Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!
Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его
сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя
всю ответственность, согласно действующему
международному законодательству .
Все авторские права на данный файл
сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование
кроме предварительного ознакомления
запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

1. Исторический очерк
2. Жидкие и твердые тела
3. Капельные и газообразные жидкости
4. Плотность, удельный вес, динамическая и кинематическая вязкость
5. Кавитация, газонаполнение, кипение, испарение
6. Силы, действующие на покоящуюся жидкость
7. Гидростатическое давление
8. Уравнение Эйлера для равновесия жидкости
9. Равновесие жидкости под действием силы тяжести
10. Основное уравнение гидростатики, энергетический и геометрический смысл
11. Полное и манометрическое давление, вакуум, пьезометрическая и вакуумметрическая высота
12. Давление жидкости на плоскую стенку
13. Центр давления и его местонахождение
14. Давление жидкости на криволинейную цилиндрическую поверхность
15. Закон Архимеда, плавание тел
16. Местная скорость, ее полная производная и составляющие
17. Линия тока, элементарная струйка, вихревые линия и трубка
18. Поток жидкости
19. Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости
20. Уравнение неразрывности движения для элементарной струйки и потока жидкости
21. Уравнение Бернулли для элементарной струйки
22. Лемма о распределении гидродинамического давления в плавно изменяющемся движении
23. Уравнение Бернулли для потоков вязкой и невязкой жидкостей
24. Энергетический и геометрический смысл уравнения Бернулли для потока жидкости
25. Условия применения уравнения Бернулли
26. Уравнение количества движения для установившегося потока
27. Виды потерь энергии и их определение
28. Опыты Рейнольдса для двух режимов жидкости
29. Критические скорости и числа Рейнольдса
30. Зависимость потерь напора от режимов движения жидкости
31. Гидравлически гладкие, переходные и шероховатые поверхности
32. Определение потерь напора по длине
33. Отверстия и истечения из них
34. Истечение из малых отверстий в тонкой стенке при постоянном напоре
35. Насадки, скорость и расход при истечении жидкости через насадки при постоянном напоре
36. Классификация труб, скорость и расход при истечении жидкости из очень коротких труб при постоянном напоре
37. Истечение жидкости из малых отверстий при переменном напоре
38. Определение времени опорожнения сосудов при постоянном напоре
39. Истечение жидкости через большие отверстия при постоянном напоре в резервуаре
40. Истечение жидкости через большие прямоугольные отверстия при постоянном напоре
41. Гидравлический расчет труб (особенности расчета длинных труб)
42. Равномерное движение в призматических и цилиндрических напорных трубах
43. Расчет длинных трубопроводов
44. Расчет сложных параллельно соединенных трубопроводов
45. Расчет сложных разветвленных трубопроводов
46. Расчет насосной установки
47. Расчет трубопроводов с непрерывной раздачей жидкости по пути
48. Расчет разомкнутых или тупиковых трубопроводов
49. Расчет замкнутых или кольцевых трубопроводов
50. Расчет трубопроводов с насосной подачей воды
51. Гидравлический удар в трубах
52. Прямой и непрямой гидравлический удар, борьба с гидравлическим ударом
53. Определение $\Delta p_{ударное}$ при гидравлическом ударе
54. Характеристика гидравлического удара
55. Основные понятия и характеристики подобия гидравлических процессов
56. Гидродинамическое подобие
57. Критерии гидродинамического подобия

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ПО ГИДРАВЛИКЕ

1. Исторический очерк

Гидравлика - прикладная наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и их взаимодействие с твердыми телами.

2. Жидкие и твердые тела

Жидкость - агрегатное состояние вещества с большой подвижностью частиц, сочетающее черты газов и твердых тел.

Общие черты с твердыми телами:

1. постоянный объем
2. прочность на разрыв

Общие черты с газами:

1. текучесть - неограниченная деформация, под действием минимальных сил

Гидростатика - раздел гидравлики, изучающий законы равновесия жидкостей и погруженных в них тел, их взаимодействие с твердыми телами.

3. Капельные и газообразные жидкости

Жидкость (жидкость и газ) - сплошная легкоподвижная среда.

Капельные: если объем такой жидкости меньше объема сосуда, то она занимает его часть, образуя свободную поверхность.

Газообразные: в свободном состоянии не образуют капель и заполняют весь объем сосуда.

4. Плотность, удельный вес, динамическая и кинематическая вязкость

Плотность - масса единицы объема: $\rho = M / W$

Удельный вес - вес единицы объема: $\gamma = G / W$; $\gamma = \rho \cdot g$. Не является физико-химической характеристикой так как зависит от места измерения.

Вязкость - сопротивление действию внешних сил, вызывающих течение жидкости. Вязкость зависит от температуры и давления (>1МПа). Объемная вязкость - превращение механической энергии объемной деформации в теплоту.

Динамическая вязкость - характеризует силу внутреннего трения, возникающую на единице площади поверхности слоев жидкости. [Па · с]

Кинематическая вязкость - отношение динамической вязкости к плотности жидкости: $\nu = \mu_в / \rho$ [$м^2$ / с]

5. Кавитация, газонаполнение, кипение, испарение

Процессы, нарушающие неразрывность и однородность жидкости.

Кавитация - образование в капельной жидкости пузырьков газа или пара. Происходит при падении давления в жидкости ниже давления насыщенного пара этой жидкости при данной температуре. Понижение давления происходит при высоких местных скоростях в потоке жидкости или при прохождении интенсивной акустической волны.

Газонаполнение - способность жидкостей поглощать и растворять соприкасающиеся с ними газы, образуя однородные смеси или двухфазные системы (аэрация - наполнение воздухом). Характеризуется коэффициентом растворимости, зависит от давления.

Кипение - парообразование в объеме жидкости с образованием пузырьков. Чем выше температура кипения, тем меньше испаряемость.

Давление насыщенного пара - давление пара, находящегося в замкнутом пространстве в термодинамическом равновесии с жидкостью того же химического состава. Кипение начинается при давлении насыщенного пара, равного внешнему давлению.

Испарение - парообразование на свободной поверхности жидкости. Зависит от рода жидкости и окружающей среды.

6. Силы, действующие на покоящуюся жидкость

Внешние силы - приложены к частицам

1. со стороны других тел - поверхностные - к точкам поверхности, пропорциональны ее площади

2. со стороны физических полей - массовые (объемные) - ко всем частицы, пропорциональны массе

Внутренние силы - силы взаимодействия между частицами, силы гидростатического давления.

7. Гидростатическое давление

Гидростатическое давление - предел отношения нормальной сжимающей силы к элементарной площадке, на которой действует эта сила, при стремлении этой площадки к нулю: $p = \lim_{\Delta\omega \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta \omega}$.

Свойства гидростатического давления:

1. В любой точке жидкого тела одинаково во всех направлениях (не зависит от угла наклона площадки),
2. Есть функцией оси координат,
3. Сила давления действует по нормали.

8. Уравнение Эйлера для равновесия жидкости

Уравнение Эйлера для равновесия жидкости - совокупное дифференциальное уравнение равновесия жидкости под действием произвольных внешних сил.

Если dP_1 и dP_2 - внешние силы, то условие равновесия: $dP_1 - dP_2 + dF_x = 0$; где $dF_x = dM \cdot a_x$, $dM = \rho \cdot dW$, $dW = dx \cdot dy \cdot dz$.

Сила гидростатического давления: $dP = p \cdot d\omega$, если p_1 и p_2 - давление в точках приложения сил dP_1 и dP_2, то $dP_1 = p_1 \cdot dy \cdot dz$ и $dP_2 = p_2 \cdot dy \cdot dz$. Если p = давление в центре тяжести, то: $p_1 = p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} dx$ и $p_1 = p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} dx$.

Уравнение равновесия : $\rho a_x \cdot dx \cdot dy \cdot dz + (p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} dx) \cdot dy \cdot dz - (p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} dx) \cdot dy \cdot dz = 0$,

поскольку $dy \neq 0$ и $dz \neq 0$, то: $\rho \cdot a_x \cdot dx - \frac{\partial p}{\partial x} dx = 0$. Аналогично для других координатных осей, получим уравнение Эйлера:

$$\begin{cases} \rho \cdot a_x \cdot dx - \frac{\partial p}{\partial x} dx = 0 \\ \rho \cdot a_y \cdot dy - \frac{\partial p}{\partial y} dy = 0 \\ \rho \cdot a_z \cdot dz - \frac{\partial p}{\partial z} dz = 0 \end{cases}$$

Сложив три уравнения получим: $dp = \rho(a_x dx + a_y dy + a_z dz)$, при постоянной плотности жидкости: $p = \rho \int (a_x dx + a_y dy + a_z dz)$.

ГМТ постоянного давления называется поверхностью равного давления или поверхностью уровня.

9. Равновесие жидкости под действием силы тяжести

$p = \rho \int (a_x dx + a_y dy + a_z dz)$, для жидкости, находящейся в равновесии под действием собственного веса: $a_x = 0$; $a_y = 0$; $a_z = -g$;

$p = -\rho \cdot g \cdot z + c$, так как $\rho \cdot g = \gamma$, то $p + \gamma \cdot z = const$.

10. Основное уравнение гидростатики, энергетический и геометрический смысл

Так как: $p + \gamma \cdot z = const$, то $p/\gamma + z = const$ [м] - основное уравнение гидростатики.

Энергетический смысл: p/γ - удельная (отнесенная к единице веса) потенциальная энергия давления, z - удельная потенциальная энергия положения.

Геометрический смысл: $p/\gamma + z = H$ - гидростатический напор, тогда: p/γ - пьезометрический напор и z - напор положения.

11. Полное и манометрическое давление, вакуум, пьезометрическая и вакуумметрическая высота

Полное давление - сумма внешнего поверхностного и весового давлений: $p = p_0 + \gamma \cdot h$, где весовое давление - произведение удельного веса жидкости на расстояние от точки до свободной поверхности.

Манометрическое (избыточное) давление - превышение гидростатического давления над атмосферным: $p_{изб} = p - p_{атм}$.

Вакуум - разность между атмосферным и гидростатическим давлением: $p_{вак} = p_{атм} - p$.

Пьезометрическая высота - высота столбика жидкости, который своим весом может создать давление, равное избыточному.

Вакуумметрическая высота - разность атмосферного и полного давлений в точке.

12. Давление жидкости на плоскую стенку

Пусть α - угол наклона стенки к горизонту, ρ - плотность жидкости, p_0 - давление на свободной поверхности жидкости, h - расстояние от свободной поверхности жидкости до точки и l - расстояние до точки вдоль стенки, тогда: $p = p_0 + \gamma \cdot h = p_0 + \gamma \cdot l \cdot \sin\alpha$; $dP = p \cdot d\omega = (p_0 + \gamma \cdot l \cdot \sin\alpha)\, d\omega$, интегрируя по ω получим: $P = p_0 \cdot \omega + \rho \cdot g \sin\alpha\, S_x$, где Sx - статический момент относительно оси $\perp$ стенке. Так как $S_x = l_{цт} \cdot \omega$, то $P = (p_0 + \gamma \cdot h_ц)\omega$.

13. Центр давления и его местонахождение

Центр давления - точка приложения равнодействующей силы избыточного давления.

Сила избыточного давления жидкости на плоскую стенку: $dP = \rho \cdot g \cdot h \cdot d\omega$. Момент этой силы относительно оси $\perp$ стенке: $dM = dP \cdot l = \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin\alpha \cdot d\omega \cdot l$, и если $\int_\omega l^2 d\omega = I_x$ - момент инерции, тогда суммарный момент силы избыточного давления: $M = \rho \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot I_x$. Но с другой стороны: $M = P \cdot l_{цд}$, где $l_{цд}$ - расстояние вдоль стенки до центра давления. Так как: $P = \rho \cdot g \cdot h_ц \cdot \omega = \rho \cdot g \cdot l_{цт} \cdot \sin\alpha \cdot \omega$, то $M = \rho \cdot g \cdot l_{цт} \cdot \sin\alpha \cdot \omega \cdot l_{цд} = \rho \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot I_x$. Отсюда: $l_{цд} = I_x / l_{цт}\omega$. Центр тяжести и центр давления совпадают когда рассматриваемая плоскость горизонтальна.

14. Давление жидкости на криволинейную цилиндрическую поверхность

Криволинейная цилиндрическая поверхность - образующая движется || себе самой вдоль криволинейной траектории. Внешнее давление не учитывается, так как компенсируется с обоих сторон поверхности. Действие окружающей жидкости заменяем силами G - вес рассматриваемого объема жидкости, Px` - горизонтальная, Pz` - вертикальная и Px, Pz - составляющие силы P, действующей на криволинейную поверхность.

$Px = Px`$, $Pz = Pz` - G$; $P = \sqrt{Px^2 + Pz^2}$. Сила избыточного давления жидкости на криволинейную цилиндрическую поверхность равна геометрической сумме двух составляющих: горизонтальная численно равна силе давления жидкости на вертикальную проекцию криволинейной поверхности, а вертикальная - весу жидкости в объеме тела давления. Тело давления - объем жидкости, лежащий над криволинейной поверхностью, между вертикальными плоскостями, проходящими через крайние образующие и свободной поверхностью жидкости или ее продолжением. $Px = \gamma \cdot h_{цт} \cdot \omega_z$; $Pz = \gamma \cdot h_{цт} \cdot \omega_x = \gamma \cdot W_{тела\ давления}$, где ω_z и ω_x - площади вертикальной и горизонтальной проекций криволинейной поверхности.

15. Закон Архимеда, плавание тел

Закон Архимеда: на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила равная весу вытесненной жидкости.

Плавает: $Pz`` - Pz` > G$; Равновесие: $Pz`` - Pz` = G$; Тонет: $Pz`` - Pz` < G$, где $Pz`` = \gamma \cdot W_{(рассматриваемое\ тело\ +\ тело\ давления)}$, а $Pz` = \gamma \cdot W_{(тело\ давления)}$. Значит: $Pz`` - Pz` = \gamma \cdot W_{(рассматриваемое\ тело)}$. Объемное водоизмещение - объем вытесненной жидкости. Центр водоизмещения - центр тяжести вытесненного объема жидкости.

16. Местная скорость, ее полная производная и составляющие

Местная скорость - скорость частицы жидкости в данной точке пространства в данный момент времени: $u = f(x, y, z, t)$. В проекциях на оси координат: $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$.

Полная производная каждой из составляющих имеет вид: $\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial t} \cdot \frac{dt}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z}$ первое слагаемое - изменение скорости во времени в фиксированной точке пространства - локальная составляющая ускорения, остальные - изменение скорости при перемещении в пространстве - конвективная составляющая ускорения. Установившееся движение - скорость не зависит от времени.

17. Линия тока, элементарная струйка, вихревые линия и трубка

Линия тока - линия, касательная к каждой точке которой в данный момент времени совпадает с направлением вектора скорости. Элементарная струйка - бесконечно малый объем жидкости вокруг линии тока. Вихревая линия - линия, касательная во всех точках к векторам угловой скорости частиц. Вихревая трубка - поверхность, ограниченная вихревыми линиями, проведенными через точки бесконечно малого замкнутого контура.

18. Поток жидкости

Поток жидкости - конечный движущийся объем жидкости, состоящий из бесконечно большого числа элементарных струек.

Элементы потока:

1. живое сечение ω - поверхность в пределах потока нормальная ко всем линиям тока;
2. смоченный периметр χ - лежащая в живом сечении линия касания со стенками русла;
3. расход Q - объем жидкости, проходящий через живое сечение в единицу времени;
4. средняя скорость - одинаковая для всех точек сечения скорость, при которой расход равен действительному;
5. гидравлический радиус - отношение площади живого сечения к длине смоченного периметра: $R = \omega / \chi$;

Виды потоков:

1. безнапорные - имеющие свободную поверхность жидкости, где давление равно атмосферному;
2. напорные - жидкость соприкасается со всеми стенками русла и не имеет свободной поверхности;
3. гидравлические струи - не соприкасающиеся с руслом, имеющие со всех сторон свободную поверхность.
4. слабодеформированные - линии тока параллельны, движение плавно изменяющееся;
5. сильнодеформированные - линии тока непараллельны, движение резкоизменяющееся.

Движение потоков:

Установившееся - элементы потока постоянны во времени;

Равномерное - элементы потока постоянны по длине трубопровода.

19. Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости

Принцип д'Аламбера: для перехода от равновесия к движению необходимо и достаточно к действительным силам прибавить силы инерции. Проекция силы инерции на ось ОХ: $dj_x = -dM \cdot \frac{du_x}{dt}$, причем $dM = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz$; отнесенная к единице площади: $\frac{dj_x}{dy \cdot dz} = -\rho \cdot \frac{dx}{dy} \cdot du_x = -\rho \cdot du_x \cdot u_x = -\rho \frac{du_x^2}{2}$;

Подставляя в уравнение Эйлера получим совокупные дифференциальные уравнения движения жидкости:

$$\begin{cases} \rho \cdot a_x \cdot dx - \frac{\partial p}{\partial x} dx - \rho \cdot \frac{du_x^2}{2} = 0 \\ \rho \cdot a_y \cdot dy - \frac{\partial p}{\partial y} dy - \rho \cdot \frac{du_y^2}{2} = 0 \\ \rho \cdot a_z \cdot dz - \frac{\partial p}{\partial z} dz - \rho \cdot \frac{du_z^2}{2} = 0 \end{cases}$$

Сумма трех уравнений даст дифференциальное уравнение движения жидкости под действием произвольных внешних сил:

$$\rho(a_x dx + a_y dy + a_z dz) = dp + \frac{\rho}{2} du^2$$

20. Уравнение неразрывности движения для элементарной струйки и потока жидкости

1. Объемы жидкости, прошедшие через сечения в единицу времени, равны элементарным расходам: $dQ_1 = u_1 d\omega_1$ и $dQ_2 = u_2 d\omega_2$, так как объем струйки постоянный, то $dQ_1 = dQ_2$, а значит: $u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2$ - уравнение неразрывности движения для элементарной струйки.

2. Для потока, как для совокупности элементарных струек: $v_1\omega_1 = v_2\omega_2$ - уравнение неразрывности движения для потока жидкости. Отношение средних скоростей в живых сечениях потока обратно пропорционально отношению их площадей.

3. Если u_x - скорость в первом сечении, то $u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx$ - скорость во втором сечении. Масса жидкости, которая пройдет через первое сечение за время dt: $\rho \cdot u_x \cdot dy \cdot dz \cdot dt$, через второе: $\rho(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx) dy \cdot dz \cdot dt$ Исходя из закона сохранение масс: $-\rho \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt = 0$, аналогично для движения по осям y и z, получим: $\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial x} = 0$ - уравнение неразрывности движения для произвольного движения несжимаемой жидкости.

21. Уравнение Бернулли для элементарной струйки

Так как: $\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = const$, то для идеальной жидкости, рассматривая два сечения получаем: $\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2$.

Энергетический смысл: при u=0 - $\frac{p}{\gamma} + z = const$ - основное уравнение гидростатики, так как $\frac{p}{\gamma}$ - удельная энергия давления, а z - удельная энергия положения, то $\frac{u^2}{2g}$ - удельная кинетическая энергия. $e_k = \frac{dEk}{dG} = \frac{dMu^2}{2dMg} = \frac{u^2}{2g}$.

Геометрический смысл: $\frac{p}{\gamma}$ - пьезометрический напор, z - напор положения, $\frac{u^2}{2g}$ - скоростной напор.

Для вязкой жидкости: $\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + hw_{1-2}$, где hw_{1-2} - затраты на преодоление сопротивлений между 1 и 2 сечениями - потеря напора.

22. Лемма о распределении гидродинамического давления в плавно изменяющемся движении

При плавно изменяющемся движении $u_y = u_z = 0$, тогда:

$$\begin{cases} \rho \cdot a_x \cdot dx - \frac{\partial p}{\partial x} dx - \rho \cdot \frac{du_x^2}{2} = 0 \\ \rho \cdot a_y \cdot dy - \frac{\partial p}{\partial y} dy = 0 \\ \rho \cdot a_z \cdot dz - \frac{\partial p}{\partial z} dz = 0 \end{cases}$$

в плоскости живого сечения гидродинамическое давление распределяется по гидростатическому закону, то есть сохраняется условие: $\frac{p}{\gamma} + z = const$.

23. Уравнение Бернулли для потоков вязкой и невязкой жидкостей

Для элементарной струйки в потоке жидкости уравнение Бернулли имеет вид: $\frac{u_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1=\frac{u_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma}+z_2+hw_{1-2}$, так как для потока: $e_к = \alpha v^2/2g$, где $\alpha \approx 1.1$ - опытный коэффициент кинетической энергии, то: $\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1=\frac{\alpha v_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma}+z_2+hw_{1-2}$ - основное уравнение гидродинамики. Уравнение Бернулли устанавливает связь между скоростью движения, давлением и геометрическим расположением точек живого сечения потока.

24. Энергетический и геометрический смысл уравнения Бернулли для потока жидкости

Энергетический смысл: $\frac{\alpha v^2}{2g}+\frac{p}{\gamma}+z$ - полная удельная энергия потока в живом сечении, так как $\frac{p}{\gamma}$ - потенциальная удельная энергия давления, а z - потенциальная удельная энергия положения, то $\frac{\alpha v^2}{2g}$ - удельная кинетическая энергия, где v - средняя скорость в сечении; hw_{1-2} - затраты энергии на преодоление сил сопротивления.

Геометрический смысл: $\frac{\alpha v^2}{2g}+\frac{p}{\gamma}+z$ - полный напор, так как $\frac{p}{\gamma}$ - пьезометрический напор, а z - напор положения, то $\frac{\alpha v^2}{2g}$ - скоростной напор; hw_{1-2} - потерянный напор.

Пьезометрическая линия - ГМТ концов отрезков суммы $\frac{p}{\gamma}+z$. Пьезометрический уклон - изменение пьезометрической линии на единицу длинны. Напорная линия - ГМТ концов отрезков суммы $\frac{\alpha v^2}{2g}+\frac{p}{\gamma}+z$. Гидравлический уклон - изменение напорной линии на единицу длинны.

25. Условия применения уравнения Бернулли

1. движение жидкости должно быть установившимся;
2. применимо только для потенциальных потоков - то есть для потоков, в которых отсутствует вращение. При вихревом движении применяется только для каждой вихревой трубки в отдельности;
3. только для участков с плавно изменяющимся движением, для слабодеформированного потока, хотя между рассматриваемыми могут быть и сильнодеформированные участки;
4. применяют для двух сечений, одно из которых содержит искомые элементы, а второе - заданные;
5. для всего живого сечения вцелом, так как скорость - средняя в сечении, но потенциальная энергия определяется для каждой точки.
6. используется вместе с уравнением неразрывности движения.

26. Уравнение количества движения для установившегося потока

Теорема об изменении количества движения материальных точек: производная от количества движения рассматриваемой системы по времени равна главному вектору внешних сил, действующих на эту систему.

Для установившегося движения несжимаемой жидкости изменение количества движения системы можно заменить изменением количества движения жидкости, протекающей за тот же промежуток времени между сечениями.

$\frac{\Delta m}{\Delta t}(u_2-u_1)=\rho\frac{(\Delta\omega_2\cdot\Delta l_2\cdot u_2-\Delta\omega_1\cdot\Delta l_1\cdot u_1)}{\Delta t}$, так как $\Delta l_1 = u_1\Delta t$ и $\Delta l_2 = u_2\Delta t$, то $\frac{\Delta m}{\Delta t}(u_2-u_1)=\rho(\Delta\omega_2\cdot u_2^2-\Delta\omega_1\cdot u_1^2)$ - изменение количества движения за единицу времени. Для потока жидкости: $\rho\int_\omega u^2 d\omega=\alpha\cdot\rho\cdot v^2\cdot\omega$.

27. Виды потерь энергии и их определение

1. h_l - потери на трение по длине - пропорциональны длине потока; $h_l = K_l \cdot v^n$, n=1 для ламинарного и n=2 для турбулентного движения. Если $\frac{\alpha v^2}{2g}$ - скоростной напор, то $h_l = \zeta_l \cdot v^2/2g$, где $\zeta_l = \lambda l/d$, λ - коэффициент сопротивления трубы. $h_l=\frac{\lambda\cdot l}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}$ - первая водопроводная формула; так как $v = Q/\omega$, и если $8\lambda/\pi^2 g = K$, то $h_l=K\frac{lQ^2}{d^5}$ - вторая водопроводная формула; пусть $K/d^5 = S$, тогда $h_l=S\cdot l\cdot Q^2$ - третья водопроводная формула.
2. hм - местные сопротивления - потери возникают в результате изменения скорости потока на местном участке пути, в результате изменения формы и размеров поперечного сечения или направления продольной оси трубопровода; $h_м = \zeta_м \cdot v^2/2g$, где - скорость после местного сопротивления и $\zeta_м$ - коэффициент местного сопротивления. Для внезапного расширения: $\zeta_м = ((D/d)^2 - 1)^2$, для внезапного сужения: $\zeta_м = (1 - (d/D)^2) / 2$

В общем случае: $h_w = h_l + h_м$;

28. Опыты Рейнольдса для двух режимов жидкости

Ламинарный режим движения жидкости - слоистое движение без пульсации скорости и без перемешивания частиц.

Турбулентный режим движения жидкости - пульсация скорости.

29. Критические скорости и числа Рейнольдса

Верхняя критическая скорость - скорость при которой движение становится турбулентным. $v_{вк} = Re_{вк} \cdot d/\nu$, где $Re_{вк}$ = 4000..20000 - верхнее критическое число Рейнольдса.

Нижняя критическая скорость - скорость при которой движение становится ламинарным. $v_{нк} = Re_{нк} \cdot d/\nu$, где $Re_{нк}$ = 2320 - нижнее критическое число Рейнольдса.

Действительное число Рейнольдса: $Re = vd/\nu$, где ν - кинематическая вязкость, зависящая от рода жидкости и ее температуры. При сравнении полученного Re с $Re_{нк}$ определяем режим движение жидкости.

30. Зависимость потерь напора от режимов движения жидкости

При ламинарном режиме движения жидкости потери напора пропорциональны средней скорости потока: $hw = k_л \cdot v$, $k_л$ - коэффициент пропорциональности при ламинарном режиме.

При турбулентном режиме движения жидкости потери напора пропорциональны квадрату средней скорости потока: $hw = k_т \cdot v^2$, $k_т$ - коэффициент пропорциональности при турбулентном режиме.

31. Гидравлически гладкие, переходные и шероховатые поверхности

Для турбулентного потока:

1. область гидравлически гладких труб - толщина вязкого подслоя δ значительно меньше абсолютной шероховатости стенок Δ - $\lambda = 0.3164 / Re^{0.25}$; причем $3000<Re<20d/\Delta$;
2. переходная область - толщина вязкого подслоя δ приблизительно равна абсолютной шероховатости стенок Δ - $\lambda = 0.11(\Delta/d + 68/Re)^{0.25}$; где $20d/\Delta<Re<500d/\Delta$;
3. область гидравлически шероховатых труб - квадратичная область - толщина вязкого подслоя δ значительно больше абсолютной шероховатости стенок Δ - $\lambda = 0.11(\Delta/d)^{0.25}$; причем $Re>500d/\Delta$;

32. Определение потерь напора по длине

1. Ламинарный режим движения жидкости: так как средняя скорость в живом сечении потока: $v = u_{max} / 2$, а $u_{max} = \gamma \cdot i \cdot r^2 / 4\mu$, где u_{max} - максимальная скорость, γ - удельный вес жидкости, i - гидравлический уклон, r - геометрический радиус трубы, μ - динамическая вязкость, то $i = 8\mu v / \gamma r^2$. Поскольку $\gamma = \rho g$, $Re = vd/\nu$ и $\mu/\rho = \nu$, то $i = 32\nu v/\gamma r^2 = 64v^2/2gRed$ - потеря напора при ламинарном режиме пропорциональна средней скорости, зависит от рода жидкости и обратно пропорциональна диаметру трубы. Итак - $\lambda = 64 / Re$ и $h_l = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot$
2. Турбулентный режим движения жидкости: $h_l = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$, λ - определяется только по эмпирическим формулам: область гидравлически гладких труб - $\lambda = 0.3164 / Re^{0.25}$, где $3000<Re<20d/\Delta$; переходная область - $\lambda = 0.11(\Delta/d + 68/Re)^{0.25}$; где $20d/\Delta<Re<500d/\Delta$; область гидравлически шероховатых труб - $\lambda = 0.11(\Delta/d)^{0.25}$; где $Re>500d/\Delta$

33. Отверстия и истечения из них

Классификация отверстий:

1. малые (геометрический напор H постоянный по отверстию, то есть высота отверстия в вертикальной стенке не больше 0.1 H) и большие (геометрический напор H переменный по отверстию). Отверстие любого размера в дне сосуда будет малым;
2. форма отверстия (правильная, неправильная);
3. тонкостенные (толщина стенки не влияет на условия истечения $\delta<0.67H$) и толстостенные (толщина стенки сказывается на условиях истечения);
4. в вертикальной, наклонной стенках и дне сосуда.

Классификация истечений:

1. при постоянном и переменном напорах;
2. при наличии или отсутствии притока;
3. из сосудов с вертикальной осью и неправильной формы;
4. свободное (чаще всего в атмосферу, уровень жидкости за отверстием не влияет на истечение), несвободное (из подтопленных или затопленных отверстий, истечение под уровень);
5. при всестороннем и неполном сжатии струи;
6. при совершенном (стенки и дно сосуда не влияют на истечение) и несовершенном сжатии струи (стенки или дно сосуда влияют на истечение, при l<3d - расстояние от боковой стенки или дна меньше утроенного размера отверстия).

34. Истечение из малых отверстий в тонкой стенке при постоянном напоре

При постоянном напоре количество вытекшей жидкости равно притоку. При равных коэффициентах кинетической энергии: $\frac{\alpha v_0^2}{2g}+\frac{p_0}{\gamma}+z_0=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1+hw_{0-1}$, где 0-0 сечение - свободная поверхность жидкости, а 1-1 - сечение вблизи отверстия. $p_0 = p_1 = p_{атм}$, $z_0 - z_1 = H$. По теореме о неразрывности движения: $v_0=v_1\cdot\omega_1/\omega_0$, и если $\omega_1<<\omega_0$, то $v_0=0$. $H=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+hм=(\alpha+\zeta м)\cdot\frac{v_1^2}{2g}$, где ζм - коэффициент местных потерь. $v_1=\sqrt{\frac{2gH}{\alpha+\zeta м}}=\varphi\sqrt{2gH}$, где φ - коэффициент скорости. Расход: $Q = \omega_1 \cdot v_1 = \varepsilon \cdot \omega_{отверстия} \cdot v_1$, где ε - коэффициент сжатия струи. $Q=\varepsilon\cdot\varphi\cdot\omega_{отверстия}\sqrt{2gH}=\mu\cdot\omega_{отверстия}\sqrt{2gH}$, где μ - коэффициент расхода жидкости.

Для малого отверстия в тонкой вертикальной стенке:

φ	ε	ζ	μ
0.97	0.64	0.06	0.62

Для учета скорости подхода ($v_0\neq0$): расход в первом приближении - $Q=\mu\cdot\omega_{отверстия}\sqrt{2gH}$, $v = Q/\omega_0$, тогда полный напор с учетом скорости подхода: $H=H+\frac{\alpha v_0^2}{2g}$, подставляя полученное значение в формулу расхода: $Q=\mu\cdot\omega_{отверстия}\sqrt{2gH}$, получаем расход во втором приближении.

35. Насадки, скорость и расход при истечении жидкости через насадки при постоянном напоре

Насадки - присоединенные к отверстию патрубки длиной l<4d, позволяющие существенно изменять скорость и напор. Бывают:

1. внешние и внутренние;
2. призматические, цилиндрические, конические (сходящиеся и расходящиеся) и коноидальные.

Скорость и расход при истечении:

$\frac{\alpha v_0^2}{2g}+\frac{p_0}{\gamma}+z_0=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1+hw_{0-1}$, где 0-0 сечение - свободная поверхность жидкости, а 1-1 - сечение вблизи насадки. $p_0 = p_1 = p_{атм}$, $z_0 - z_1 = H$.

$H=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+h м=(\alpha+\zeta м)\cdot\frac{v_1^2}{2g}$, где ζм - коэффициент местных потерь. $v_1=\sqrt{\frac{2gH}{\alpha+\zeta м}}=\varphi\sqrt{2gH}$, где φ - коэффициент скорости.

Расход: $Q = \omega_1 \cdot v_1 = \varepsilon \cdot \omega_{насадки} \cdot v_1$, где ε - коэффициент сжатия струи. $Q=\varepsilon\cdot\varphi\cdot\omega_{насадки}\sqrt{2gH}=\mu\cdot\omega_{насадки}\sqrt{2gH}$, где μ - коэффициент расхода жидкости.

Для внешней цилиндрической насадки:

φ	ε	μ
0.82	1.00	0.82

Классификация насадок:

1. цилиндрические - на входе в насадку обрасуется вакуум, который подсасывает жидкость и увеличивает расход. Срыв вакуума происходит когда напор превышает атмосферное давление;
2. конические сходящиеся - уменьшение расхода, увеличение скорости;
3. конические расходящиеся - уменьшение скорости, увеличение расхода. Угол конусности ограничен, иначе истечение происходит как из отверстия в тонкой стенке;
4. коноидальные - увеличение расхода, увеличение скорости.

36. Классификация труб, скорость и расход при истечении жидкости из очень коротких труб при постоянном напоре

Классификация труб:

1. очень короткие трубы (патрубки) - потери на трение по длинне ничтожно малы в сравнении с местными потерями; Истечение аналочисно истечению из насадок, изменяются только расчетный коэффициенты, зависящие от рода и температуры жидкости, бокового сжатия. Условий истечения, формы отверстия: Скороть и расход при истечении: $\frac{\alpha v_0^2}{2g}+\frac{p_0}{\gamma}+z_0=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1+hw_{0-1}$, где 0-0 сечение - свободная поверхность жидкости, а 1-1 - сечение вблизи патрубка. $p_0 = p_1 = p_{атм}$, $z_0 - z_1 = H$. $H=\frac{\alpha v_1^2}{2g}+h м=(\alpha+\zeta м)\cdot\frac{v_1^2}{2g}$, где ζм - коэффициент местных потерь. $v_1=\sqrt{\frac{2gH}{\alpha+\zeta м}}=\varphi\sqrt{2gH}$, где φ - коэффициент скорости. Расход: $Q = \omega_1 \cdot v_1 = \varepsilon \cdot \omega_{насадки} \cdot v_1$, где ε - коэффициент сжатия струи. $Q=\varepsilon\cdot\varphi\cdot\omega_{насадки}\sqrt{2gH}=\mu\cdot\omega_{насадки}\sqrt{2gH}$, где μ - коэффициент расхода жидкости.
2. короткие трубы - потери на трение по длинне соизмеримы с местными потерями;
3. длинные трубы - потери на трение по длинне много больше местных потерь;

37. Истечение жидкости из малых отверстий при переменном напоре

Пусть q - приток, H - напор, Q - расход. Основное условие истечения: $W_{притока} = W_{истечения} + W_{остатка}$; $W_{притока} = q \cdot dt$; $W_{истечения} = Q \cdot dt$; $W_{остатка} = \omega_0 \cdot dz$, где dz - изменение уровня жидкости в сосуде. $(q - Q) \cdot dt = \omega_0 \cdot dz$; Если T - время истечения, то: $T=t_2-t_1=\int_{z_1}^{z_2}\frac{\omega_0}{q-Q}dz$, так как $Q=\mu\cdot\omega\cdot\sqrt{2gH}$ и $H=\frac{q^2}{2g\mu^2\omega^2}$, то $T=\frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\int_{z_1}^{z_2}\frac{\omega_0}{\sqrt{H}-\sqrt{z}}dz$.

38. Определение времени опорожнения сосудов при постоянном напоре

Для истечения жидкости из малых отверстий при переменном напоре: $T=\frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\int_{z_1}^{z_2}\frac{\omega_0}{\sqrt{H}-\sqrt{z}}dz$. Для постоянных притока и напора, то есть q = 0 и H = 0: $T=-\frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\int_{z_1}^{z_2}\omega_0\cdot z^{-\frac{1}{2}}\cdot dz$ - уравнение опорожнения сосуда.

Для призматических или цилиндрических сосудов ω = const: $T=-\frac{\omega_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}\int_{z_1}^{z_2}\cdot z^{-\frac{1}{2}}\cdot dz=-\frac{2\omega_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{z_2}-\sqrt{z_1})=\frac{2\omega_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{z_1}-\sqrt{z_2})$.

Полное опорожнение $z_2 = 0$: $T=\frac{2\omega_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{z_1}=\frac{2\omega_0\cdot z_1}{\mu\omega\sqrt{2gz_1}}=\frac{2W}{Q}=\frac{2W}{W/t}=2t$, где t - время опорожнения при постоянном напоре, а T - при переменном.

39. Истечение жидкости через большие отверстия при постоянном напоре в резервуаре

Пусть H_1 и H_2 - напоры в верхней и нижней точках отверстия. Элементарная полоска на расстоянии z от свободной поверхности жидкости имеет площадь $b_z \cdot dz$, для этой полоски, как для малого отверстия: $dQ=\mu\cdot d\omega\cdot\sqrt{2gz}=\mu\cdot b_z\cdot dz\sqrt{2gz}$, тогда расход для большого отверстия: $Q=\mu_{большого}\cdot\sqrt{2g}\int_{H_1}^{H_2}b_z z^{\frac{1}{2}}dz$, где $\mu_{большого}$ - коэффициент расхода для большого отверстия.

40. Истечение жидкости через большие прямоугольные отверстия при постоянном напоре

Так как расход для большого отверстия: $Q=\mu_{большого}\cdot\sqrt{2g}\int_{H_1}^{H_2}b_z z^{\frac{1}{2}}dz$, то для большого прямоугольного отверстия в тонкой вертикальной стенке при постоянном напоре $b_z = b$, интегрируя выражение для расхода получим: $Q=\frac{2}{3}\mu_{большого}\cdot b\cdot\sqrt{2g}(H_2^{\frac{3}{2}}-H_1^{\frac{3}{2}})$.

41. Гидравлический расчет труб (особенности расчета длинных труб)

Для длинных труб весь действующий напор уходит на преодоление потерь на трение по длине, так как местные потери отсутсвуют. $H=\frac{\alpha v^2}{2g}+hw$, $hw = h_l + h_м$, $h_м = \zeta_м v^2/2g$, $\zeta_м = 0$; $H = h_l$. Потери на трение по длинне: $h_l = \zeta_l v^2/2g$, где $\zeta_l = \lambda l/d$, λ - коэффициент сопротивления трубы.

$H = h_l = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$ - первая водопроводная формула; так как v = Q/ω, и если $8\lambda/\pi^2 g = K$, то $h_l = K\frac{lQ^2}{d^5}$ - вторая водопроводная формула; пусть $K/d^5 = S$, тогда $h_l = S \cdot l \cdot Q^2$ - третья водопроводная формула.

42. Равномерное движение в призматических и цилиндрических напорных трубах

Диаметр, поперечное сечение труб и расход жидкости постоянны Q, d, ω = const: $\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1=\frac{\alpha v_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma}+z_2+hw_{1-2}$. Пускай l - длина трубопровода, тогда: $\frac{\frac{\alpha(v_1^2-v_2^2)}{2g}+\frac{p_1-p_2}{\gamma}+z_1-z_2}{l}=i_e\frac{hl_{1-2}}{l}=i_f$, где i_e - гидравлический уклон, i_f - уклон трения, так как $v_1 = v_2$, то $\frac{\frac{p_1-p_2}{\gamma}+z_1-z_2}{l}=i_p$, где i_p - пьезометрический уклон. При равномерном движении в напорных трубах три уклона равны: $i_e = i_f = i_p$.

Если p - гидродинамическое давление, α - угол наклона трубопровода к горизонту, P_1 и P_2 - нормальные сжимающие силы давления жидкости (горизонтальны и противоположнонаправлены), T - паралельная дну составляющая вектора веса жидкости, F - сила трения (не зависящая от давления), то: $P_1 - P_2 + T - F = 0$; $P_1 = p_1 \cdot \omega$; $P_2 = p_2 \cdot \omega$; $T = G \cdot \sin\alpha = G \cdot (z_1-z_2) / l = \gamma \cdot \omega \cdot (z_1-z_2)$; $F = \tau \cdot \chi \cdot l = 2 \cdot \tau \cdot l \cdot \sqrt{(\pi\omega)}$, где τ - касательное напряжение и χ - длина смоченного периметра; подставляя в условие равновесия получим: $p_1 \cdot \omega - p_2 \cdot \omega + \gamma \cdot \omega \cdot (z_1-z_2) - 2 \cdot \tau \cdot l \cdot \sqrt{(\pi\omega)} = 0$; $p_1 / \gamma - p_2 / \gamma + z_1-z_2 = \tau \cdot \chi \cdot l / \gamma \cdot \omega$; пьезометрический уклон: $i_p = (p_1 / \gamma - p_2 / \gamma + z_1-z_2) / l = \tau \cdot \chi / \gamma \cdot \omega$; так как $\omega/\chi = R$ - гидравлический радиус, то $i_p = \tau / \gamma \cdot R = i_f$, если $\tau = K_f \cdot v^2$, то получим формулу Шези: $v=\sqrt{\frac{\gamma\cdot R\cdot i_f}{K_f}}=C\sqrt{R\cdot i_f}$, где $C=\frac{1}{n}R^{f(n,R)}$ - скоростной множитель, а n - коэффициент шероховатости.

Шероховатость - неровность твердой поверхности, влияющая на возникновение сил трения потока о стенки русла. Обозначив $C \cdot \sqrt{R} = W$ - скоростная характеристика: $v = W \cdot \sqrt{i_f}$; тогда $Q = \omega \cdot W = K \cdot \sqrt{i_f}$, где К - расходная характеристика. Исходя из третьей водопроводной формулы: $S = H/lQ^2 = i_f \cdot l/l \cdot i_f \cdot K^2 = 1/K^2$.

43. Расчет длинных трубопроводов

Длинный трубопровод - местные потери незначительны в сравнии с потерями на трение по длине. Q, d, ω - const. Из уравнения неразрывности движения: $Q_1 = \omega_1 \cdot v_1$ и : $Q_2 = \omega_2 \cdot v_2$, значит : $v_1 = v_2$. Уравнение Бернулли: $\frac{\alpha v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}+z_1=\frac{\alpha v_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma}+z_2+hw_{1-2}$; так как hм = 0 и v = const: $\frac{p_1}{\gamma}-\frac{p_2}{\gamma}=z_2-z_1+hl$, где $p_1/\gamma = H_{\text{потребный}}$, $z_2 - z_1 = z_{\text{геометрическое}}$, $H_{\text{потребный}} = z_{\text{геометрическое}} + p_2/\gamma + h_l = H_{\text{статический}} + h_l$; $hl = (\zeta + \lambda l/d) \cdot (v^2/2g)$. Так как $v = 4Q/\pi d^2$, то: $hl = (\zeta + \lambda l/d) \cdot (8Q^2/\pi^2 g d^4)$. Пусть $8(\zeta + \lambda l/d)/\pi^2 g d^4 = A$ - коэффициент сопротивления трубопровода, тогда: $H_{\text{потребный}} = H_{\text{статический}} + A \cdot Q^2$. С увеличением расхода увеличивается скорость и возрастают потери.

44. Расчет сложных параллельно соединенных трубопроводов

Последовательное соединение трубопроводов - расход постоянный, диаметр переменный. Параллельное соединение трубопроводов - несколько ветвей отходят из одной точки и сходятся в дугой, напор и потери для каждой ветви одинаковы.

$hl = A \cdot Q^2$; $\begin{cases} Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ A_1 \cdot Q_1^2 = A_2 \cdot Q_2^2 \\ A_2 \cdot Q_2^2 = A_3 \cdot Q_3^2 \\ A_3 \cdot Q_3^2 = A_1 \cdot Q_1^2 \end{cases}$; из системы уравнений находим расходы для каждой ветви. Тогда потери: $hl = A_1 \cdot Q_1^2 = A_2 \cdot Q_2^2 = A_3 \cdot Q_3^2$;

45. Расчет сложных разветвленных трубопроводов

Разветвленные трубопроводы - от главной отходят второстепенные ветви.

$\begin{cases} Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ H_м = H_{стат1} + h_{l1} = H_{стат1} + A_1 \cdot Q_1^2 \\ H_м = H_{стат2} + h_{l2} = H_{стат2} + A_2 \cdot Q_2^2 \\ H_м = H_{стат3} + h_{l3} = H_{стат3} + A_3 \cdot Q_3^2 \end{cases}$; из системы уравнений находим расходы для каждой ветви. $H_{\text{потребный}} = H_{\text{статический}} + hl + H_{\text{свободный}}$, где $H_{\text{свободный}} = \alpha v^2/2g$ - напор при истечении в атмосферу.

46. Расчет насосной установки

Насосная установка состоит из: всасывающей линии - короткого трубопровода и нагнетательной линии - длинного трубопровода.

$H_{\text{потребный}} = z_{\text{геометрическое}} + \sum h$, где $z_{\text{геометрическое}}$ - высота бака над уровнем воды в водоеме. Мощность насоса - потребное количество дополнительной кинетической энергии, сообщенной каждому килограму подаваемой жидкости:

$N_{насоса}=\frac{\gamma\cdot Q\cdot H_{потребный}}{7.5\cdot\eta_{насоса}\cdot\eta_{дв}}$.

47. Расчет трубопроводов с непрерывной раздачей жидкости по пути

Трубопроводы с непрерывной раздачей жидкости по пути - точки разбора жидкости на одинаковых расстояниях друг от друга, а расходы разбора q в этих точках одинаковы. $Q = Q_{\text{путевой}} + Q_{\text{транзитный}}$, $Q_{\text{путевой}} = q \cdot l$. Если x - расстояние от начала разбора до рассматриваемого сечения, то: $Q_x = Q_{\text{путевой}} \cdot (1 - x/l) + Q_{\text{транзитный}}$. Уклон трения: $i_f = Q_x^2/K^2$, тогда

$$h_l=\int_0^l\frac{(Q_{транзитный}+Q_{путевой}(1-\frac{x}{l}))^2}{K^2}dx=\frac{l}{K^2}(Q_{транзитный}+\alpha Q_{путевой})^2,$$

где α = 0.55; $hl = Q^2 l/K$, но при переменном расходе $Q = 0.55 \cdot Q_{\text{путевой}} + Q_{\text{транзитный}}$.

48. Расчет разомкнутых или тупиковых трубопроводов

Разомкнутые или тупиковые трубопроводы состоят из главной ветви и ответвлений от нее. См. 45.

49. Расчет замкнутых или кольцевых трубопроводов

Замкнутые или кольцевые трубопроводы - замкнутые дополнительными ветвями ветви тупикового водопровода.

Порядок расчета:

1. уравнение баланса расхода - сумарный расход в узлах равен нулю;

2. уравнение баланса напора - алгебраическая сумма потерь напора по линиям каждого кольца при полном его обходе равна нулю;

При расчете число неизвестных (18) больше числа уравнений (15), поэтому расчет ведется последовательным приближением (многовариантный подбор).

50. Расчет трубопроводов с насосной подачей воды

51. Гидравлический удар в трубах

<u>Гидравлический удар</u> - изменение давления при резком изменении скорости движения в трубах.

$v = 0$; $\frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z + \sum h = const$, вся кинетическая энергия превращается в энергию давления.

<u>Фазы развития гидравлического удара:</u>

1. остановка движения жидкости $\rightarrow$; давление: $p + \Delta p_{ударное}$; $c \leftarrow$ - скорость ударной волны в сторону противоположную движению жидкости;
2. расширение трубы; давление: $p + \Delta p_{ударное}$; изменение направления движения жидкости $\leftarrow$;
3. частичное сужение трубы до начальных размеров; давление: $p + \Delta p_{ударное}$; изменение направления ударной волны $\rightarrow$; направление движения жидкости $\leftarrow$;
4. полное сужение трубы до начальных размеров; давление: $p + \Delta p_{ударное}$; направление движения жидкости $\leftarrow$;
5. частичное сужение трубы; давление: $p - \Delta p_{ударное}$;
6. полное сужение трубы; давление: $p - \Delta p_{ударное}$;
7. расширение трубы до начальных размеров; давление: p_0; скорость жидкости равна нулю.

График давления аналогичный графику затухающих колебаний.

52. Прямой и непрямой гидравлический удар, борьба с гидравлическим ударом

<u>Прямой гидравлический удар</u> - $t_{остановки} < 2L/c$, где L - длина трубопровода, c - скорость ударной волны.

<u>Непрямой гидравлический удар</u> - $t_{остановки} > 2L/c$.

<u>Борьба с гидравлическим ударом:</u>

1. уменьшение фазы удара $T = 2L/c$;
2. увеличение времени остановки жидкости;
3. уравнительные баки;
4. гидроаккумуляторы гасящие ударную волну;
5. предохранительные клапаны.

53. Определение $\Delta p_{ударное}$ при гидравлическом ударе

Пусть v_0 - начальная скорость жидкости, p_0 - давление в резервуаре и dx - отрезок повышения давления. Теорема об изменении количества движения: $\Delta mv = Pt$; $\omega dx \cdot \rho(v_0 - 0) = ((p_0 + \Delta p_{ударное}) - p_0)\omega dt$. Так как $dx/dt = c$, то: $\Delta p_{ударное} = \rho \cdot c \cdot v_0$. Повышение напора в трубопроводе: $\Delta H = \Delta p/\gamma = c \cdot v_0 / g$. Скорость ударной волны определяется по формуле Жуковского: $c = \sqrt{\frac{E_{жидкости}}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_{жидкости}}{E_{трубы}} \cdot \frac{d}{\sigma}}}$, где $E_{жидкости}$ - модуль упругости жидкости; ρ - плотность; $E_{трубы}$ - модуль упругости стенок трубы; d - диаметр; σ - толщина стенок трубопровода.

54. Характеристика гидравлического удара

$m = \omega \cdot \Delta x \cdot \rho = \omega \cdot \Delta x \cdot \gamma/g$;

если: $\gamma_0 = \gamma$, $\omega_0 = \omega$ и $\gamma_1 = \gamma + \Delta\gamma$, $\omega_1 = \omega + \Delta\omega$, $m_1 = m + \Delta m$, то: $\Delta m = m_1 - m_0 = \frac{\gamma + \Delta\gamma}{g} \cdot (\omega + \Delta\omega) \cdot \Delta x - \frac{\gamma}{g} \cdot \omega \cdot \Delta x = \frac{\Delta x}{g}(\omega\Delta\gamma + \Delta\omega\gamma)$, так как $\Delta\omega \cdot \Delta\gamma \approx 0$.

Тогда: $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta x}{g}(\omega\Delta\gamma + \Delta\omega\gamma) \cdot \frac{g}{\gamma \cdot \omega \cdot \Delta x} = \frac{\Delta\gamma}{\gamma} + \frac{\Delta\omega}{\omega} \cdot$

55. Основные понятия и характеристики подобия гидравлических процессов

<u>Моделирование гидравлических процессов:</u>

I. отбор факторов;

II. математическое моделирование - решение совокупности уравнений, описывающих процесс - математической модели физического процесса.

1. аналитический метод - интегрирование и исследование уравнений;

2. аналитический метод с эмпирическими зависимостями - исследование уравнений с коэффициентами, полученными в результате эксперимента;

3. численный метод - решение уравнений с частными производными методами конечных разностей и конечного элемента;

4. вычислительная гидравлика потоков со свободными поверхностями;

III. физическое моделирование - экспериментальные, эмпирические зависимости на основе физической модели с гидродинамическим подобием.

Особенности: погрешность при измерении величин (теория ошибок); математическое планирование физического эксперимента - на основе факторов устанавливается состав и необходимое количество экспериментов для получения достоверных зависимостей.

56. Гидродинамическое подобие

<u>Гидродинамическое подобие</u> состоит из:

1. геометрического - подобие линейных размеров и их соотношений;

2. кинематического - подобие скоростей и ускорений точек;

3. динамического - подобие сил, действующих на точки;

<u>Полное гидродинамическое подобие</u> - учет всех сил, <u>частичное</u> - наиболее важных сил, действующих на тело.

57. Критерии гидродинамического подобия

Полное подобие недостижимо, поэтопу установлено критерии подобия частных случаев при преобладании определенной силы, равные как для модели, так и для реальной системы:

1. сила тяжести - число Фруда: $Fr = v^2/gl$;
2. сила трения - число Рейнольдса: $Re = vl/\nu$;
3. сила давления - число Эйлера: $Eu = p/\rho v^2$;
4. сила поверхностного натяжения - число Вебера: $We = \rho v^2 l/\sigma$, где σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;
5. сила инерции - число Ньютона: $F/\rho S v^2$.