жидкость»

Жидкость – агрегатное состояние вещества, промежуточное между твёрдым и газообразным состояниями.

Это тело, обладающее свойством текучести, легкой подвижностью, способное изменять свою форму под воздействием внешних сил и температурных изменений.

Идеальные

невязкие (совершенные) жидкости обладают: абсолютной подвижностью, абсолютной неизменностью в объеме под воздействием внешних сил.

Реальные

вязкие жидкости обладают: сжимаемостью, сопротивлением, растягивающим и сдвигающим усилиями, вязкостью

Идеальной жидкости в природе не существует, она является моделью реальной жидкости.

Сплошность среды

Сплошная изменяемая среда – это понятие применимо, когда при изучении движения изменяемой среды можно пренебречь молекулярной структурой среды.

Число Кнудсена – критерий сплошности среды

$$K = \frac{\lambda}{L}$$

$$\lambda \sim \frac{1}{\rho}$$

длина свободного пробега молекул в рассматриваемом веществе

L - пространственный масштаб исследуемого явления

При малых значениях числа Кнудсена ($0,01 < K < 0,1$) – среда сплошная (технические течения в лабораторных условиях на Земле). Уравнения механики сплошной среды.

При больших значениях числа Кнудсена ($K > 3$) – среда не сплошная (движение баллистических ракет, спутников). Наступает режим «свободно - молекулярного течения газа». Необходимо учитывать молекулярную структуру. Уравнения молекулярно-кинетическую теорию вещества.

Сжимаемость

способность жидкости уменьшать свой объем под действием сил внешнего давления.

Жидкость может быть
сжимаемой
несжимаемой

$$\rho \neq const$$

$$\rho = const$$

Мера сжимаемости среды - относительное изменения плотности среды под действием всех сторонних сил давления p .

Механика жидкостей.

Основные понятия. Давление. Уравнение неразрывности.

$$\frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Раздел механики, изучающий движение жидкости и газа называется гидродинамикой.

Движение жидкости называют течением, а движущуюся жидкость – потоком.

Считаем, что плотность жидкости не зависит от давления (несжимаемая жидкость).

Физическая величина, определяемая нормальной силой, действующей со стороны жидкости на единицу площади называется давлением жидкости.

$$P = F/S$$

$$P_1 = P_2$$

иначе движение

Вес столбика жидкости:

$$F_{тяж} = m_{ж} g = \rho_{ж} V g = \rho_{ж} g \cdot Sh$$

Давление на нижнее основание столбика жидкости:

$$P = F_{тяж}/S = \frac{\rho_{ж} g Sh}{S} = \rho_{ж} g h$$

- гидростатическое давление (чем глубже, тем оно больше (уши в бассейне)).

По 3-му закону Ньютона остальная жидкость в сосуде действует на столбик с силой, называемой выталкивающей:

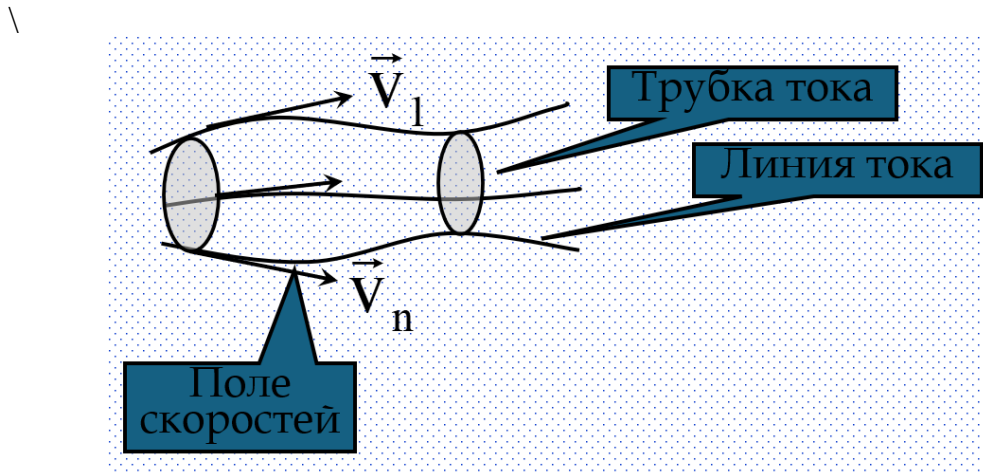
$$F_{выт} = m_{ж} g = \rho_{ж} g V$$

- Закон Архимеда

Движущуюся жидкость изображают с помощью линий тока (метод Эйлера), т.е. задают поле скорости $\vec{V} = \vec{V}(\vec{r}, t)$

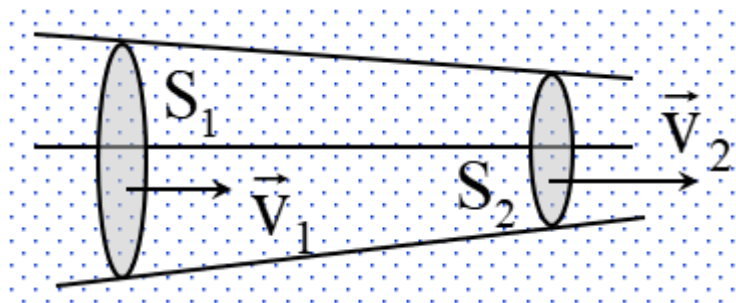
Часть жидкости, ограниченная линиями тока называется трубкой тока. Через боковую поверхность трубки тока жидкость не течет. В установившемся режиме скорость не зависит от времени, т.е.

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$$



Рассмотрим трубку тока. Рассмотрим трубку тока.

$$dV_1 = S_1 v_1 dt \text{ т.к. } h = v_1 dt$$



В случае несжимаемой жидкости через сечение S_2 за то же время пройдет тот же объем

$$dV_2 = S_2 v_2 dt \quad dV_1 = dV_2$$

$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{const}$ - уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости.

$$E_1 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 \quad E_2 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$$

$$E_1 - E_2 = F_1 l_1 + F_2 l_2 = P_1 S_1 l_1 - P_2 S_2 l_2$$

$$E_1 - E_2 = P_1 S_1 v_1 dt - P_2 S_2 v_2 dt$$

$$E_1 + P_1 S_1 v_1 dt = E_2 + P_2 S_2 v_2 dt$$

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 S_1 v_1 dt = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 S_2 v_2 dt$$

$$m = \rho \cdot V \text{ Разделим на } dV \quad dV = Sl = S_1 v_1 dt = S_2 v_2 dt$$

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + P_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + P_2 \quad \text{Либо в итоге:}$$

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$$

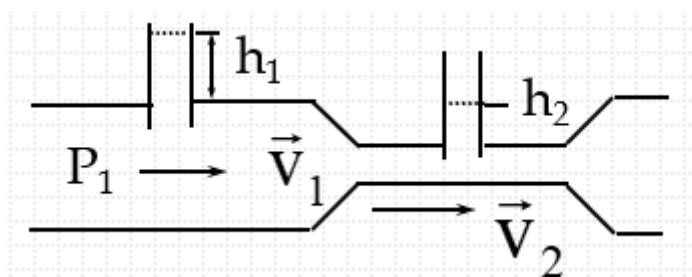
Уравнение Бернулли (закон сохранения энергии для идеальной жидкости в установившемся режиме).

Где: P - статическое давление. Оно соответствует давлению без движения жидкости;

$\frac{\rho v^2}{2}$ - динамическое давление, связано с движением жидкости;

ρgh - гидростатическое давление, связано с разными уровнями жидкости (аналог потенциальной энергии).

Для горизонтальной трубки тока:



$$\frac{\rho v^2}{2} + P = \text{const} \Rightarrow v_2 > v_1$$

$$P_2 < P_1 \Rightarrow h_1 > h_2$$

Контрольные вопросы

1. Дай определение жидкости как сплошной среды и укажи, чем идеальная жидкость отличается от реальной.
2. Что называют сжимаемостью жидкости и при каком условии ее можно считать несжимаемой в задачах гидродинамики
3. Как определяется давление в покоящейся жидкости и от каких величин зависит гидростатическое давление на заданной глубине
4. Сформулируй уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости и объясни физический смысл произведения скорости на площадь сечения потока
5. Запиши уравнение Бернулли вдоль трубки тока и поясни, какие три вида давления в нем выделяют и с какими видами энергии они связаны

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.