

Тема 3 Гидродинамика. Часть I

3.1 Кинематика жидкостей и газов

План лекции

1. Установившееся и неуставившееся движение жидкости
2. Струйная модель движущейся жидкости
3. Равномерное и неравномерное движение
4. Гидравлические элементы потока
5. Уравнение неразрывности потока

Краткое содержание лекции

Установившимся называют такое движение жидкости, при котором скорость потока и давление в любой его точке не изменяются с течением времени и зависят только от ее положения в потоке, т. е. являются функциями ее координат. Примерами установившегося движения могут служить истечение жидкости из отверстия резервуара при постоянном напоре, а также поток воды в канале при неизменном его сечении и постоянной глубине.

Неустановившимся называют такое движение жидкости, при котором скорость движения и давление в каждой данной точке изменяются с течением времени, т. е. являются функциями не только координат, но и времени. Примером неустановившегося движения служит истечение жидкости из отверстия резервуара при переменном напоре.

Линия тока, характеризуется тем, что в данный момент времени во всех ее точках векторы скоростей будут касательными к ней.

Элементарная струйка. Если в движущейся жидкости выделить бесконечно малый замкнутый контур и через все его точки провести линии тока, соответствующие данному моменту времени, получится как бы трубчатая непроницаемая поверхность, называемая трубкой тока. Масса жидкости, движущейся внутри трубки тока, образует элементарную струйку.

Поток. Совокупность элементарных струек, представляющая собой непрерывную массу частиц, движущихся по какому-либо направлению, образует поток жидкости. Поток может быть полностью или частично ограничен твердыми стенками, например в трубопроводе или канале, и может быть свободным, например струя, выходящая из сопла гидромонитора.

Живым сечением потока S называют поперечное сечение потока, перпендикулярное его направлению.

Расходом потока Q называют объем жидкости, проходящей в единицу времени через живое сечение потока. Расход жидкости измеряют в м³/сек или в л/сек.

Смоченным периметром χ называют часть периметра живого сечения, на которой жидкость соприкасается с твердыми стенками.

Гидравлическим радиусом R называют отношение площади живого сечения потока к смоченному периметру:

$$R_s = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.1)$$

Средней скоростью потока v называют частное от деления расхода потока на площадь его живого сечения, т. е.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (3.2)$$

Равномерным называют такое установившееся движение жидкости, при котором живые сечения и средняя скорость потока не меняются по его длине. Примером равномерного движения служит движение жидкости в цилиндрической трубе или в канале неизменного сечения и постоянной глубины.

Неравномерным называют такое установившееся движение жидкости, при котором живые сечения и средние скорости потока изменяются по его длине. Примером неравномерного движения служит движение жидкости в конической трубе, в естественном русле, на перепаде.

Напорным называется поток, у которого по всему периметру живого сечения жидкость соприкасается с твердыми стенками. Примером напорного потока может служить движение воды в водопроводных трубах.

Безнапорным называется поток со свободной поверхностью. Примером безнапорного потока служит движение воды в реках, каналах и канализационных трубах.

Уравнение неразрывности потока

$$Q_1 = Q_2 = Q = \text{const.} \quad (3.3)$$

Так как $Q = v\omega$, то уравнение (1) может быть записано таким образом:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = Sv = \text{const.} \quad (3.4)$$

Рекомендуемая литература

1. Б. Т. Емцев. Техническая гидромеханика М.: Машиностроение, 1987.
2. В.Г. Гейер и др. Гидравлика и гидропривод. М.:Недра, 1991.
3. Под редакцией С.П.Стесина. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод М.: ACADEMIA, 2005

Контрольные задания для СРС

1. Определение периметра смачивания и гидравлического радиуса сечения.
2. Определение расхода и средней скорости жидкости.
3. Применение уравнения неразрывности к решению задач.

3.2 Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли

План лекции

1. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости
2. Уравнение Бернулли для реальной жидкости
3. Геометрическое и энергетическое толкование уравнения Бернулли
4. Построение пьезометрических линий и линий полного напора
5. Основы теории подобия

Краткое содержание лекции

Для всех сечений потока можно записать:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + h_{\text{пот}} = \text{const}, \quad (3.5)$$

где

z – расстояние от плоскости сравнения до центра тяжести сечения;

p – давление в центре тяжести этого сечения;

v – средняя скорость в этом сечении потока;

$h_{\text{пот}}$ – удельная энергия, затраченная на преодоление сопротивлений от начального до рассматриваемого сечения.

Удельная энергия потока в любом его сечении равна:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Уравнение (4.1) носит наименование *уравнения Бернулли*.

Все члены уравнения Бернулли имеют линейную размерность, поэтому каждый из них может называться высотой.

Геометрический смысл уравнения Бернулли может быть сформулирован так: *при установившемся движении жидкости сумма четырех высот (высоты положения, пьезометрической высоты, высоты, соответствующей скоростному напору, и высоты, соответствующей потерям напора) остается неизменной вдоль потока.*

Энергетический смысл уравнения Бернулли можно формулировать следующим образом: *при установившемся движении жидкости сумма четырех удельных энергий (энергии положения, энергии давления, кинетической энергии и потерь энергии) остается неизменной вдоль потока.*

Основы теории подобия

Условием геометрического подобия потоков является соблюдение между их линейными размерами L и l , площадями Ω и ω , объемами W и w таких соотношений:

$$\frac{L}{l} = \lambda; \quad \Omega = \lambda^2 \text{ и } \frac{W}{w} = \lambda^3, \quad (3.6)$$

где λ – линейный масштаб моделирования.

Для кинематического подобия потоков, кроме геометрического подобия, необходимо соблюдение такого соотношения в соответствующих точках:

$$\frac{T}{t} = \tau, \quad (3.7)$$

где τ – масштаб моделирования времени.

Условием динамического подобия потоков, кроме их геометрического и кинематического подобия, является соблюдение постоянства отношения между плотностями жидкости потоков:

$$\frac{p_1}{p_2} = r, \quad (3.8)$$

где p_1 и p_2 – плотности жидкости первого и второго потоков;
 r – масштаб моделирования плотности.

Рекомендуемая литература

1. Б. Т. Емцев. Техническая гидромеханика М.: Машиностроение, 1987.
2. В.Г. Гейер и др. Гидравлика и гидропривод. М.:Недра, 1991.
3. Под редакцией С.П.Стесина. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод М.: ACADEMIA, 2005

Контрольные задания для СРС

1. Определение напора в трубе.
2. Определение давления, скорости жидкости.
3. Определение расхода жидкости в трубе.
4. Графическое изображение полного и пьезометрического напоров.

3.3 Режимы течения. Потери напора

План лекции

1. Потери напора по длине. Коэффициент гидравлического сопротивления
2. Местные потери напора. Понятие об эквивалентной длине
3. Режимы движения жидкости
4. Понятие о гидравлически гладких и шероховатых трубах

Краткое содержание лекции

Потери напора (энергии) потока вызываются сопротивлениями двух видов:

- 1) сопротивлениями по длине, обусловленными силами трения;
- 2) местными сопротивлениями, обусловленными изменениями скорости потока по величине и направлению.

Потери напора по длине трубопровода обычно определяют по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_1 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3.9)$$

а местные потери – по формуле Вейсбаха

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (3.10)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);
 l – длина трубопровода;
 d – диаметр трубопровода;
 v - средняя скорость потока;
 ζ - коэффициент местного сопротивления.

Коэффициенты λ и ξ безразмерны. Экспериментальные исследования показали, что эти коэффициенты зависят от многих факторов, в частности, от режима движения и шероховатости стенок.

Режимы движения жидкости. Поток жидкости в трубке может характеризоваться двумя режимами: 1) *ламинарным* (параллельноструйным) и 2) *турбулентным* (беспорядочным).

Для определения режима движения жидкости служит безразмерный параметр Re (число Рейнольдса):

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (3.11)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости.

Число Рейнольдса, при котором ламинарный режим переходит в турбулентный, называют *критическим*. По исследованиям Рейнольдса $Re_{кр}=2320$. При $Re < 2320$ движение жидкости происходит при ламинарном режиме, при $Re > 2320$ движение жидкости происходит при турбулентном режиме. Скорость, соответствующую критическому числу Рейнольдса, называют *критической скоростью*:

$$v_{кр} = \frac{2320 \cdot \nu}{d} \quad (3.12)$$

При безнапорном движении жидкости число Рейнольдса определяют по формуле:

$$Re = \frac{4\nu R_z}{\nu}, \quad (3.13)$$

где R_z – гидравлический радиус. При этом движении $Re_{кр}=580$.

Рекомендуемая литература

1. Б. Т. Емцев. Техническая гидромеханика М.: Машиностроение, 1987.
2. В.Г. Гейер и др. Гидравлика и гидропривод. М.:Недра, 1991.
3. Под редакцией С.П.Стесина. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод М.: ACADEMIA, 2005

Контрольные задания для СРС

1. Определение потерь напора и давления в трубопроводе.
2. Определение режима движения жидкости.
3. Определение коэффициента гидравлического сопротивления.