

**Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
Инженерно-технологический институт
Кафедра технологического оборудования
животноводства и перерабатывающих производств**

Паршикова Л. А., Случевский А.М.

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ
для бакалавров очного и заочного обучения направления
подготовки: 20.03.01- Техносферная безопасность
профиль – Пожарная безопасность**

Брянская область - 2016

УДК 532.5 (07)
ББК 22.253
П 18

Паршикова, Л. А. Методические указания к решению задач по курсу «Гидрогазодинамика» для бакалавров очного и заочного обучения направления подготовки: 20.03.01 - Техносферная безопасность профиль – Пожарная безопасность / Л. А. Паршикова, А. М. Случевский. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. - 44 с.

Рецензент: доцент кафедры технического сервиса Брянского ГАУ, к.т.н. С. И. Будко.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол № 6 от 08 февраля 2018 года.

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2016

© Паршикова Л. А., 2016

© Случевский А. М., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Цель и задачи курса..... | 4 |
| Рекомендуемая литература..... | 4 |
| ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТЯХ | |
| Практическое занятие №1 - Физико-механические свойства жидкости..... | 5 |
| II ГИДРОСТАТИКА | |
| Практическое занятие №2 - Основное уравнение гидростатики | 9 |
| Практическое занятие №3 - Графическое изображение давления..... | 12 |
| Практическое занятие №4 - Сила гидростатического давления жидкости на поверхности | 15 |
| III ГИДРОДИНАМИКА | |
| Практическое занятие №5 - Основы кинематики и динамики жидкости..... | 20 |
| Практическое занятие №6 - Гидравлические сопротивления..... | 26 |
| Практическое занятие №7 - Истечение жидкости через отверстия, насадки и короткие трубы..... | 31 |
| Практическое занятие №8 - Расчет трубопровода при равномерном напорном движении жидкости..... | 37 |
| Практическое занятие №9 – Гидравлический удар жидкости | 41 |

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА

Законы покоя и движения жидкости и газов имеют самое широкое и разнообразное применение. На основе этих законов проводятся расчеты по определению силы давления воды на плоские и криволинейные поверхности, определяются размеры каналов, трубопроводов, отверстий, насадков и т.д. Курс гидрогазодинамики основывается на законах механики и высшей математики и является связующей и необходимой частью для последующего изучения специальных курсов.

Цель изучаемого курса - установление взаимосвязи законов относительного покоя и движения жидкостей и газов с возможными способами применения этих законов при решении практических задач в различных областях техники и сельского хозяйства.

В результате изучения курса студент должен познать основные законы и методы расчетов в области гидравлики и научиться их применять в практической деятельности.

По курсу гидрогазодинамики рекомендуется следующая литература:

Основная:

1. Гусев А.А. Гидравлика. Теория и практика. М.: Юрайт, 2015. 320 с.
2. Кудинов А.А. Гидрогазодинамика. М.: Инфра, 2014.

Дополнительная:

1. Давидсон В.Е. Основы гидрогазодинамики в примерах и задачах. М.: Академия, 2008. 352 с.
2. Кудинов В.А. Гидравлика: учебное пособие. М.: Высшая школа, 2007.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТЯХ

Практическое занятие №1 - Физико-механические свойства жидкости

Цель занятия - ознакомиться с основными физическими свойствами жидкостей и их влиянием на характеристики гидравлических процессов в трубах, каналах, гидросооружениях.

Методические советы

Изучение темы следует начать с вопроса о предмете «Гидравлика» и его значении при решении инженерных задач в различных областях техники и сельского хозяйства.

При изучении физических свойств жидкости следует понять, в чем заключается особенность применения методов механики твердых тел к жидкости.

Жидкость – это физическое тело, обладающее двумя особыми свойствами:

1. Весьма мало изменяет свой объём при изменении давления и температуры;
2. Обладает текучестью, благодаря чему, не имеет собственной формы и принимает форму того сосуда, в котором она находится.

Основными физическими свойствами ньютоновских жидкостей (т.е. вязких жидкостей, отвечающих закону Ньютона о внутреннем трении) являются плотность, удельный вес, относительный вес, сжимаемость, температурное расширение, вязкость, поверхностное натяжение, текучесть.

Плотностью жидкости ρ называется отношение массы жидкости M к её объёму W :

$$\rho = \frac{M}{W}, \quad \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right].$$

Удельным (объемным) весом жидкости называется отношение веса жидкости G к её объёму W :

$$\gamma = \frac{G}{W}, \quad \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \right].$$

Плотность жидкости ρ , и удельный вес связаны между собой соотношением:

$$\gamma = \rho g$$

Относительным весом δ называется отношение удельного веса данной жидкости к удельному весу дистиллированной воды, взятой в том же объеме при температуре 4°C:

$$\delta = \frac{\gamma_{жс}}{\gamma_в}$$

где $\gamma_{жс}$ - удельный вес жидкости; $\gamma_в$ - удельный вес дистиллированной воды.

Сжимаемость - свойство жидкости изменять свой объём при изменении давления. Сжимаемость характеризуется коэффициентом объёмного сжатия β_c , представляющим относительное изменение объема жидкости W при изменении давления p на единицу:

$$\beta_c = - \frac{dW}{W dp}.$$

Знак минус обусловлен тем, что положительному приращению давления p соответствует уменьшение объема W .

Величина, обратная коэффициенту объёмного сжатия, называется модулем упругости жидкости $E_{ж}$:

$$E_{ж} = \frac{1}{\beta_c}$$

Температурное расширение - свойство жидкости изменять объём при изменении температуры. Характеризуется коэффициентом температурного расширения β_t , представляющим относительное изменение объёма жидкости при изменении температуры на единицу (на 1°C) при постоянном давлении:

$$\beta_t = \frac{dW}{Wdt}, \quad ^\circ\text{C}^{-1}$$

Вязкость - свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу слоёв. Характеризуется коэффициентом динамической вязкости μ :

В гидравлических расчётах кроме динамической вязкости широко используется **кинематическая вязкость** ν , равная отношению динамической вязкости μ к плотности жидкости ρ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Поверхностное натяжение - свойство жидкости образовывать поверхностный слой взаимно притягивающихся молекул. Поверхностное натяжение стремится сократить свободную поверхность жидкости и характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения, численно равным силе на единице длины контура свободной поверхности.

Поверхностное натяжение определяется видом жидкости, газа над ее свободной поверхностью, примесями и температурой.

Кроме перечисленных свойств, жидкость обладает испарением, конденсацией, кипением, смачиванием, смешиваемостью.

Испарение - постепенный переход вещества из жидкого состояния в газообразную фазу (пар). При тепловом движении некоторые молекулы покидают жидкость через её поверхность и переходят в пар. Вместе с тем, часть молекул переходит обратно из пара в жидкость. Если из жидкости уходит больше молекул, чем приходит, то имеет место испарение.

Конденсация - обратный испарению процесс, переход вещества из газообразного состояния в жидкое. При этом в жидкость переходит из пара больше молекул, чем в пар из жидкости.

Испарение и конденсация - неравновесные процессы, они происходят до тех пор, пока не установится локальное равновесие (если установится), причём жидкость может полностью испариться, или же прийти в равновесие со своим паром, когда из жидкости выходит столько же молекул, сколько возвращается.

Кипение - процесс парообразования внутри жидкости. При достаточно высокой температуре давление пара становится выше давления внутри жидкости, и там начинают образовываться пузырьки пара, которые (в условиях земного притяжения) всплывают наверх.

Смачивание - поверхностное явление, возникающее при контакте жидкости с твёрдой поверхностью в присутствии пара, то есть на границах раздела трёх фаз. Смачивание характеризует «прилипание» жидкости к поверхности и растекание по ней (или, наоборот, отталкивание и нерастекание).

Смешиваемость - способность жидкостей растворяться друг в друге. Пример смешиваемых жидкостей: вода и этиловый спирт, пример несмешиваемых: вода и жидкое масло. При нахождении в сосуде двух

смешиваемых жидкостей молекулы, в результате теплового движения, начинают постепенно проходить через поверхность раздела, и таким образом жидкости постепенно смешиваются. Это явление называется диффузией (происходит также в веществах, находящихся в других агрегатных состояниях).

II ГИДРОСТАТИКА

Практическое занятие №2 - Основное уравнение гидростатики

Цель занятия - ознакомиться с понятием гидростатического давления, изучить его свойства. Научиться решать задачи с применением основного уравнения гидростатики.

Методические советы

Гидростатику следует рассматривать как раздел гидромеханики, посвященный теории равновесия жидкости и ее взаимодействию с твердыми телами.

При абсолютном и относительном покое на жидкость действуют поверхностные и массовые силы. Под действием этих сил внутри объема жидкости возникает напряжение сжатия, которое называется **гидростатическим давлением** p .

В точке гидростатическое давление направленно по внутренней нормали к площадке действия, а его численное значение не зависит от ориентации площадки.

Единицей давления в системе СИ является паскаль [$Па$].

Основным уравнением гидростатики является уравнение

$$z + \frac{p}{\rho g} = const$$

Оно справедливо при абсолютном покое жидкости, когда из массовых сил действует только сила тяжести. Здесь z - вертикальная координата рассматриваемой точки; p - давление в точке, ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения.

Из основного уравнения гидростатики получают формулу для определения давления в любой точке покоящейся жидкости:

$$p = p_0 + \rho gh,$$

где h - глубина погружения точки под свободную поверхность.

Обычно абсолютное давление сравнивают с атмосферным давлением. Превышение давления над атмосферным называют избыточным (манометрическим) давлением:

$$p_m = p - p_{am}$$

Если $p_0 = p_{am}$, то $p_m = p_0 + \rho gh - p_{am} = \rho gh$.

Недостаток давления до атмосферного называют вакуумом:

$$p_{\text{вак}} = p_{am} - p$$

ЗАДАЧИ 1-5

Задача 1 Давление на поверхности воды в сосуде $p > p_{am}$ (рисунок 1а). В пьезометре, установленном в точке C на глубине $h_c = 0,5$ м вода поднялась на высоту $h = 1,5$ м. Определить, манометрическое давление в точке C и на свободной поверхности в сосуде. Определить полное гидростатическое давление в сосуде над жидкостью.

Ответ: $p_m = 98100 \text{ Па}$; $p = 107,91 \text{ кПа}$

Задача 2 Определить высоту h , на которую поднимается вода в вакуумметре (рисунок 1 б), если полное гидростатическое давление в баллоне $p = 78,48$ кПа.

Ответ: $H = 2,0$ м

Задача 3 Определить полное и манометрическое давление в сосуде с водой, если высота столба ртути в трубке $h_p = 30$ см, а линия раздела между ртутью и водой (рисунок 1 в) расположена ниже оси сосуда на величину $h = 10$ см.

Ответ: $p_m = 39,04$ кПа; $p = 137,14$ кПа

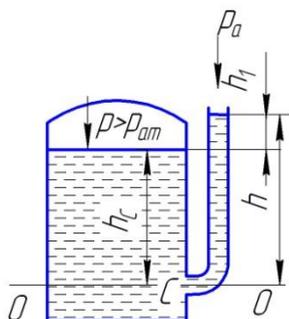
Задача 4 Дифференциальный ртутный манометр присоединен к двум трубопроводам C и D с водой (рисунок 1 г). Определить разность давлений в трубопроводах, если высота столба ртути $h_p = 40$ см.

Ответ: $p_D - p_C = 49,44$ кПа

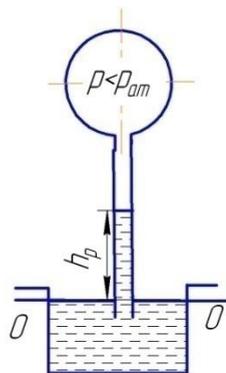
Задача 5 Определить разность давлений в резервуарах C и D , если их центры расположены на расстоянии z , а разность уровней рабочей жидкости в дифференциальном манометре h . Плотность рабочей жидкости ρ_j . Сосуды заполнены водой (рисунок 1 д). Произвести вычисления при следующих данных: $z = 0,5$ м; $\rho_{pm} = 13600$ кг/м³; $h = 0,1$ м.

Ответ: $p_D - p_C = 745,6$ Па

Схемы к задачам 1-5



а)



б)

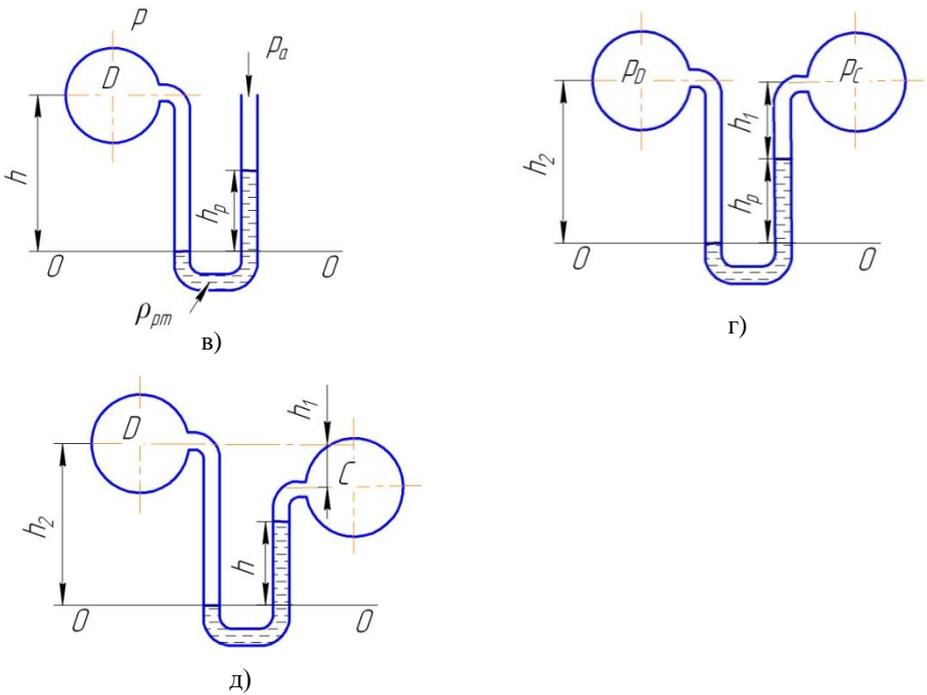


Рисунок 1 - Схемы к задачам 1 - 5

Практическое занятие №3 - Графическое изображение давления

Цель занятия - научиться изображать графически изменение гидростатического давления по глубине вдоль плоских поверхностей.

Методические советы

Изучение темы следует начать с понятия, что такое эпюра гидростатического давления.

Графическое изображение изменения гидростатического давления вдоль плоской стенки в зависимости от глубины называется диаграммой распределения давления или **эпюрой давления**.

Из основного уравнения гидростатики следует, что давление вдоль какой-либо плоской стенки изменяется по линейному закону:

$$p = p_0 + \rho gh$$

Т.к. давление жидкости всегда направленно по внутренней нормали к площадке действия, то отложив в соответствующих точках перпендикуляры, изображающие в масштабе манометрическое (либо полное давление) и соединив их концы, можно получить эпюру манометрического (либо полного) давления на данную стенку.

Эпюра давления строится со стороны воды и штрихуется по направлению действия давления. Каждый отрезок эпюры гидростатического давления в масштабе изображает величину и направления давления в данной точке; например, отрезок DB изображает манометрическое давление в точке B , а отрезок EC - в точке C (рисунок 2).

Пример: Построить эпюру манометрического давления на стенку ABC (рисунок 22).

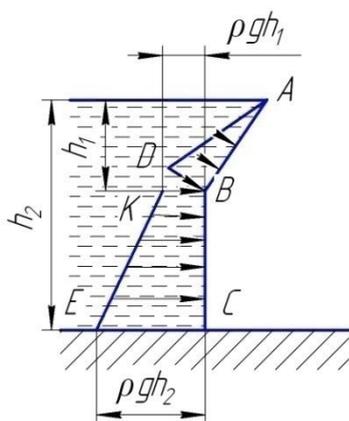


Рисунок 2- Схема к примеру

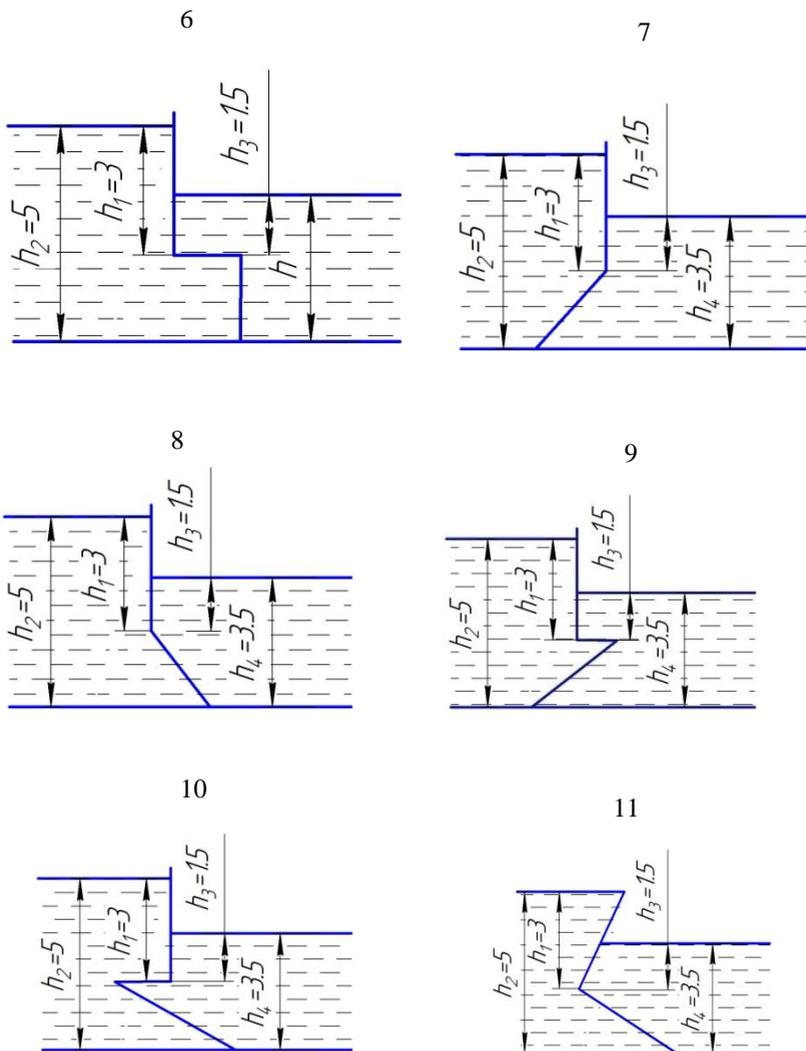
Решение:

Эпюра манометрического давления на верхнюю часть AB изображается треугольником с основанием $p_0 = \rho gh$. Откладываем в точке B нормально к стенке AB отрезок ρgh_1 . Получаем треугольную эпюру ABD . Для нижней части BC в точке B откладываем отрезок ρgh_1 нормально к стенке BC . В точке C откладываем отрезок $p_c = \rho gh_2$. На участке BC получаем трапециевидальную эпюру

$BCEK$. Штрихуем эпюры нормально к поверхностям AB и BC .

ЗАДАЧИ 6-15

Построить эпюры манометрического давления воды на плоские поверхности в соответствии с вариантом (рисунок 3).



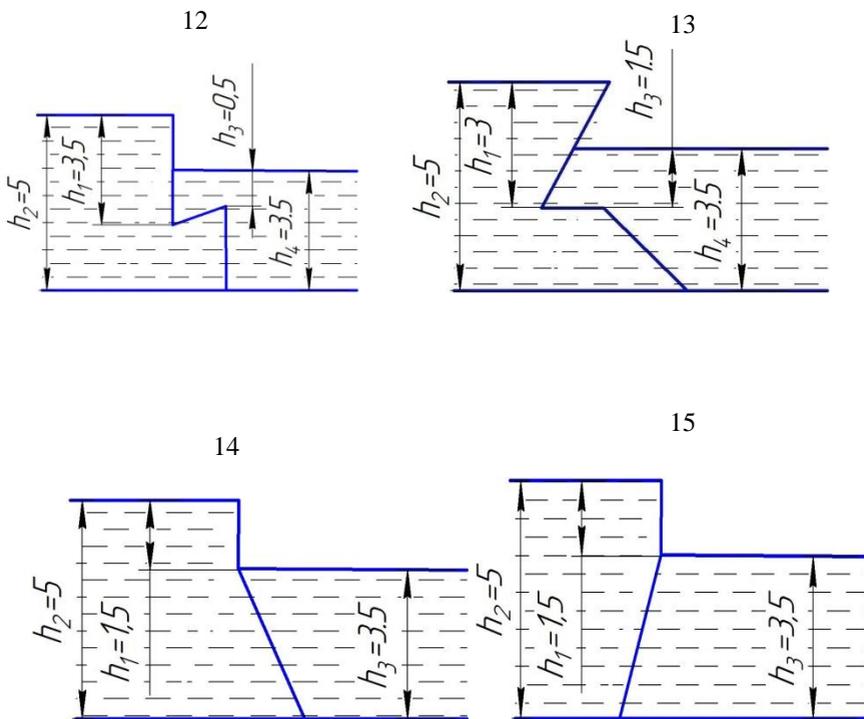


Рисунок 3 – Схемы к задачам 6-15

Практическое занятие №4 - Сила гидростатического давления жидкости на поверхности

Цель работы - научиться вычислять силу гидростатического давления воды на плоские произвольно ориентированные и цилиндрические поверхности и определять положение центра давления.

Методические советы

Изучение темы следует начать с понятий **сила давления** и **центр давления**.

Сила давления покоящейся жидкости на плоскую наклонную стенку равна по величине произведению смоченной площади этой стенки на давление, испытываемое ее центром тяжести, и направлена по внутренней нормали к площадке действия. Если $p_0 = p_{at}$ сила избыточного давления равна:

$$P = \rho g h_{ц.т.} \omega$$

где; ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, $h_{ц.т.}$ - глубина погружения центра тяжести плоской стенки под свободную поверхность; ω - смоченная площадь стенки.

Линия действия силы P пересекает плоскую стенку в точке D , которая называется **центром давления**. Центр давления всегда расположен на оси симметрии плоской стенки ниже центра тяжести (рисунок 4).

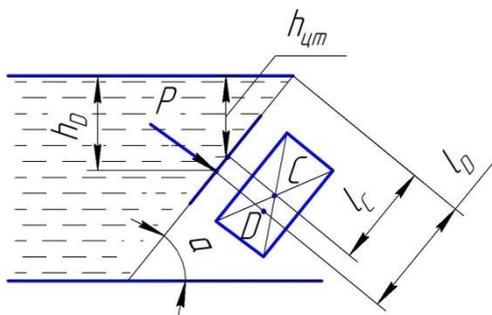


Рисунок 4 - Схема к определению силы гидростатического давления на плоскую стенку, расположенную под углом α к линии горизонта.

Для определения положения центра давления достаточно найти расстояние от линии уреза жидкости (линии пересечения свободной поверхности с плоскостью стенки) до точки D , т.е. координату l_D

$$l_D = l_c + \frac{I_0}{\omega l_c},$$

где l_c - расстояние от линии уреза до центра тяжести стенки, измеряемое вдоль наклонной плоскости; I_0 - момент инерции смоченной площади относительно оси, проходящей параллельно линии уреза жидкости через центр тяжести этой площади.

Сила давления покоящейся жидкости на цилиндрические поверхности, образующая которых параллельна оси OY , определяется по формуле:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

где: P_x и P_z - горизонтальная и вертикальная составляющие силы P , параллельные координатным осям.

Горизонтальная составляющая представляет собой горизонтальную проекцию силы давления жидкости на цилиндрическую поверхность и определяется по формуле:

$$P_x = \rho g h_c \omega_x$$

где: ρ - плотность воды; g - ускорение свободного падения; ω_x - площадь проекции смоченной криволинейной поверхности на вертикальную плоскость, перпендикулярную оси I ; h_c - глубина погружения центра тяжести этой проекции под свободную поверхность.

Вертикальная составляющая представляет собой вес жидкости в объеме тела давления и определяется по формуле:

$$P_z = \rho g W,$$

где: W - объем тела давления (объем, ограниченный криволинейной поверхностью, ее проекцией на свободную поверхность и вертикальными проектирующими плоскостями).

Результирующая сила P гидростатического давления действует по нормали к цилиндрической поверхности, проходит по радиусу через центр кривизны под углом α к линии горизонта.

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x}.$$

ЗАДАЧИ 16-20

Задача 16 Определить силу давления на затвор, перекрывающий отверстие донного водовыпуска, если затвор прямоугольный (рисунок 5а). Ширина затвора $b = 1 \text{ м}$, глубина погружения его верхней кромки – $a = 0,8 \text{ м}$, нижней $h = 2,0 \text{ м}$. Угол наклона затвора $\alpha = 60^\circ$.

Ответ: $P = 19,3 \text{ кН}$

Задача 17 Определить аналитическим способом силу давления воды на вальцовый затвор (рисунок 5б), если глубина воды перед затвором $h = 3 \text{ м}$, диаметр затвора $d = 2 \text{ м}$, ширина затвора $b = 8 \text{ м}$.

Ответ: $P = 337 \text{ кН}$

Задача 18 Определить аналитическим способом силу давления и построить эпюру давления воды на плоскую прямоугольную стенку (рисунок 5в) шириной $b = 10 \text{ м}$, наклоненную к горизонту под углом $\alpha = 60^\circ$. Глубина потока в верхнем бьефе (верхнем участке водотока) $H = 8 \text{ м}$ и справа от стенки (в нижнем бьефе) $b = 5 \text{ м}$.

Ответ: $P = 2\,214\,117\text{ Н}$

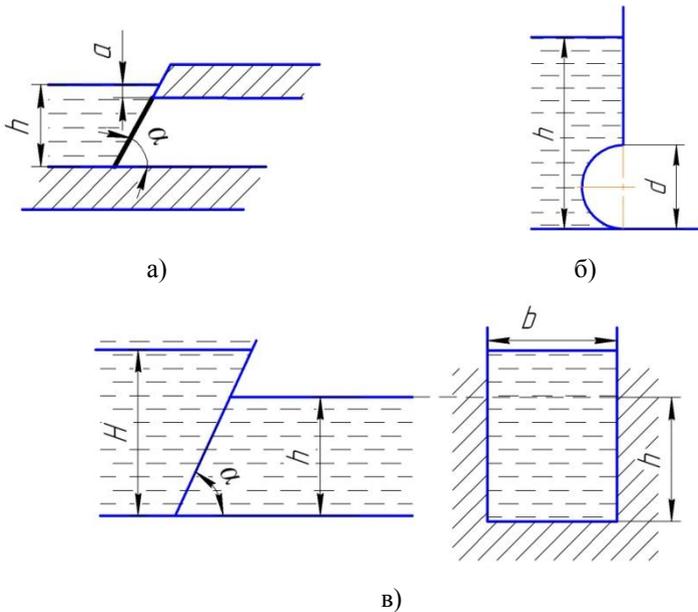
Задача 19 Определить силу давления воды на плоскую вертикальную стенку, перекрывающую трапециевидальный канал, если размеры стенки $B = 3\text{ м}$, $b = 1,5\text{ м}$, глубина воды перед стенкой $H = 2\text{ м}$, $\alpha = 90^\circ$ (рисунок 5 г).

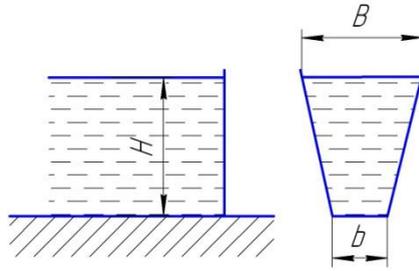
Ответ: $P = 39\,240\text{ Н}$

Задача 20 Определить силы P_x и P_y , стремящиеся разорвать торцевую, полусферическую часть цистерны (рисунок 5д) диаметром $D = 3\text{ м}$, заполненной нефтью ($\rho_m = 800\text{ кг/м}^3$), по сечениям 1-1 и 2-2. Уровень нефти находится на высоте $h = 0,5\text{ м}$ над цилиндрической частью цистерны.

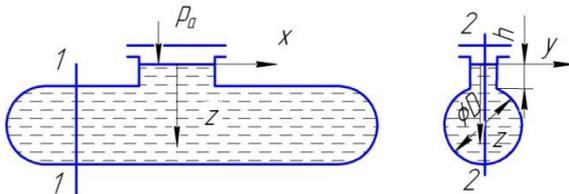
Ответ: $P_x = 111\,000\text{ Н}$; $P_y = 55\,500\text{ Н}$

Схемы к задачам 16-20





Г)



Д)

Рисунок 5 – Схемы к задачам 16 - 20

III ГИДРОДИНАМИКА

Практическое занятие №5 - Основы кинематики и динамики жидкости

Цель занятия - понять взаимосвязь между кинематическими характеристиками потока реальной жидкости (скорость, расход и др.) и гидродинамическими характеристиками (давление, напор, и др.).
 Научиться решать задачи с применением уравнение Бернулли.

Методические советы

Кинематика жидкости

В разделе кинематики изучаются виды и формы движения жидкости, не касаясь вопроса о силах, вызвавших эти движения.

Особое внимание следует обратить на понятие об установившемся и неустановившемся движении жидкости.

Следует знать, что называется линией тока, трубкой тока, элементарной струйкой, живым сечением и расходом элементарной струйки; что понимается под потоком жидкости, живым сечением и площадью живого сечения потока, гидравлическим радиусом, расходом и средней скоростью потока в данном сечении.

Уравнение движения реальной жидкости – уравнение Бернулли

Одним из основных уравнений динамики реальной (вязкой) жидкости является уравнение Бернулли, которое при установившемся плавно изменяющемся движении потока реальной жидкости имеет вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{mp} .$$

Уравнение Бернулли составляется для двух сечений потока жидкости относительно произвольной горизонтальной плоскости отсчёта и выражает закон сохранения энергии в потоке:

$$z + \frac{p}{\rho g} = H_n - \text{удельная потенциальная энергия потока;}$$

$$\frac{av^2}{2g} - \text{удельная кинетическая энергия потока;}$$

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{av^2}{2g} = H - \text{полная энергия потока.}$$

h_{mp} - потери напора, т.е. та часть удельной энергии, которая затрачивается на преодоление сил гидравлического сопротивления на пути от сечения 1-1 до сечения 2-2, обращаясь в тепловую энергию.

Все члены уравнения Бернулли имеют размерность длины.

При работе с уравнением Бернулли полезно руководствоваться следующими указаниями:

1. Уравнение Бернулли составляется для двух живых (нормальных к направлению скорости) сечений потока относительно горизонтальной плоскости сравнения.

2. Одно из сечений рекомендуется брать там, где известно либо p , либо v , либо z , чтобы исключить одну из этих величин.

3. Горизонтальную плоскость сравнения удобно выбирать таким образом, чтобы исключить одну из z .

4. Следует учесть все потери на трение на рассматриваемом участке.

Суммарные потери напора определяются:

$$h_{mp} = \sum h_m + \sum h_l,$$

где - $\sum h_m$ - сумма местных сопротивлений на расчетных участках;

$\sum h_l$ - сумма потерь по длине.

Уравнение Бернулли обычно применяют совместно с уравнением неразрывности, которое при установившемся движении несжимаемой жидкости записывается в виде:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = \dots = v_i \omega_i = Q = const.$$

ЗАДАЧИ 21-30

Задача 21 Определить среднюю скорость в напорном трубопроводе в сечении 2-2 (рисунок 6а) и расход, если известны $d_1 = 50 \text{ мм}$ и $d_2 = 100 \text{ мм}$, а также средняя скорость в сечении 1-1 $v_1 = 2,5 \text{ м/с}$.

Ответ: $Q = 4,9 \text{ л/с}$; $v_2 = 0,625 \text{ м/с}$

Задача 22 Определить при помощи водомера Вентури расход, проходящий по трубопроводу, если диаметр трубопровода $d_1 = 100 \text{ мм}$, диаметр горловины $d_2 = 56 \text{ мм}$, разность показаний пьезометров $h = 45 \text{ см}$ (рисунок 6б). Потерями напора пренебречь.

Ответ: $Q = 7,32 \text{ л/с}$.

Задача 23 Определить давление p_1 в сечении 1-1 горизонтально расположенного сопла гидромонитора (рисунок 6в), необходимое для придания скорости воде в выходном сечении 2-2 $v_2 = 40 \text{ м/с}$, если скорость движения воды в сечении 1-1 $v_1 = 3 \text{ м/с}$. Потерями напора пренебречь.

Ответ: $p_1 = 895 \text{ 500 Па}$

Задача 24 Определить диаметр d суженной части горизонтального трубопровода (рисунок 6г), при котором вода поднимается на высоту $h = 3,5 \text{ м}$. Расход $Q = 6 \text{ л/с}$, диаметр $D = 10 \text{ см}$. Потерями напора пренебречь.

Ответ: $d = 3 \text{ см}$

Задача 25 Определить расход воды в горизонтальном трубопроводе переменного сечения, скорости на каждом из его участков и построить пьезометрическую линию, если постоянный расход $H = 5 \text{ м}$, $d_1 = 15 \text{ мм}$, $d_2 = 20 \text{ мм}$, $d_3 = 10 \text{ мм}$ (рисунок 6д). Потерями напора пренебречь.

Ответ: $Q = 0,00078 \text{ м}^3/\text{с}$; $v_1 = 4,4 \text{ м/с}$; $v_2 = 2,48 \text{ м/с}$; $v_3 = 9,9 \text{ м/с}$

Задача 26 По трубопроводу переменного сечения протекает вода (рисунок 6е) с расходом $Q = 9 \text{ л/с}$, диаметр суженной части трубопровода $d_2 = 50 \text{ мм}$. Определить разность показаний пьезометров h при диаметре основного трубопровода $d_1 = 75 \text{ мм}$.

Ответ: $h_1 = 0,84 \text{ м}$

Задача 27 Из резервуара вода вытекает через трубку переменного сечения с небольшим углом конусности и диаметрами $d_1 = 100 \text{ мм}$ и $d_2 = 150 \text{ мм}$. Определить напор H , при котором давление в трубке диаметром d_1 станет $p_1 = 49 \text{ кПа}$, если давление на поверхность воды в резервуаре равно атмосферному (рисунок бж).

Ответ: $H = 1,25 \text{ м}$

Задача 28 Из открытого резервуара вода вытекает по расширяющейся трубе диаметрами $d_1 = 100 \text{ мм}$ и $d_2 = 150 \text{ мм}$, длиной от суженной части до выходного сечения $H_2 = 1,15 \text{ м}$. Найти при каком напоре H_1 в верхнем резервуаре полное давление p в суженной части трубы станет равным 49 кПа (рисунок бз).

Ответ: $H_1 = 1,3 \text{ м}$

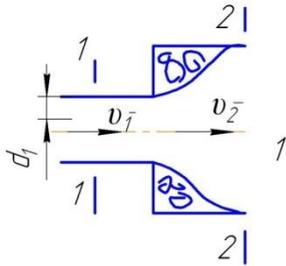
Задача 29 Вода вытекает в атмосферу из закрытого резервуара, имеющего ртутный манометр (рисунок би), по трубке переменного сечения с диаметрами $d_1 = 75 \text{ мм}$ и $d_2 = 75 \text{ мм}$, при напоре $H = 1 \text{ м}$. Построить пьезометрическую линию и определить расход воды в трубе при показании ртутного манометра $h = 150 \text{ мм}$.

Ответ: $Q = 15,4 \text{ л/с}$

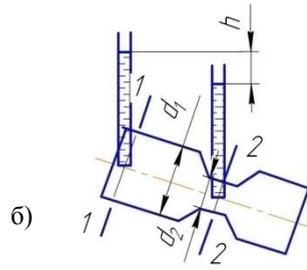
Задача 30 Из открытого резервуара по сифонному трубопроводу (рисунок бк) вытекает вода. Определить при каком расстоянии z_1 между уровнем воды в резервуаре и выходом из трубы и при каком расходе давление в сечении $x-x$ достигнет $p_x = 0,049 \text{ МПа}$, если ось трубы в сечении $x-x$ выше уровня воды в резервуаре на величину $z_2 = 3 \text{ м}$, а диаметр трубопровода равен $d = 50 \text{ мм}$.

Ответ: $Q = 12,1 \text{ л/с}$; $z_1 = 2 \text{ м}$

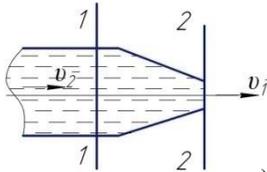
Схемы к задачам 21-30



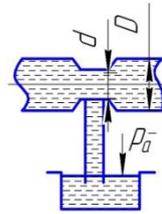
а)



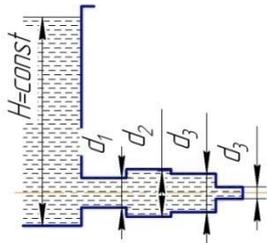
б)



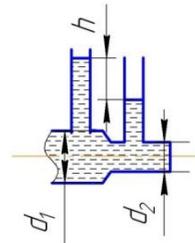
в)



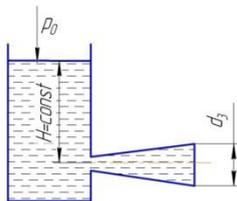
г)



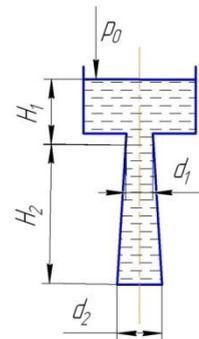
д)



е)



ж)



з)

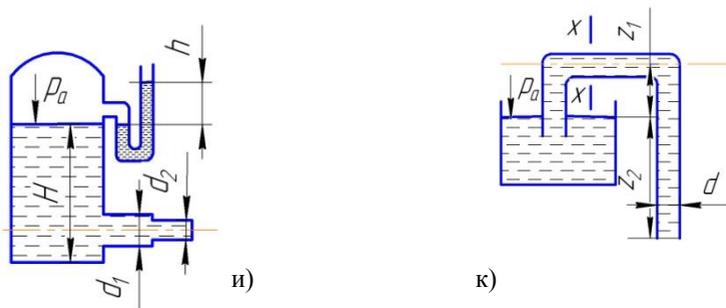


Рисунок 6 - Схемы к задачам 21-30

Практическое занятие № 6 - Гидравлические сопротивления

Цель занятия – научиться решать задачи на установление взаимосвязи между потерями напора, средней скоростью, длиной участка потока, гидравлическим радиусом, относительной шероховатостью, числом Рейнольдса, видом гидравлического сопротивления и т.д.

Методические советы

При изучении материала темы необходимо особое внимание сосредоточить на режимах движения жидкости. Экспериментальные исследования показывают наличие 2-х режимов движения жидкости: ламинарного и турбулентного.

Устойчивый переход от турбулентного режима к ламинарному, происходит при строго определённом значении числа Рейнольдса, которое называют критическим числом Рейнольдса Re , причём для труб круглого сечения $Re = 2320$,

$$Re = \frac{v d}{\nu}$$

где ν - средняя скорость, при которой происходит устойчивый переход от турбулентного режима к ламинарному; d - диаметр трубопровода; ν - кинематическая вязкость жидкости.

Гидравлические сопротивления (потери напора) существенно зависят от режима движения жидкости.

Потери напора по длине вычисляется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}.$$

При ламинарном режиме коэффициент Дарси λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{64}{Re}.$$

Потери напора по длине при турбулентном режиме зависят от отношения абсолютной (или эквивалентной) шероховатости труб Δ и толщины ламинарной пленки δ , в пределах которой движение близко к ламинарному. Под эквивалентной шероховатостью понимают высоту выступов равнoзернистой шероховатости из однородного песка, при которой в квадратичной области сопротивление получают такое же значение Δ , что и в рассматриваемой трубе с технической шероховатостью.

При турбулентном режиме движения жидкости наблюдают три области гидравлического сопротивления:

- 1 - область гидравлических гладких стенок; когда $\delta > \Delta$;
- 2 - переходная область сопротивления, когда $\delta = \Delta$;
- 3 - область шероховатых стенок или квадратичная область сопротивления, когда $\delta < \Delta$.

Следует знать основные формулы для определения коэффициента Дарси λ при турбулентном движении жидкости в гладких и шероховатых трубах и в переходной области сопротивления, а так же границы применения этих формул.

ЗАДАЧИ 31-40

Задача 31 Определить потери напора при движении воды со скоростью $v = 10 \text{ см/с}$ по трубе диаметром $d = 2,5 \text{ см}$, длиной $l = 25 \text{ м}$. Трубы стальные новые, температура воды $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,0131 \text{ см}^2/\text{с}$).

Ответ: $h_l = 1,49 \text{ см}$

Задача 32 Определить потери напора в трубопроводе длиной $l = 1200 \text{ м}$ при расходе $Q = 50 \text{ л/с}$, если трубы имеют диаметр $d = 250 \text{ мм}$ и абсолютную шероховатость $\Delta = 0,5 \text{ мм}$. Температура воды $t = 15^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,0114 \text{ см}^2/\text{с}$).

Ответ: $h_l = 6,13 \text{ м}$

Задача 33 Определить без учета местных сопротивлений манор для обеспечения пропускания расхода масла $Q = 0,5 \text{ л/с}$ по трубопроводу постоянного сечения диаметром $d = 25 \text{ мм}$, длиной $l = 75 \text{ м}$, если коэффициент кинематической вязкости ν масла равен $0,5 \text{ см}^2/\text{с}$.

Ответ: $H = 20 \text{ м}$

Задача 34 Определить гидравлически гладкими или шероховатыми являются трубы, бывшие в эксплуатации (нормальные трубы, $\Delta = 1,35 \text{ мм}$), диаметром $d = 300 \text{ мм}$, если известно число Рейнольдса $Re = 300\,000$, а коэффициент потерь по длине $\lambda = 0,02$.

Ответ: трубы - гидравлически шероховатые.

Задача 35 Определить расход Q , протекающий по горизонтальному трубопроводу (рисунок 7а), если известны напор $H = 4 \text{ м}$, длина трубопровода $l = 52 \text{ м}$, диаметр трубопровода $d = 100 \text{ мм}$. Абсолютная ше-

роховатость стенок трубопровода $\Delta = 1 \text{ мм}$, температура воды $t = 20^\circ \text{C}$.

Ответ: $Q = 15,67 \text{ л/с}$.

Задача 36 Определить напор H , необходимый для пропуска расхода воды $Q = 12 \text{ л/с}$ по старому стальному трубопроводу (рисунок 76). Общая длина трубопровода $L = 200 \text{ м}$. Кинематический коэффициент вязкости принять $\nu = 0,0131 \text{ см}^2/\text{с}$.

Ответ: $H=11,3 \text{ м}$

Задача 37 Из резервуара нефть протекает по стальному нефтепроводу диаметром $d = 250 \text{ мм}$ и длиной $l = 1000 \text{ м}$. Плотность нефти $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, а кинематический коэффициент вязкости $\nu = 1 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить необходимый уровень нефти в резервуаре над входом в трубопровод, если уклон трубопровода $i = 0$, а расход нефти $Q = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$

Задача 38 Определить расход воды в трубопроводе длиной $l = 120 \text{ м}$ (рисунок 7в), построить напорную и пьезометрическую линии, если длина первого участка $l_1 = 75 \text{ м}$, его диаметр $d_1 = 100 \text{ мм}$, диаметр второго участка $d_2 = 150 \text{ мм}$, напор в баке $H = 4,5 \text{ м}$. Отметка начала трубопровода $z = 5 \text{ м}$, отметка конца $z_k = 3,5 \text{ м}$, гидравлические коэффициенты трения $\lambda_1 = 0,03$, $\lambda_2 = 0,027$.

Задача 39 Вода перетекает из одного бака в другой при постоянных уровнях по трубе переменного сечения (рисунок 7г) диаметры и длины участков которой соответственно равны $l_1 = 20 \text{ м}$, $d_1 = 100 \text{ мм}$, $l_2 = 30 \text{ м}$, $d_2 = 150 \text{ мм}$, а коэффициенты трения $\lambda_2 = 0,03$. Определить расход Q в трубе при $H = 4 \text{ м}$ и $H_2 = 2 \text{ м}$. Определить разность уровней воды в баках $\Delta H = H_1 - H_2$ при расходе воды в трубопроводе $Q = 14 \text{ л/с}$.

Ответ: $Q = 28 \text{ л/с}$; $\Delta H = 0,51 \text{ м}$

Задача 40 Из реки в колодец поступает вода (рисунок 7д) с расходом $Q = 50 \text{ л/с}$ по трубе длиной $l = 120 \text{ м}$, имеющей сетку с обратным клапаном. Приняв коэффициент трения $f_2 = 0,022$, определить разность

Практическое занятие №7 – Истечение жидкости через отверстия, насадки и короткие трубы

Цель занятия - понять взаимосвязь между расходом Q , скоростью v , напором H и другими гидравлическими характеристиками при истечении жидкости через отверстия, насадки и гидравлически короткие трубы. Научиться решать задачи по данной теме.

Методические советы

Изучение темы следует начать с вопроса об истечении жидкости из резервуара через малое незатопленное отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре. Необходимо уметь применять уравнение Бернулли для расчетных сечений с целью получения формул для определения скорости и расхода Q жидкости при истечении через малое отверстие, методику определения коэффициента μ , скорости v и сжатия ε , иметь представление о совершенном и несовершенном, полном и неполном сжатии.

При свободном истечении через малое отверстие при постоянном напоре расход определяется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0},$$

где μ - коэффициент расхода; $\mu = \varphi \varepsilon$ (φ - коэффициент скорости; $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sqrt{\zeta}}}$); α - коэффициент Кориолиса, $\sqrt{\zeta}$ - сумма коэффициентов сопротивления при истечении; ε - коэффициент сжатия; $\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}$, ω_c - площадь струи в сжатом сечении, которое наблюдают на расстоянии $0,5d_{om}$ входного (круглого) сечения); H_0 - напор с учетом скорости подхода v_0 жидкости к отверстию; $H_0 = H + v_0^2/2g$, H - напор над отверстием); g - ускорение свободного падения.

Если истечение несвободное, то есть происходит под уровень жидкости, то напором будет являться разность уровней z перед отверстием и за ним:

$$z_0 = z + \left(\frac{v_{01}^2}{2g} - \frac{v_{02}^2}{2g} \right),$$

и формула расхода примет вид:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gz_0}$$

При определении расхода Q можно считать $H = H_0$ или $z = z_0$, если площадь поперечного сечения сосуда больше пятикратной площади сечения отверстия.

Далее следует ознакомиться с истечением жидкости через насадки, рассмотреть виды насадков: цилиндрические - внешний и внутренний, конические - сходящийся и расходящийся, коноидальный (рисунок 8 а, б, в, г, д).

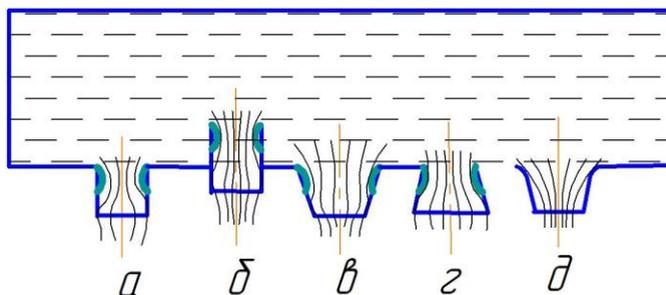


Рисунок 8 - Истечение через насадки (а - цилиндрический внешний; б - цилиндрический внутренний; в – конически сходящийся; г – конически расходящийся; д - коноидальный)

ЗАДАЧИ 41-50

Задача 41 В верхний сосуд поступает вода с расходом $Q = 25 \text{ л/с}$, которая затем перетекает через малое отверстие в дне диаметром $d_1 = 10 \text{ мм}$ в нижний сосуд, имеющий также малое отверстие в дне диаметром $d_2 = 15 \text{ мм}$. (рисунок 9а). Определить напоры H_1 и H_2 в обоих сосудах. Определить при каком диаметре d_2 напор H_2 будет вдвое меньше, чем H_1 .

Ответ: $H_1 = 135 \text{ см}$; $H_2 = 27 \text{ см}$, $d_2 = 12 \text{ мм}$.

Задача 42 Определить расход через незатопленный водоспуск, выполненный в виде трубы в теле плотины, если диаметр водоспуска $d = 1,1 \text{ м}$, длина $l = 4,5 \text{ м}$ (рисунок 9 б). Скорость подхода воды к плотине $v_0 = 0,5 \text{ м/с}$. Глубина погружения центра трубы под постоянный уровень свободной поверхности в водохранилище $H = 8 \text{ м}$. Определить расход через тот же водоспуск, если он будет работать, как затопленный, причем глубина погружения центра водоспуска под уровень со стороны нижнего бьефа плотины равна $h = 3 \text{ м}$.

Ответ: $Q = 9,76 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q = 7,71 \text{ м}^3/\text{с}$

Задача 43 Определить расход воды при истечении из круглого незатопленного отверстия в боковой стенке сосуда, если сжатие струи полное совершенное. Диаметр отверстия $d = 0,3 \text{ м}$. Глубина погружения центра отверстия под постоянный уровень воды в сосуде $H = 6 \text{ м}$. Скорость подхода $v_0 = 1 \text{ м/с}$.

Ответ: $Q = 0,478 \text{ м}^3/\text{с}$

Задача 44 Выяснить, как изменяются расход и скорость истечений в атмосферу, если к отверстию диаметром $d = 15 \text{ см}$, присоединить насадки длиной $l = 4d = 0,6 \text{ м}$:

- а) внешний цилиндрический
- б) внутренний цилиндрический

в) конический расходящийся с углом конусности $\theta=7^\circ$.

Величина напора $-H = 5 \text{ м}$.

Задача 45 Определить расход из квадратного отверстия со стороной $a = 5 \text{ см}$ в тонкой стенке, центр которого расположен на глубине $H = 2 \text{ м}$ от поверхности воды. Отверстие одной стороной примыкает ко дну, а другой к вертикальной боковой стенке резервуара (рисунок 9в).

Ответ: $Q = 10,46 \text{ л/с}$

Задача 46 Определить диаметр круглого отверстия в тонкой стенке, из которого в условиях полного совершенного сжатия вытекает расход $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ при напоре $H = 12 \text{ м}$.

Ответ: $d = 0,45 \text{ м}$

Задача 47 Определить время изменения уровня воды в вертикальном цилиндрическом резервуаре диаметром $D = 5 \text{ м}$ от отметки

$\nabla_1=56,0 \text{ м}$ до отметки $\nabla_2=51,0 \text{ м}$, если истечение происходит в атмосферу через внешний цилиндрический насадок, расположенный на отметке $\nabla_3=48,0 \text{ м}$, диаметр насадка $d = 0,1 \text{ м}$ (рисунок 9г).

Ответ: $t=1 \text{ 510с}$

Задача 48 Определить расход из круглого отверстия диаметром $d = 10 \text{ см}$ (рисунок 9д) и установить, как он изменится, если к этому отверстию присоединить цилиндрический насадок длиной $l = 0,4 \text{ м}$. Напор в центре тяжести отверстия $H = 3 \text{ м}$. Кинематический коэффициент вязкости воды при температуре $t = 10^\circ$ равен $\nu = 0,0131 \text{ см}^2/\text{с}$.

Ответ: $Q = 37,3 \text{ л/с}$

Задача 49 Из резервуара A , приток воды в который $Q = 0,5 \text{ л/с}$, через малое отверстие диаметром $d_1 = 15 \text{ мм}$ вода перетекает в резервуар B (рисунок 9е), а из него через отверстие диаметром $d_2 = 20 \text{ мм}$ в атмосферу. Определить напор H_2 и разность уровней H в резервуарах.

Ответ: $H_2 = 33,5 \text{ см}; \Delta H = 112,5 \text{ см}$

Задача 50 Определить время выравнивания уровней воды в соседних камерах шлюза, соединённых двумя галереями с площадью живого сечения каждой из них $\omega = 0,5 \text{ м}^2$ и коэффициентами расхода $\mu = 0,5$. Камеры шлюза имеют одинаковые размеры в плане $a \times b = 15 \times 50 \text{ м}^2$, глубина в момент открытия галерей в одной $H_1 = 6 \text{ м}$, в другой $H_2 = 2 \text{ м}$. На поверхности воды в камерах шлюза давление атмосферное.

Ответ: $t = 350 \text{ с}$

Схемы к задачам 41 - 50

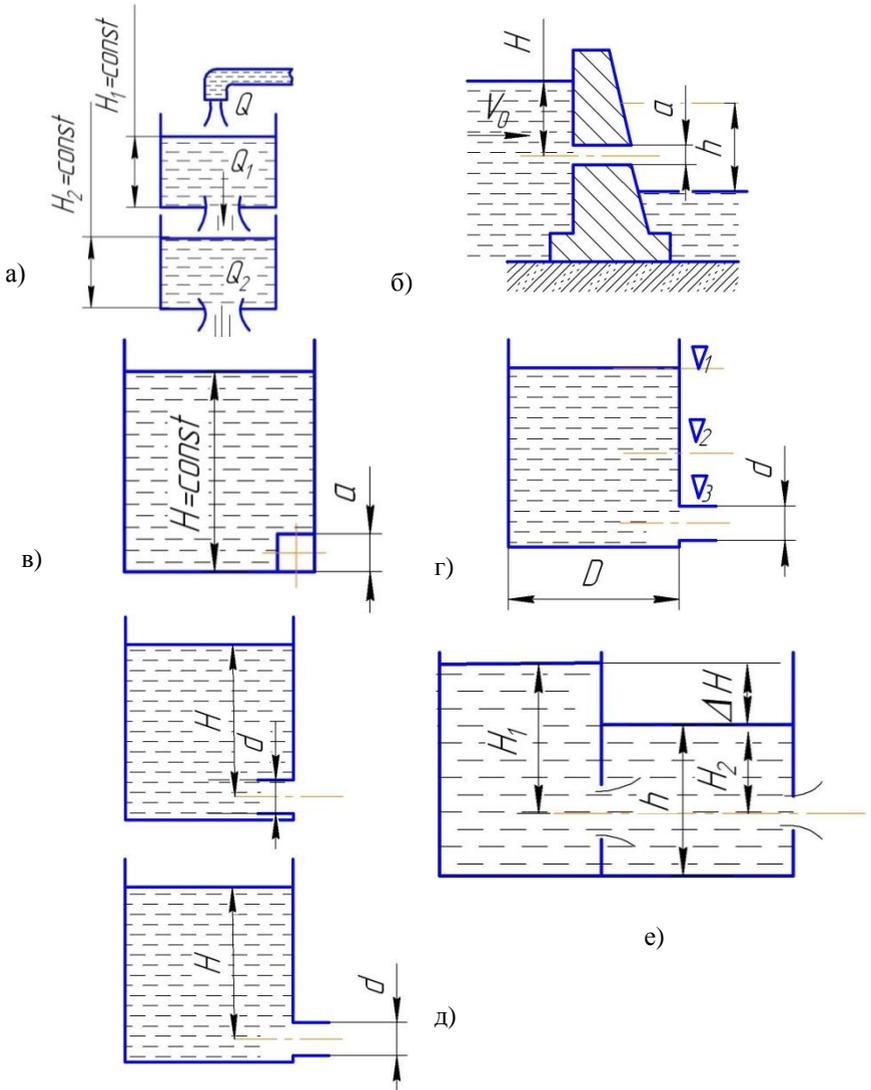


Рисунок 9 – Схемы к задачам 41-50

Практическое занятие №8 - Расчет трубопровода при равномерном напорном движении жидкости

Цель занятия - понять взаимосвязь между расходом Q , напором H , геометрическими (диаметр d , длина l) и гидравлическими (расходная характеристика K , удельное сопротивление A , гидравлический уклон I и др.) характеристиками длинных трубопроводов. Научиться решать задачи на указанную тему.

Методические советы

Изучение темы следует начать с понятий «гидравлически длинный», «простой» и «сложный» трубопровод.

Простым называют трубопровод, не имеющий ответвлений и состоящий из труб одного диаметра. В таком трубопроводе при постоянном напоре движение жидкости равномерное, расход транзитный. Если потери напора по длине трубопровода во много раз больше местных потерь напора, которыми при расчете можно пренебречь, то такой трубопровод называют **гидравлически длинным**.

При расчете гидравлически длинного трубопровода $H = h_{dl}$

Гидравлический уклон выражают через напор H и длину l трубопровода:

$$I = \frac{h_{dl}}{l} = \frac{H}{l}.$$

Расчетной формулой при равномерном движении является формула Шези:

$$Q = \omega C \sqrt{RI}$$

где ω - площадь живого сечения; C - коэффициент Шези; R - гидравлический радиус ($R = \frac{\omega}{\chi}$); χ - смоченный периметр.

Если обозначить через $K = \omega C \sqrt{R}$, то расход можно вычислить по формуле:

$$Q = K \sqrt{I} = K \sqrt{\frac{H}{I}},$$

где K - расходная характеристика (расход жидкости в русле заданного живого сечения при гидравлическом уклоне I равном единице).

Коэффициент Шези C зависит от области гидравлического сопротивления

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

где $\lambda = f\left(\frac{d}{\Delta}; Re\right)$.

Напор можно выразить из формулы расхода: $H = \frac{1}{K} = Q^2 I = A Q^2 I$, где $A = \frac{1}{K^2}$ - удельное сопротивление трубопровода.

Если область сопротивления неквадратичная, то вводятся поправочные коэффициенты α_1 и α_2 (в квадратичной области сопротивления $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ в неквадратичной $\alpha_1(I; \alpha_2)$).

С учетом поправок формулы расхода и напора принимают вид:

$$Q = \Theta_1 K_{дл} \sqrt{\frac{H}{I}},$$

$$H = \Theta_2 L Q^2 \frac{1000}{K_{дл}^2},$$

где $= \frac{1}{\Theta_1^2}$; L - длина трубопровода в км. Расходная характеристика

K и расход Q выражаются обычно в л/с.

Для установления области сопротивления следует выразить фактическую скорость движения воды $v = \frac{Q}{\omega}$ и сравнить ее с при превышении которой наступает квадратичная область сопротивления.

Условие $v < v_{кр}$ означает, что область сопротивления неквадратичная, а значит $\Theta_1 < 1$ и $\Theta_2 > 1$

Значения $K_{дл} \cdot \frac{1000}{K_{дл}^2}$; $\Theta_1 \Theta_2$ и $v_{кр}$ приводятся в справочных таблицах.

Важно знать принципы расчета трубопровода, составленного из последовательно и параллельно соединенных участков труб, а также с непрерывным изменением расхода по длине.

ЗАДАЧИ 51-55

Задача 51 Определить расход через трубопровод длиной $l = 1000$ м, диаметром $d = 150$ мм, при напоре $H = 5$ м. Трубы нормальные.

Ответ: $Q = 10,67$ л/с

Задача 52 Определить напор, необходимый для пропуска расхода $Q=50$ л/с через трубопровод, состоящий из 3-х участков размерами $l_1 = 200$ м, $d_1 = 250$ мм; $l_2 = 250$ м, $d_2 = 150$ мм; $l_3 = 300$ м, $d_3 = 200$ мм (рисунок 10а). Трубы нормальные.

Ответ: $H = 26,3$ м

Задача 53 Расход $Q = 91$ л/с протекает по трубопроводу из трех параллельно соединенных труб. Найти распределение общего расхода Q по отдельным линиям Q_1 , Q_2 , Q_3 и потерю напора H между узловыми точками, если $l_1 = 500$ м, $d_1 = 150$ мм; $l_2 = 350$ м, $d_2 = 150$ мм; $l_3 = 1000$ м, $d_3 = 200$ мм (рисунок 10б). Трубы нормальные.

Ответ: $Q_1 = 24,2$ л/с, $Q_2 = 29,0$ л/с, $Q_3 = 36,8$ л/с

Задача 54 Расход $Q = 16$ л/с распределяется в виде непрерывной раздачи по пути на участке трубопровода BC . Диаметр $d = 150$ мм постоянный по всей длине трубопровода ABC . Длина участка $AB - l_{AB} = 600$ м, участка $BC - l_{BC} = 40$ м. Трубы нормальные. Определить потери напора H от напорного бака A до точки C (рисунок 10 в).

Ответ: $H=7,83$ м.

Задача 55 Через систему труб, состоящих из трех последовательно соединенных участков, вода подводится от напорного бака к потребителям. На участках AB и BC вода расходуется в виде непрерывной раздачи. По трубе CD идет до конца транзитный расход Q_{Tr} . Определить потери напора H от напорного бака до узла D . Трубы нормальные. Расходы показаны на рисунке 10 г. Произвести вычисления при следующих данных: $l_{ab} = 420$ м, $d_{AB} = 200$ мм; $l_{BC} = 380$ м, $d_{BC} = 150$ мм; $l_{CD} = 250$ м, $d_{CD} = 100$ мм.

Ответ: $H=26,2$ м.

Схемы к задачам 51-55

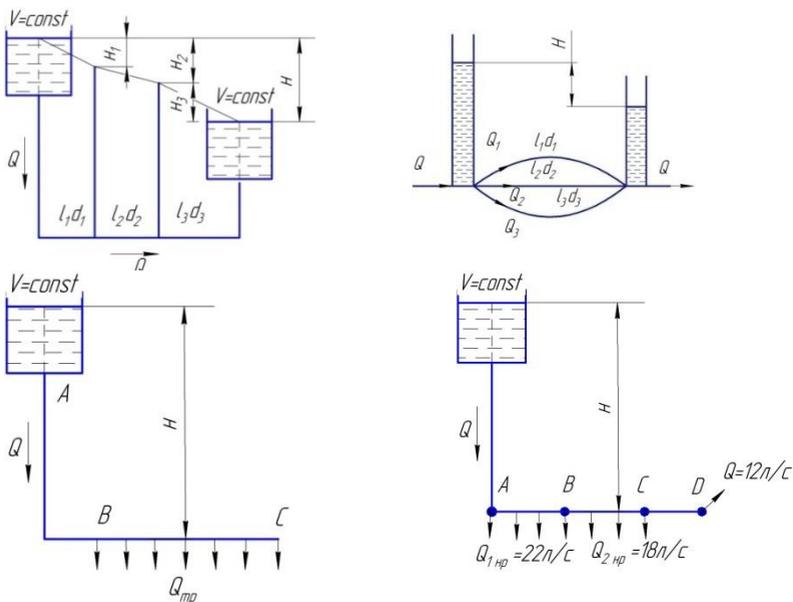


Рисунок 10 - Схемы к задачам 51-55

Практическое занятие №9 - Гидравлический удар

Цель занятия - изучить явление гидравлического удара в трубах, понять причины его возникновения, рассмотреть факторы, влияющие на величину давления при ударе. Научиться решать задачи на указанную тему.

Методические советы

Изучение темы следует начать с понятия гидравлического удара. Далее следует разобрать формулу Н.Е. Жуковского о повышении давления при мгновенном закрытии затвора и скорости распространения ударной волны в трубопроводе с упругими стенками. Ознакомиться с явлением гидравлического удара при постепенном закрытии задвижки.

Гидравлический удар - частный случай неустановившегося напорного движения жидкости, сопровождающийся резким изменением давления в трубопроводе с последующими колебаниями во времени скорости движения жидкости, плотности и давления.

Впервые решение задачи гидравлического удара дал Н.Е. Жуковский.

При мгновенном закрытии задвижки, установленной в конце трубопровода, повышение давления при гидравлическом ударе вычисляют по формуле:

$$\Delta p = \rho C v_0,$$

где ρ - плотность жидкости; C - скорость распространения волны гидравлического удара; v_0 - скорость установившегося движения жидкости в трубопроводе до удара.

Скорость распространения волны гидравлического удара определяется по формуле Жуковского:

$$C = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{d \cdot E}{e \cdot E_{mp}}}}$$

где E - модуль объёмной упругости жидкости; d - внутренний диаметр трубопровода; e - толщина стен трубопровода; E_{mp} - модуль упругости материала стенок трубопровода.

Если задвижка закрывается не мгновенно, то различают прямой гидравлический удар $t = t_0$:

$$\Delta p = \rho C v_0,$$

и не прямой гидравлический удар $t = t_0$:

$$\Delta p = \frac{2\rho C v_0}{t}$$

где t_0 - фаза ударной волны (время пробега ударной волны по трубе от задвижки до резервуара и обратно).

ЗАДАЧИ 56-60

Задача 56 Определить скорость распространения волны гидравлического удара и повышение давления при мгновенном закрытии задвижки стального трубопровода диаметром $D = 450$ мм, толщиной стенок $e = 8$ мм, при наличии начальной скорости движения воды $v_0 = 1,8$ м/с.

Ответ: $C = 1137$ м/с; $\Delta p = 2,09 \times 10^5$ кгс/м²

Задача 57 Определить необходимое время закрытия задвижки в

конце чугунного водопровода длиной $l = 800$ м, диаметром $D = 400$ мм толщиной стенок $e = 14$ мм при расходе $Q = 450$ м³/ч и дополнительном давлении $\Delta p < 0,3$ МПа.

Задача 58 В трубопроводе диаметром $D = 100$ мм и длиной $l = 1000$ м в результате закрытия задвижки за $1,8$ с давление повысилось на величину $\Delta p = 0,5$ МПа. Определить скорость движения воды в трубопроводе до закрытия задвижки, если трубы стальные с толщиной стенок $e = 6$ мм.

Задача 59 По стальному трубопроводу диаметром $D = 500$ мм и толщиной стенок $e = 12$ мм подается нефть (объемный модуль упругости $E = 1324$ МПа, плотность $\rho = 918$ кг/м³) на расстояние $l = 5$ км. Определить необходимое время закрытия затвора, если при расходе $Q = 850$ м³/час дополнительное давление в случае возникновения гидравлического удара не должно превышать $\Delta p = 0,18$ МПа.

Задача 60 Определить скорость распространения волны гидравлического удара c и повышение давления Δp при мгновенном закрытии чугунного трубопровода диаметром $d = 400$ мм с толщиной стенок $e = 12$ мм при скорости $v_0 = 2$ м/с и наличии в воде нерастворенного воздуха, объемное газосодержание которого при абсолютном начальном давлении $p = 0,8$ МПа, $\varepsilon = 0,02$.

Учебное издание

Паршикова Л.Н

Случевский А.М.

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ
для бакалавров очного и заочного обучения направления
подготовки: 20.03.01- Техносферная безопасность
профиль – Пожарная безопасность

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 28.03.2018 г. Формат 60х84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 2,55. Тираж 100 экз. Изд. № 5646.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино,
Брянский ГАУ