



Министерство науки и высшего образования
ФГБОУ ВО Университет биотехнологий
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ
630039, Новосибирск, ул. Никитина, 147. тел./факс (383) 267-35-07

ГИДРАВЛИКА

**Задания и методические указания
по выполнению контрольной работы**
(для студентов заочной формы обучения по направлению
подготовки 35.03.06 Агроинженерия)

Новосибирск 2026

Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции

УДК 532.5(075.8):622.5
ББК 30.123

Составитель: к.т.н, доцент *Диденко А.А.*

Рецензент: к.т.н., доцент *Булаев Е.В.*

Гидравлика: задания и методические указания по выполнению контрольной работы / Сиб. гос. ун-т инж. и биотехнологий. Инженер. ин-т; сост.: А.А. Диденко. – Новосибирск, 2026. – 28 с.

Предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №6 от 27 января 2026 г.).

© ФГБОУ ВО Университет биотехнологий, 2026

© Инженерный институт, 2026

Гидростатика

1.1 Физические свойства жидкостей

Жидкость – это физическое тело, обладающее двумя отличительными особенностями: незначительным изменением своего объема под действием больших внешних сил и текучестью, то есть изменением своей формы под действием даже незначительных внешних сил.

Плотность ρ – масса единицы объема жидкости:

$$\rho = \frac{m}{W}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \quad (1)$$

Плотность жидкостей уменьшается с увеличением температуры. Исключение представляет вода в диапазоне температур $0 - 4^\circ\text{C}$, когда ее плотность увеличивается достигая наибольшего значения при $t = 4^\circ\text{C}$, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Удельный вес γ – вес единицы объема жидкости:

$$\gamma = \frac{G}{W}, \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \right] \quad (2)$$

Между плотность и удельным весом существует связь:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3)$$

Сжимаемость жидкости характеризуется коэффициентом объемного сжатия, который представляет собой относительное изменение объема жидкости при изменении давления на единицу:

$$\beta_w = \frac{W_1 - W_2}{W_1 \cdot p}, \left[\frac{\text{м}^2}{\text{Н}} \right] \quad (4)$$

W_1 – первоначальный объем

W_2 – объем после сжатия.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, называется модуль объемной упругости.

$$E_{\text{жс}} = \frac{1}{\beta_w}, \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] \quad (5)$$

Коэффициент температурного расширения выражает относительное изменение объема при изменении температуры на один градус:

$$\beta_t = \frac{W_1 - W_2}{W_1 \cdot p}, \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right] \quad (6)$$

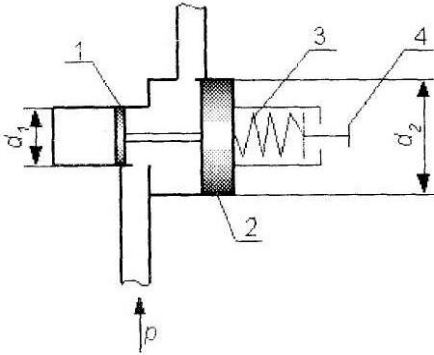
Вязкость – это способность жидкости оказывать сопротивление сдвигу её слоев, проявляется только в движущейся жидкости. Характеризуется коэффициентами кинематической и динамической вязкости.

$$\nu = \mu / \rho, \quad (7)$$

Единицей кинематического коэффициента вязкости является стокс (Ст), или $1 \text{ см}^2/\text{с}$, а также сантистокс (сСт): $1 \text{ сСт} = 0,01 \text{ Ст}$. В системах МКГСС и СИ единицей кинематического коэффициента вязкости является $\text{м}^2/\text{с}$: $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ Ст}$.

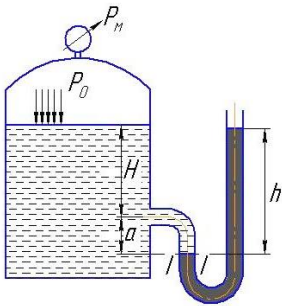
Гидростатика

Задача №1



Предохранительный клапан имеет запорное устройство, состоящее из двух жестко закрепленных поршней 1 и 2 диаметром $d_1 = 10$ мм и $d_2 = 30$ мм. Клапан открывается, когда запорное устройство перемещается вправо, сжимая пружину 3. Пружина поджимается установочным винтом 4, в зависимости от расчетного давления, при котором клапан открывается. Определить поджатие пружины X , если ее жесткость $C = 10$ кН/м, а давление $p = 0,5$

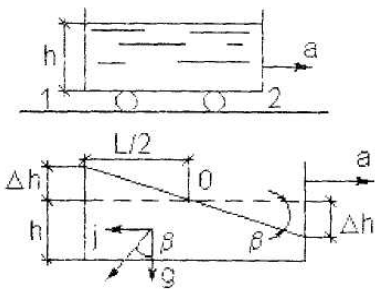
Рисунок 1



Задача 2

В закрытом резервуаре находится жидкость под давлением. В крышке резервуара установлен манометр, который показывает $P_m = 19,6$ кН/м². На глубине $H_0 = 4$ м. подключен ртутный манометр. Определить разность уровней ртути в манометре – h , если удельный вес жидкости $\gamma_{\text{жид}} = 8,83$ кН/м³, ртути $133,4$ кН/м³, при этом расстояние $a = 0,2$ м.

Рисунок 2



Задача 3

Резервуар с прямоугольным основанием наполнен водой до высоты $h = 1,2$ м и движется по горизонтальной поверхности с ускорением $a = 1,4$ м/с². Длина горизонтальной части резервуара равна $L = 5$ м. Определить избыточное давление воды на дно сосуда у передней и задней стенок в точках 1 и 2.

Рисунок 3

Задача 4

Измерение гидростатического давления

Цель работы:

- измерить с помощью пружинного манометра гидростатическое давление для трех уровней жидкости в трубках, находящейся в абсолютном покое под действием силы тяжести;
- найти погрешность теоретических и практических измерений гидростатического давления.

Приборы и оборудование: сообщающиеся резервуары, компрессор, манометр, мерная рулетка

Основные сведения

Гидростатическим давлением называют нормальное сжимающее напряжение в неподвижной жидкости, т. е. силу, действующую на единицу площади поверхности. За единицу измерения давления в международной системе принят паскаль ($\text{Па} = \text{Н/м}^2$).

Различают абсолютное (полное), атмосферное (барометрическое) и избыточное (манометрическое и вакуумметрическое) давления.

Абсолютное (полное) давление $p_{\text{абс}}$ отсчитывается от абсолютного нуля - абсолютного вакуума. Атмосферное давление p_a создаётся силой тяжести воздуха атмосферы и принимается в обычных условиях равным 101325 Па или 760 мм. рт. ст. Превышение избыточного давления над атмосферным называют манометрическим давлением:

$$p_{\text{изб}} = p_{\text{абс}} - p_a \quad (8)$$

а его недостаток до атмосферного давления - вакуумметрическим давлением:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p_{\text{абс}} \quad (9)$$

Абсолютное давление в любой точке покоящейся жидкости определяется по основному уравнению гидростатики:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (10)$$

где: p_0 – абсолютное давление на свободной поверхности жидкости;

h – глубина погружения точки под свободной поверхностью.

Приборы для измерения давления по принципу действия и типу рабочего элемента подразделяются на жидкостные, механические (деформационные и грузопоршневые) и электрические (рис. 4).



Рисунок 4 – Виды приборов для измерения давления по принципу действия

Работа жидкостных приборов основана на законах гидростатики. Жидкостные приборы исторически стали применяться первыми. Действие жидкост-

ных приборов основано на принципе уравнивания измеряемого давления p силой тяжести столба жидкости высотой h в приборе:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (11)$$

где: ρ - плотность жидкости, кг/м^3 ;

g - ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h - высота столба жидкости, м.

Поэтому величина давления может быть выражена высотой столба жидкости h в единицах длины:

- миллиметрах (мм вод. ст.) и метрах водяного столба (м вод. ст.);
- миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

При пересчёте значений давления, выраженного в высоте жидкостного столба, в единицы системы СИ, пользуются выражением (2.4), при этом принимают плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ при температуре 4°C ; плотность ртути $\rho_{\text{рт}} = 13596 \text{ кг/м}^3$ при температуре 0°C . Соответственно:

- 1 мм вод. ст. = 9,80655 Па;
- 1 мм рт. ст. = 133,322 Па;
- 750 мм рт. ст. = $1,02 \cdot 10^4$ мм вод. ст. = 1 бар = 10^5 Па.

Преимущества жидкостных приборов:

а) простота конструкции; б) высокая точность измерения.

Недостатки:

а) малая механическая прочность; б) малейшая вибрация резко снижает точность измерения; в) косвенный метод измерения давления; г) низкий верхний предел измеряемого давления; д) удобны только при измерении небольших давлений.

Работа деформационных (показывающих) приборов основана на законе Гука. В этих приборах измеряемое давление вызывает деформацию упругого чувствительного элемента (изогнутой трубки, мембраны или сильфона), которая с помощью специальных механизмов передаётся на указатель.

Преимущества: а) большие пределы измерения давления; б) высокая механическая прочность; в) компактность; г) удобство прямого измерения.

Недостатки: а) сложность изготовления; б) меньшая точность; в) «старение» упругого элемента, вызывающее необходимость регулярной поверки.

В грузопоршневых приборах измеряемое давление уравнивается давлением поршня с грузом. Обладают высокой точностью, используются как образцовые для поверки технических и лабораторных приборов.

Приборы по типу измеряемого давления делятся на две группы:

- манометры абсолютного давления, обеспечивающие измерение абсолютного давления в изолированной среде («0» шкалы соответствует давлению в полном вакууме), в том числе барометры (рис. 5);
- приборы избыточного давления: манометры, вакуумметры и мановакуумметры («0» шкалы соответствует атмосферному давлению).

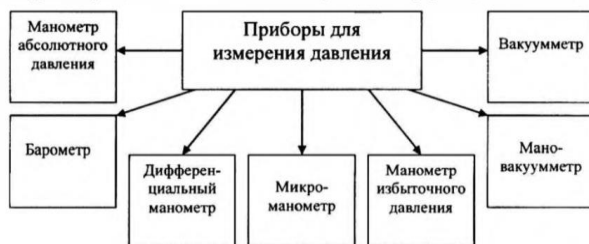


Рисунок 5 - Приборы для измерения различных типов давления

Барометр - прибор для измерения атмосферного давления; манометр - прибор для измерения положительного (манометрического) избыточного давления; вакуумметр - прибор для измерения отрицательного (вакуумметрического) избыточного давления; мановакуумметр - прибор для измерения положительного и отрицательного избыточного давления; дифференциальный манометр (дифманометр) - манометр для измерения разности двух давлений (отличных от атмосферного); микроманометр - дифманометр для измерения малой разности двух давлений (указанная разность значительно меньше значений самих давлений).

Простейшим жидкостным прибором для измерения давления является однотрубный манометр - пьезометр, представляющий собой вертикально установленную относительно измерительной шкалы прозрачную трубку диаметром не менее 6-8 мм. Верхний торец трубки сообщён с атмосферой, а нижний - с отверстием в стенке сосуда, находящимся на глубине от свободной поверхности жидкости, где измеряют избыточное давление. Пьезометры применяют для измерения малых давлений (десятых и сотых долей атмосферного).

Отличие жидкостных манометров от пьезометров заключается в том, что в них измеряемое давление уравнивается столбом жидкости с большим удельным весом (например, ртуть).

Простейшим типом жидкостного манометра является (U-образный манометр (рис. 6), включающий соединённые между собой вертикальные трубки 1 и 2, наполовину заполненные жидкостью.

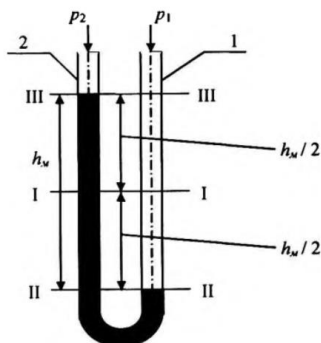


Рисунок 6 - Схема жидкостного U-образного манометра

Если давления в трубках 1 и 2 равны ($p_1 = p_2$), то уровни жидкости выравниваются (уровень I-I).

Если давления разные, например, $p_1 > p_2$, то в трубке 1 уровень жидкости понизится, а в трубке 2 - повысится. В соответствии с выражением (11) на уровне II-II уравнение равновесия имеет вид

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h_m = p_1 - p_2 \quad (12)$$

На рис.7 приведена схема жидкостного (U-образного манометра) для измерения избыточного давления.

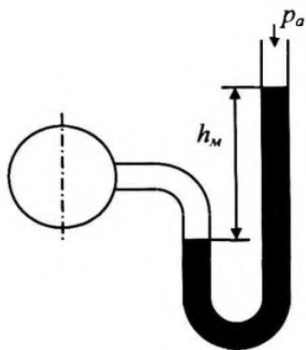


Рисунок 7 - Схема жидкостного U-образного манометра для измерения избыточного давления

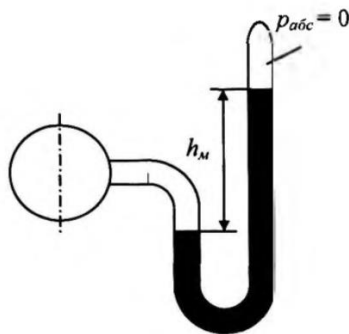


Рисунок 8 - Схема жидкостного U-образного манометра для измерения абсолютного давления

У манометров для измерения абсолютного давления одна из трубок запаяна (рис. 8). При заполнении рабочей жидкостью в полости трубки над жидкостью устанавливается давление, близкое к абсолютному нулю ($p_{абс} = 0$).

Жидкостные манометры для измерения положительного избыточного давления и вакуумметры имеют аналогичную конструкцию. Однако в трубке манометра жидкость (вода или ртуть) перемещается в сторону от избыточного давления, а в трубке вакуумметра - в сторону разреженного пространства.

В деформационных манометрах давление определяется путём фиксации перемещения заданной точки упругого чувствительного элемента.

Деформационные манометры содержат следующие типы чувствительных элементов: трубчатые пружины, сильфоны, мембраны, мембранные коробки.

Трубчатая пружина («Бурдоновская трубка») выполнена в виде тонкостенной трубки, в которой ось имеет форму дуги окружности (рис. 9). Свободный торец трубки запаян. Под действием давления p трубчатая пружина разгибается, и её свободный торец перемещается по дуге (R - радиус пружины; $\Delta\gamma$ - угол поворота свободного торца пружины; l - линейное перемещение свободного торца пружины). При измерении вакуума трубчатая пружина сгибается. Трубчатые пружины бывают одновитковые круговые, многovitковые винтовые, многovitковые спиральные.

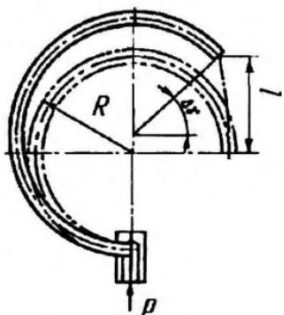


Рисунок 9 - Трубчатая пружина

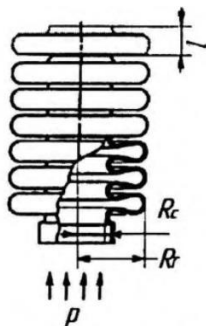


Рисунок 10 - Сильфон

Сильфон (рис. 10) выполнен в виде тонкостенного цилиндра, имеющего гофрированную боковую поверхность. За счёт наличия гофр увеличивается прогиб сильфона под действием давления p (l - линейное перемещение свободного торца сильфона; R_c - радиус сильфона; R_g - радиус гофры). Сильфоны выполняют однослойными и многослойными, сварными и бесшовными.

Мембрана (рис. 11) - упругая пластина в форме диска, жёстко закреплённая по наружному контуру. Прогиб l мембраны зависит от действующего на неё давления p (R - радиус мембраны; h - толщина мембраны). Мембраны бывают плоские тонкостенные и толстостенные, с жёстким центром, гофрированные, с предварительным натяжением.

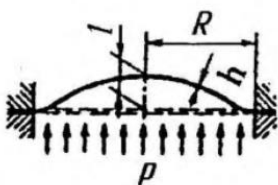


Рисунок 11 - Мембрана

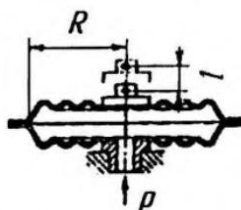


Рисунок 12 - Мембранная коробка

Мембранная коробка (рис. 12) включает две гофрированные мембраны, герметично соединённые по наружному контуру. В результате такого конструктивного исполнения увеличивается прогиб l мембранной коробки под действием давления p (R - радиус мембранной коробки).

Широкое применение нашли деформационные манометры с одновитковой трубчатой пружиной, состоящие из упомянутой одновитковой трубчатой пружины 1 (рис. 13), стрелки 2, закреплённой на оси 3, взаимодействующей с зубчатым сектором 4. Пружина 1 снабжена наконечником 5, взаимодействующим с тягой 6, и одним из торцов соединена с держателем 7. На последнем установлен штуцер 8, посредством которого манометр сообщается с источником давления. Стрелка 2 перемещается относительно шкалы 9, установленной в корпусе 10 манометра. При действии давления внутри трубчатой пружины 1 свободный торец с наконечником 5 перемещается (т.к. пружина разгибается), и указанное

перемещение через сегмент 4 преобразуется во вращательное движение оси 3 со стрелкой 2.

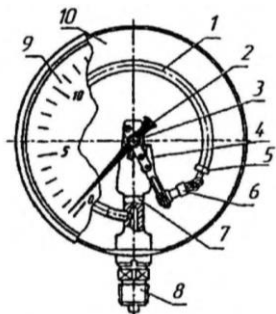


Рисунок 13 – Манометр с одновитковой трубчатой пружиной
1 – трубчатая пружина; 2 – стрелка; 3 – ось; 4 – зубчатый сегмент; 5 – наконечник; 6 – тяга; 7 – держатель; 8 – штуцер; 9 – шкала; 10 – корпус

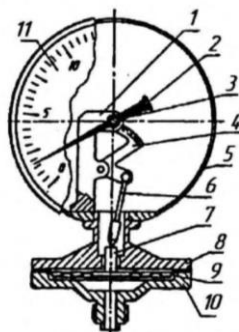


Рисунок 14 – Манометр мембранный
1 – стойка; 2 – стрелка; 3 – ось; 4 – зубчатый сегмент; 5 – корпус; 6 – тяга; 7 – жесткий центр; 8 – верхний фланец; 9 – мембрана; 10 – нижний фланец; 11 – шкала

Мембранный манометр включает стойку 1 (рис. 14), стрелку 2, закреплённую на оси 3, зубчатый сегмент 4, установленные в корпусе 5 манометра. Сегмент 4 при помощи тяги 6 связан с жёстким центром 7. Корпус 5 снабжён верхним фланцем 8, к которому герметично присоединена мембрана 9 посредством нижнего фланца 10. В упомянутом корпусе также расположена шкала 11. При воздействии давления на мембрану 9 перемещается жёсткий центр 7 вместе с тягой 6, и сегмент 4 проворачивается. Одновременно с этим на оси 3 проворачивается стрелка 2 относительно шкалы 11.

При измерении манометром абсолютного давления корпус прибора выполняется герметичным, и с него откачивается воздух; при измерении избыточного давления - корпус сообщён с атмосферой.

Известны также поршневые манометры, представляющие собой приборы, в которых измеряемое давление, действующее на поршень, преобразуется в силу, и определяется по значению силы, необходимой для её уравнивания. При этом давление уравнивается массой груза и рассматриваемые приборы называются грузопоршневыми манометрами.

Простейший поршневой манометр включает поршень 1 (рис. 15), расположенный в цилиндре 2. При этом поршень установлен в цилиндре с минимально возможным зазором. Измеряемое давление p действует на нижний торец упомянутого поршня, и уравнивается силой P , приложенной к верхнему торцу поршня.

Электрические приборы используют для измерения давления в труднодоступных местах механизмов. Такой прибор соединён с трубопроводом 1 (рис. 16), в котором находится рабочее тело (жидкость или газ), давление которого необходимо измерить, и включает тензометрический датчик давления 2, блок усиления сигнала (БУ) 3 и блок питания (БП) 4, регистрирующий прибор

(Р) 5. При изменении давления в трубопроводе 1 сигнал от датчика давления 2 усиливается блоком 3 и поступает на регистрирующий прибор 5.

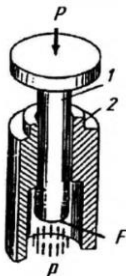


Рисунок 15 - Схема простейшего поршневого манометра
1 - поршень; 2 - цилиндр

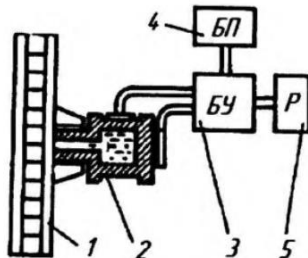


Рисунок 16 - Электрический прибор для измерения давления
1 - трубопровод; 2 - тензометрический датчик давления; 3 - блок усиления сигнала; 4 - блок питания; 5 - регистрирующий прибор

Шкала показывающих приборов градуируется в МПа или в кПа (ранее кгс/см²), т. е. в единицах давления. Для манометров верхний предел избыточного давления изменяется от 0,06 МПа до 1000 МПа, для вакуумметров нижний предел вакуумметрического давления составляет 0,1 МПа. Мановакуумметры имеют нижний предел избыточного давления 0,1 МПа, а верхний - до 4,0 МПа.

Важнейшей характеристикой манометра является класс точности (указывается на циферблате). Манометры бывают следующих классов точности: 0,1; 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Допустимая ошибка измерения давления манометром:

$$\Delta = \frac{K \cdot P}{100} \quad (13)$$

где K – класс точности манометра;

P – верхний предел измерения давления.

Для измерения давления с повышенной точностью используют образцовые манометры. Образцовые манометры имеют класс точности 0,1; 0,15; 0,25 или 0,4.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 17) состоит из двух сообщающихся стеклянных трубок. Одна из трубок сообщается с атмосферой, а вторая подключена к компрессору. Таким образом имеется возможность изменять давление на свободной поверхности в одной из трубок. Величина давления сжатого воздуха регистрируется с помощью манометра.

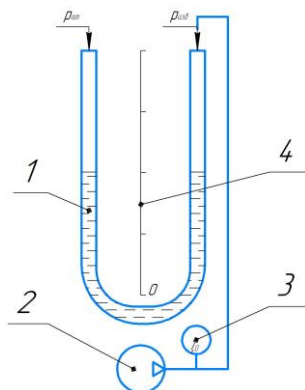


Рисунок 17– Схема лабораторной установки для измерения гидростатического давления

1 – сообщающиеся резервуары, 2 – компрессор, 3 – манометр, 4 – мерная шкала

Порядок выполнения работы

Необходимо выполнить три опыта при различных уровнях высоты столба жидкости в цилиндрических трубках данные внести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	Показания манометра, $P_{\text{ман}}$, кгс/см ²	h, м	Плотность жидкости, ρ , кг/м ³
1.			
2.			
3.			

Определить гидростатическое давление для трех уровней столба жидкости относительно нижнего уровня по уравнению

$$p = \rho \times g \times h, \text{ Па} \quad (14)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – сила тяжести м/с²;

h – высота столба жидкости, м.

Сравнить показания манометра M с расчетным значением давления p и определить погрешность Δ

$$\Delta = \frac{M - p}{M} \times 100, \% \quad (15)$$

Таблица 2 – Результаты расчетов.

№ п/п	$P_{\text{расчет}}$, Па	$P_{\text{ман}}$, Па	Δ , %
1.			
2.			
3.			

После анализа полученных данных делается вывод.

Теоретические вопросы по разделу гидростатика

1. Что называется гидростатическим давлением? Какими свойствами оно обладает?
2. Абсолютное и избыточное давление, вакуум - дать определение. Приборы для замера этих величин. Единицы измерения давления.
3. Основное уравнение гидростатики (записать и объяснить смысл)

Гидродинамика

Уравнение неразрывности потока (уравнение баланса расхода) справедливо для установившегося движения, отражает свойства несжимаемости жидкости и сплошности её движения и записывается в следующем виде:

$$\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2 = \text{const}, \quad (16)$$

где ω_1 и ω_2 – площади соответствующих живых сечений; V_1 и V_2 – средние скорости в соответствующих сечениях.

Из этого уравнения следует:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (17)$$

т.е. средние скорости обратно пропорциональны соответствующим площадям живых сечений.

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости (**уравнение баланса энергии**) справедливо для установившегося движения, выражает закон сохранения энергии потока движущейся жидкости и записывается в удельной форме (относительно единицы веса жидкости) для двух сечений и горизонтальной плоскости сравнения в следующем виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w, \quad (18)$$

где $\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$, $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия соответственно в первом и вто-

ром сечениях (скоростной напор);

$\frac{p_1}{\gamma}$, $\frac{p_2}{\gamma}$ – удельная потенциальная энергия давления соответственно в первом и

втором сечениях (пьезометрическая высота);

z_1 , z_2 – удельная потенциальная энергия положения соответственно в первом и втором сечениях (геометрическая высота, т.е. расстояние по высоте от плоскости сравнения до центра тяжести сечения);

h_w – потери энергии при движении потока жидкости от первого сечения до второго (потери напора);

α – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скорости по живому сечению;

V_1, V_2 – средние скорости в соответствующих живых сечениях;

p_1, p_2 – избыточное давление в центре тяжести соответствующих сечений;

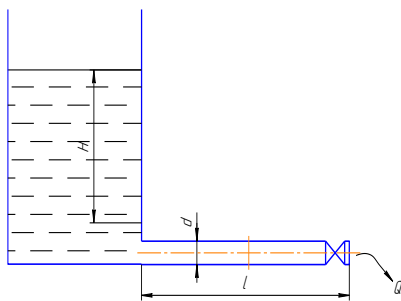


Рисунок 18

Задача 5

К открытому резервуару подсоединен стальной трубопровод, состоящий из участка длиной $l = 15$ м, диаметром $d_1 = 50$ мм, снабженный краном. Истечение воды происходит в атмосферу под постоянным напором H . Определить расход жидкости Q вытекающей из трубы. Коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении $\xi_{суж} = 0,4$; для крана $\xi_{кр} = 1,5$; для излива $\xi_{изл} = 0,4$.

Задача № 6

Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли

Цель работы:

- уяснить физическую сущность полного напора и всех его составляющих: геометрического, пьезометрического и скоростного напоров;
- уяснить физическую сущность закона Бернулли;
- построить напорную и пьезометрические линии трубопровода;
- построить графические зависимости измерения мощности потока по длине трубопровода.

Приборы и оборудование: Стенд НТЦ 17.00 «Гидравлика»

Основные сведения

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущему потоку жидкости. Оно устанавливает связь между удельной потенциальной, удельной кинетической энергией и удельной энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивлений движению жидкости, на участке от сечений 1–1 до 2–2. Для установившегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1–1 до сечения 2–2, уравнение Бернулли представлено в виде формулы:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot v_{cp1}^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot v_{cp2}^2}{2 \cdot g} + h_{\sigma} \quad (19)$$

где z_1 и z_2 – высота центров тяжести живых сечений 1–1 и 2–2 по отношению к горизонтальной плоскости сравнения, м;

v_1 и v_2 – средняя скорость движения жидкости в живых сечениях 1–1 и 2–2, м;

p_1 и p_2 – давление в центрах тяжести сечений 1–1 и 2–2, Па;

α_1 и α_2 – коэффициент Кориолиса (учитывает неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока реальной жидкости); $\alpha = 2$ – для ламинарного режима движения жидкости; $\alpha = 1$ – для турбулентного режима движения;

h_{σ} – потери напора на преодоление сопротивлений движению жидкости, м.

Уравнение Бернулли имеет энергетический и геометрический смысл. Энергетический смысл заключается в том, что каждый член уравнения представляет собой удельную энергию – энергию, отнесенную к единице веса жидкости, а геометрический смысл заключается в том, что каждый член представляет собой высоту: z – удельная потенциальная энергия положения или геометрическая высота; $p/\rho g$ – удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота; $V^2/2g$ – удельная кинетическая энергия или скоростная высота (скоростной напор). Сумма геометрической высоты z и пьезометрической высоты $p/\rho g$ называется пьезометрическим напором (удельной потенциальной энергией). Линия, изображающая изменение удельной потенциальной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется пьезометрической линией (линия Р-Р рис. 19). Линия, изображающая изменение полной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется напорной линией (линия Е-Е рис. 29). В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока, происходит перераспределение удельной потенциальной $z+p/\rho g$ и удельной кинетической $V^2/2g$ энергии. При уменьшении площади живого сечения потока увеличивается средняя скорость потока v и, следовательно, возрастает удельная кинетическая энергия $V^2/2g$, а потенциальная энергия $z+p/\rho g$, соответственно, уменьшается. Гидродинамический напор (полная удельная энергия) по направлению движения потока реальной жидкости непрерывно уменьшается из-за наличия сил внутреннего трения и трения жидкости о стенки трубопровода, в то время как пьезометрический напор не всегда уменьшается. Пьезометрическая высота $p/\rho g$ измеряется с помощью прозрачных трубок (пьезометров), герметически присоединенных к отверстию в стенке трубопровода. Для измерения полной энергии используются гидродинамические трубки (ГДТ или трубки Пито) с нижним концом, погруженным на ось трубопровода и отогнутым против направления движения жидкости. Уровень воды в ГДТ поднимается выше, чем уровень в пьезометрах на величину скоростной высоты $V^2/2g$.

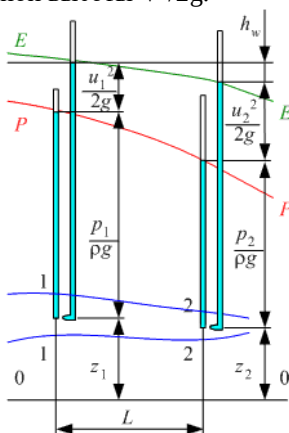


Рисунок 19 – Графическая интерпретация уравнения Д. Бернулли

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на гидравлическом стенде НТЦ 17.00 «Гидравлика». Схема гидравлическая принципиальная стенда приведена на рис. 20. В состав стенда входят гидробак Б, шестеренный насос Н, фильтр Ф, предохранительный клапан КП, регулятор расхода РР, два гидрораспределителя Р1 и Р2, пружинный аккумулятор А, два гидродросселя ДР1 и ДР2, трубопроводы (в том числе исследуемые участки трубопроводов абс и участок де с установленным дросселем ДР2). Привод насоса осуществляется от электродвигателя. Информационно-измерительная система стенда включает 6 манометров (МН1 – МН6, манометр МН5 – электроконтактный с двумя управляемыми контактами), расходомер скоростного типа РА, термометр Т и электронный секундомер. Управление гидрораспределителями осуществляется тумблерами Р1 и Р2. Возможны два режима работы электронного секундомера – ручной и автоматический (указанные режимы работы устанавливаются тумблером на верхней панели). При установке тумблера в положение «РУЧН» секундомер используется для определения времени прохождения через расходомер РА заданного объема жидкости (с тем, чтобы в дальнейшем определять расход жидкости в трубопроводе). Питание секундомера включается тумблером «Вкл»; начало отсчета времени – тумблером «Счет»; сброс показаний электронного табло – кнопкой «Сброс». При нажатии кнопки «Сброс» секундомер не должен производить отсчет времени, т. е. тумблер «Счет» необходимо переключить в нижнее положение. При установке тумблера установки режима в положение «АВТ» секундомер используется для подсчета времени заполнения и опорожнения рабочей полости пружинного аккумулятора А (при этом должно быть включено питание секундомера и счет, то есть тумблеры постоянно установлены в положение «Вкл» и «Счет»).

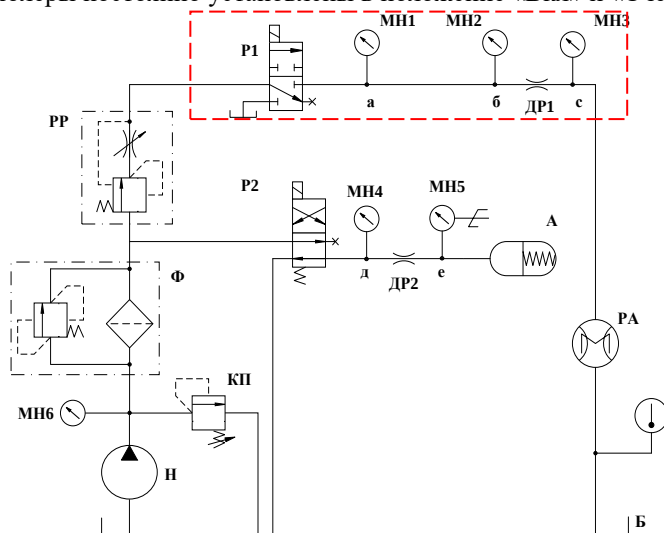


Рисунок 20 – Гидравлическая схема лабораторного стенда.

Включением и выключением секундомера управляет электроконтактный манометр МН5. После завершения процесса заполнения или опорожнения рабочей полости аккумулятора А фиксируется время процесса, а затем, нажав кнопку «Сброс», можно сбросить показания табло. Номинальное давление в системе 1 МПа (допускается до 1,1 МПа). Давление устанавливается с помощью регулировочного винта, установленного на предохранительном клапане. Винт должен быть надежно зафиксирован с помощью контргайки. Заправочная емкость гидробака – 70 дм³ (л). Рекомендуемые рабочие жидкости: минеральные масла МГЕ46В, МГ-30у, М-8В.

Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод **абс** (рис. 21) постоянного диаметра ($d = 8$ мм), трубопровод содержит дроссель (диаметр $d_{др} = 3$ мм). Все размеры на схеме приведены в мм.

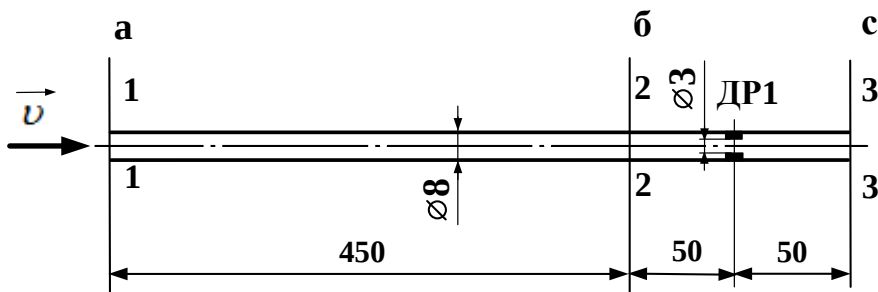


Рисунок 21 – Схема исследуемого трубопровода

Нумерация сечений трубопроводов соответствует номерам манометров. Трубопровод расположен горизонтально, имеет постоянный диаметр и содержит одно местное сопротивление – гидродроссель ДР1.

Порядок выполнения работы

До включения стенда необходимо убедиться в том, что регулятор расхода РР настроен на минимальный расход (указатель в полож. «1»), а тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 находятся в положении «Выкл.».

Далее необходимо при различных расходах провести два опыта. Первый опыт провести при минимальном расходе (при этом показание манометра МН3 должно отличаться от нуля). Второй опыт провести при максимальном расходе (при этом маховик управления РР необходимо повернуть до ограничения по часовой стрелке в положение «4»).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления $p_1 - p_3$ по манометрам МН1–МН3;
- время t прохождения через расходомер объема жидкости $W_{ж}$, с. Объемом $W_{ж}$ необходимо задаться, приняв его, например, равным в обоих опытах $5 \cdot 10^{-3}$ м³ (5 л);

- температуру рабочей жидкости T , °С (по термометру).

Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты исследований

Номер опыта													
i – номер сечения трубопровода													
p_i – величина давления, МПа													
$W_{ж}$ – объем жидкости, проходящей через расходомер, м ³													
t – время прохождения объема $W_{ж}$ через расходомер, с													
T – температура жидкости, °C													
Q – расход жидкости, м ³ /с													
v – средняя скорость, м/с													
ν – кинематическая вязкость, м ² /с													
Re – число Рейнольдса													
α – коэффициент Кориолиса													
z_i – геометрический напор, м													
$p_i / (\rho \cdot g)$ – пьезометрический напор, м													
$\alpha \cdot v^2 / (2 \cdot g)$ – скоростной напор, м													
$z_i + p_i / (\rho \cdot g)$ – удельная потенциальная энергия потока, м													
H_i – полный напор, м													
N_i – мощность потока, Вт													

Обработка результатов

1. Расход жидкости в трубопроводе равен:

$$Q = \frac{W_{ж}}{t}, \quad (20)$$

2. Средняя скорость потока:

$$v_{cp} = \frac{Q}{S_{np}}, \quad (21)$$

где S_{np} – площадь сечения трубопровода, м² ($d = 8$ мм).

3. Кинематическая вязкость ν определяется с учетом температуры по графику $\nu = f(T)$ (должен быть в лаборатории для применяемого в гидростанции масла).

4. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_{cp} \cdot d}{\nu}, \quad (22)$$

5. Коэффициент Кориолиса $\alpha = 2$ при $Re < 2320$, и $\alpha = 1$ при $Re > 2320$.

Геометрические напоры z_i равны значениям вертикальных координат (в выбранной системе координат). В связи с тем, что исследуемый трубопровод

расположен горизонтально, для всех сечений $z_i = \text{const}$. Место расположения плоскости сравнения (а, следовательно, и величину z_i) необходимо согласовать с преподавателем. Если ось трубопровода совместить с плоскостью сравнения, то $z_i = 0$.

6. Полный напор H_i вычисляются по формуле:

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha V_i^2}{2g} \quad (23)$$

7. Мощность потока N_i вычисляются по формуле:

$$N_i = H_i Q_{Gi} = H_i \gamma Q_i, \quad (24)$$

Результаты вычислений занести в таблицу 3 и построить для обоих опытов напорную и пьезометрические линии трубопровода

$$H = f_1(l_{\text{тр}}), \quad z + p/(\rho \cdot g) = f_2(l_{\text{тр}}), \quad \text{а также зависимость } N_i = f_3(l_{\text{тр}}).$$

При построении графиков необходимо учитывать, что начало трубопровода находится в сечении 1-1, а конец – в сечении 3-3.

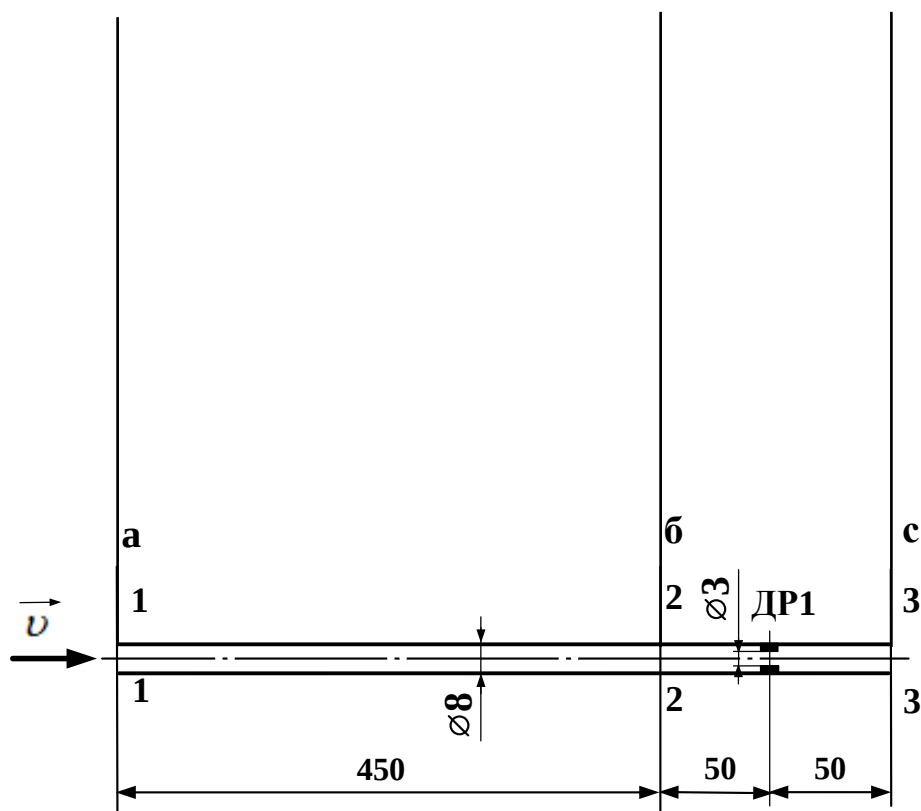


Рисунок 22 – Сетка для построения графиков $H=f_1(l_{\text{тр}})$, $z+p/(\rho \cdot g)=f_2(l_{\text{тр}})$, $N_i=f_3(l_{\text{тр}})$.

После анализа полученных данных делается вывод.

Теоретические вопросы по разделу гидродинамика

1. Опыты Рейнольдса, режимы движения жидкости, критерий режима жидкости.
2. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Геометрический и энергетический смысл этого уравнения.
3. Виды потерь напора при движении жидкости. Определения потерь напора на трение по длине пути и определение напора на преодоление местных сопротивлений.

Задача № 7

Исследование работы центробежного насоса

Цель работы: экспериментальное исследование центробежного насоса и построение его характеристик (производительность и напор).

Основные сведения

Насосы представляют собой гидравлические машины, преобразующие механическую энергию приводящих двигателей в энергию потока жидкости и служащие для перемещения и создания напора жидкостей всех видов,

механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов. Следует заметить, что машины для перекачки и создания напора газов выделены в отдельные группы и в отличие от жидкостей получили название вентиляторов и компрессоров. Большое разнообразие перемещаемых жидкостей и условий, в которых приходится работать насосам, вызвало появление огромного количества различных конструкций насосов.

По принципу действия насосы можно разделить на объёмные и динамические. В работе объёмных насосов преобладают силы давления, в динамических - силы инерции.

В динамических насосах перемещение рабочей среды происходит од воздействием гидродинамических сил в насосной камере, которая постоянно сообщается с входом и выходом насоса - объём насосной камеры неизменен.

Для динамических насосов характерно двойное преобразование энергии (1 этап: механическая => кинетическая + потенциальная; 2 этап: кинетическая => потенциальная). В динамических насосах можно перекачивать загрязнённые жидкости. Они обладают большей равномерностью подачи и уравновешенностью рабочего процесса, способностью создавать большие подачи. Но в отличие от объёмных насосов они не способны к самовсасыванию.

Динамические насосы по виду сил, действующих на жидкую среду, подразделяются на насосы лопастные, трения и электромагнитные. Наибольшее распространение из лопастных насосов получили центробежные, а из насосов трения - вихревые насосы.

Насос центробежный - устройство, перекачиваемое жидкие среды за счёт действующей на них центробежной силы. Основным элементом, например,

одноступенчатого моноблочного центробежного насоса (рис. 23) является рабочее колесо, состоящее из двух дисков, соединённых изогнутыми лопастями. Жидкость, находящаяся во внутренней части насоса перед его запуском, при вращении рабочего колеса захватывается лопастями и начинает перемещаться вместе с ними, затем под воздействием центробежной силы стремительно отбрасывается к периферии и попадает в улиткообразный спиральный канал, который кольцом охватывает рабочее колесо.

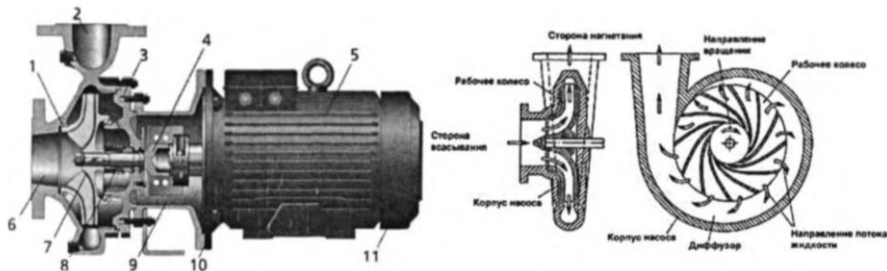


Рисунок 23 - Схема центробежного насоса

1 - дросселирующая щель; 2, 6 - патрубки напорный и всасывающий; 3 - корпус насоса («улитка»); 4 - вал; 5 - корпус двигателя; 7 - рабочее колесо с лопастями; 8 - уплотнение вала; 9 - поддон привода; 10, 11 - подшипники качения

Увеличивающееся к выходному патрубку (отводу) поперечное сечение спирального канала приводит к плавному снижению большой скорости, полученной жидкостью на выходе из рабочего колеса, до нормальной скорости в нагнетательном трубопроводе. При этом часть кинетической энергии жидкости переходит в потенциальную, что сопровождается увеличением давления (напора) жидкости. При перемещении через область напорного патрубка жидкость, находящаяся под высоким давлением, выталкивается в него. При откидывании перекачиваемой насосом жидкости к стенкам рабочей камеры в центральной части последней создаётся разрежение воздуха, что способствует всасыванию жидкой среды через входной патрубок и попаданию её по входному осевому каналу в центральную часть рабочего колеса.

Особенностью эксплуатации центробежных насосов является то, что перед пуском их внутреннюю полость заполняют перекачиваемой жидкостью не ниже оси насоса, поэтому насосную установку оборудуют устройством для залива насоса. За счёт вышеописанного принципа работы в центробежных насосах обеспечивается непрерывность процесса всасывания и выталкивания перекачиваемой жидкости при вращении рабочего колеса, что, в отличие от поршневых устройств, не создаёт пульсаций напора жидкости в напорном трубопроводе.

В зависимости от числа установленных внутри корпуса рабочих колёс центробежные насосы делятся на одно- и многоступенчатые.

Основными параметрами работы насосов являются; подача, напор, мощность привода, коэффициент полезного действия и частота вращения рабочего колеса. Подкачей (расходом) насоса называется количество жидкости (объём), подаваемое насосом за единицу времени в напорный трубопровод.

Напором насоса называется механическая энергия, сообщаемая насосом единице веса (1 Н) жидкости. Поэтому напор имеет линейную размерность (м. ст. ж.); $\text{Дж/Н} = \text{Н м} / \text{Н} = \text{м}$. Напор насоса равен разности полного гидродинамического напора (удельной энергии жидкости) за насосом (в нагнетательном трубопроводе) и полного гидродинамического напора перед ним (во всасывающем трубопроводе).

При подборе насоса рассчитывают его потребный напор, при этом затрачиваемая мощность или мощность, подводимая к валу насоса, всегда больше полезной (или теоретической) мощности насоса из-за потерь энергии.

При работе насоса разность давлений в приёмном резервуаре и в корпусе насоса должна быть достаточной для преодоления давления столба жидкости и гидравлических сопротивлений во всасывающем трубопроводе.

При опускании давления на входе в насос (во всасывающем трубопроводе) до давления насыщения паров перекачиваемой жидкости при данной температуре наступает кавитация (пустотообразование) - процесс нарушения сплошности течения жидкости, который сопровождается повышением местных температур и давления, что вызывает гидравлические удары. Это явление приводит к разрушению рабочих органов насоса. Поэтому кавитация в насосах недопустима. Особенно быстро разрушаются алюминий и механически обработанный чугун, а наиболее стойкой оказывается обладающая большой вязкостью нержавеющая сталь. Стойкость против кавитационного разрушения можно повысить шлифовкой и полировкой металлов, а также применением стойких материалов, что позволяет непродолжительное время работать в условиях местной кавитации. Первым и главным условием устранения кавитации является правильное назначение допустимой высоты всасывания (обычно 6-7 м).

В многоступенчатых насосах (рис. 24) для повышения напора жидкость, выходящая из первого рабочего колеса, поступает на второе рабочее колесо, затем на третье и т.д. В зависимости от своего конструктивного исполнения они могут быть секционными или спиральными. Современные модели многоступенчатых насосов секционного типа способны обеспечить производительность процесса перекачивания жидкости до 900 м^3 , при этом общий напор рабочей среды примерно равен сумме напоров, приобретённых жидкостью в каждом рабочем колесе, и может достигать до 1900 м вод. ст.

В зависимости от пространственного положения оси рабочего вала центробежные насосы (как многоступенчатые, так и одноступенчатые) делятся на устройства с горизонтальным и вертикальным расположением рабочей оси.

По расположению относительно перекачиваемой жидкой среды насосы делятся на поверхностные (или наземные), погружные и полу погружные.

Поверхностные располагаются на поверхности земли, вне скважины, но поблизости от неё (глубина скважины не должна превышать десяти метров).

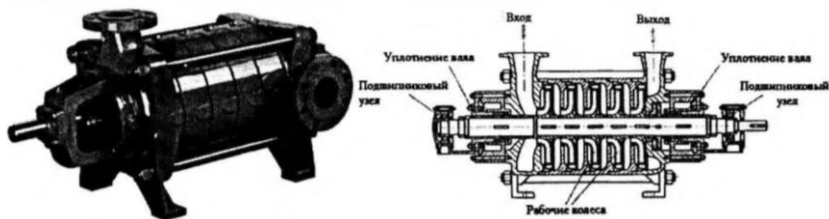


Рисунок 24 - Схема горизонтального многоступенчатого секционного центробежного насоса с двойным подшипником

Рабочее колесо (крыльчатку) условно можно разделить на следующие части: передний диск 1, задний (коренной) диск 2, ступица 3 и лопатки 4 (рис. 25,а). Колеса насосов изготавливают закрытой конструкции (есть все перечисленные части), полуоткрытой (без переднего диска) и открытой (без переднего и заднего дисков). Большинство насосов имеют рабочие колеса закрытой конструкции. Рабочие колеса полуоткрытой и открытой конструкции применяются в насосах специального назначения, перекачивающих загрязнённые жидкости (шламовые, фекальные, углесосы и т. д.).

Рабочие колеса бывают одностороннего и двухстороннего всасывания. Рабочие колеса двухстороннего всасывания (рисунок 25, б) представляют собой соединённые в одной детали два обычных колеса. Из условия прочности диски колеса утолщаются по направлению к втулке. Скорость на внешней окружности литых чугунных колёс не более 34-35 м/с.

Лопасты располагаются под определённым углом, их изгиб направлен в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. Форма профиля лопасти должна быть такой, чтобы на всем протяжении её приращение абсолютной скорости было плавным, равномерным и обеспечивало бы требуемые углы входа и выхода. Лопасты профилируются по дуге окружности или по логарифмической спирали и имеют толщину: чугунные 4—8 мм, бронзовые 3-6 мм.

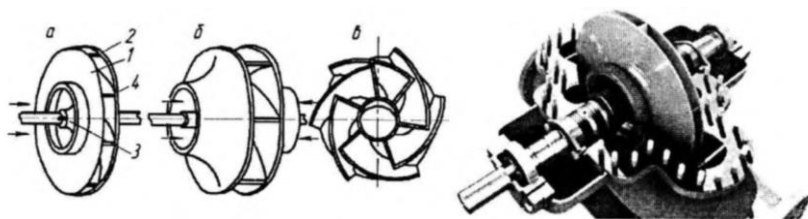


Рисунок 25 - Виды рабочих колёс центробежных насосов

а - закрытое, одностороннего действия; б - закрытое, двухстороннего действия; в - полуоткрытое

Центробежные насосы погружного типа в процессе эксплуатации полностью погружаются в перекачиваемую среду (рис. 26). Отдельные модели вертикальных центробежных насосов погружного типа могут размещаться даже в трубе, по которой осуществляется откачивание жидкой среды. Погружные насосы практически не издадут шума при своей работе,

поскольку полностью находятся в жидкой среде. Корпус насосов данного типа, который изготавливают преимущественно из нержавеющей стали, должен отличаться абсолютной герметичностью, что обеспечивается использованием при его сборке уплотнительных элементов.

Разгерметизация корпуса центробежных водяных насосов погружного типа может привести к тому, что их приводной электродвигатель просто выйдет из строя. При использовании погружных насосов воду из обслуживаемой скважины можно поднимать с глубины 40 метров и более. Насосы погружного типа способны обеспечить перекачивание жидкой среды с производительностью до 16 м³/ч, при этом её напор может достигать 200 м вод. ст.

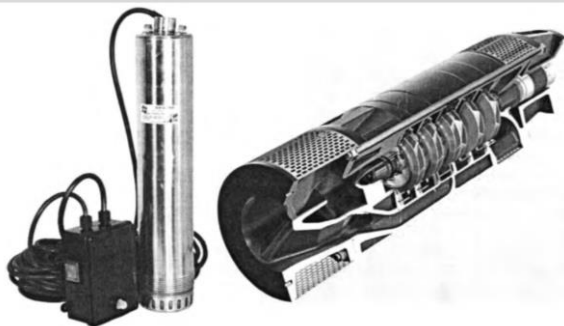


Рисунок 26 - Центробежный насос погружного типа

Для неагрессивной воды рабочие колеса изготавливаются литыми из чугуна или стали, для кислотной — из легированных хромом и никелем сталей, хромистого или кремнистого чугуна, кислотоупорных бронз и пластмасс.

Рабочие колёса могут быть следующих типов: осевые, радиальные, диагональные. В основном, в насосных устройствах крыльчатка трёхмерной конструкции, которая соединяет плюсы осевых и радиальных колёс.

Методика проведения работы

1. Изменение (увеличение) расхода подаваемого насосом достигается путем плавного открытия регулировочного вентиля.

2. Величина расхода Q [м³/с] определяется мерным способом при помощи мерного бака 9 и водомерной трубки 10 по формуле:

$$Q = \frac{W}{\Delta t}, [\text{м}^3/\text{с}] \quad (25)$$

где W – объем жидкости, вытекшей из трубопровода 7 в мерный бак 9 за время опыта, равное Δt секунд.

3. Для каждого замеренного расхода определяем значение средней скорости во всасывающем - v_1 и v_2 отводящем трубопроводах по формулам:

$$V_1 = \frac{Q}{\omega_1}, [\text{м/с}] \quad (26)$$

$$V_2 = \frac{Q}{\omega_2}, [\text{м/с}] \quad (27)$$

где Q – расход, установленный в опыте, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\omega_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} [\text{м}^2]$ – площадь живого сечения во всасывающем трубопроводе диаметром $d_1 = 2$;

$\omega_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} [\text{м}^2]$ – то же для отводящего трубопровода диаметром $d_2 = 1$.

4. Полный напор насоса в опыте определяется по следующему уравнению:

$$H = \left(\frac{P_m}{\gamma} + \frac{P_6}{\gamma} \right) + (z_m + z_6) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, [\text{м.вод.ст.}] \quad (28)$$

где: $\frac{P_m}{\gamma}$ – показания манометра 6 в метрах водяного столба, м.вод.ст.;

$\frac{P_6}{\gamma}$ – показания манометра вакуумметра 4 в метрах водяного столба, м.вод.ст.;

$(z_m - z_6)$ – расстояние по вертикали между точками присоединений вакуумметра 4 и манометра 6.

5. Полезная мощность насоса в опыте определится по формуле:

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (29)$$

где $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ – удельная масса воды.

6. Мощность на воду насосов определить по формуле:

$$N_g = I \cdot U \cdot \eta_{эл} \cdot \cos \varphi \quad (30)$$

где I – показания амперметра

U – показания вольтметра

$$\eta_{эл} = 83\%; \cos \varphi = 0,88$$

7. Измеренные в каждом опыте величины заносятся в таблицу экспериментальных данных.

8. По данным опытов, указанных в таблице 4 строится график $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$, – характеристика исследованного центробежного насоса.

Таблица 4 – Экспериментальные данные для построения характеристики Ц/Б насоса.

№	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Данные опытов		
				1	2	3
1	Показания манометров	М	м.вод.ст.			
2	Показания вакуумметра	В	м.вод.ст.			
3	Время опыта	t	с			
4	Объем жидкости, поступившей за время опыта	W	м ³			

5	Показания амперметра	I,	А			
6	Показания вольтметра	U	В			
7	Напор насоса	H	м.вод.ст.			
8	Производительность насоса	Q	м ³ /с			
9	Полезная мощность насоса	N	Вт			
10	Мощность на валу насоса	N _в	Вт			
11	КПД насоса, $\eta = \frac{N}{N_e} \cdot 100$	η	%			

7.8 По данным опытов, указанных в таблице 4 строится график $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$, – характеристика исследованного центробежного насоса.

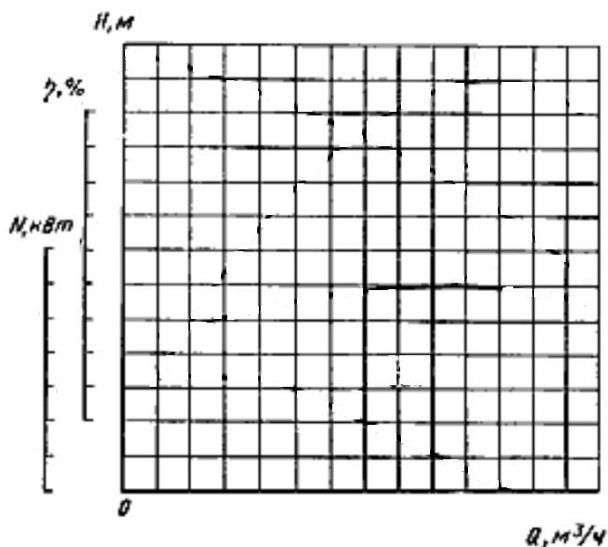


Рисунок 27 – Сетка для построения характеристик насоса $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$

После анализа полученных данных делается вывод.

Теоретические вопросы по разделу гидравлические машины.

1. Общее понятие о гидравлических машинах; гидравлические машины и гидравлические двигатели. Классификация насосов.

2. Особенности конструкции силовых цилиндров, расчет усилия на штоке, определение скорости штока при рабочем и обратном ходе.

3. Основные параметры лопастных насосов: подача, напор, мощность и КПД насоса. Регулирование подачи лопастных насосов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник / Д. В. Штеренлихт. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 656 с. — ISBN 978-5-8114-1892-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212051>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Моргунов, К. П. Гидравлика : учебник / К. П. Моргунов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1735-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211682>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Вольвак, С.Ф. Гидравлика : 2019-08-27 / С.Ф. Вольвак. — Белгород : БелГСХА им. В.Я. Горина, 2018 — Часть 1 : Гидравлика и гидравлические машины — 2018. — 240 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123369>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Вольвак, С.Ф. Гидравлика : 2019-08-27 / С.Ф. Вольвак. — Белгород : БелГСХА им. В.Я. Горина, 2018 — Часть 2 : Гидромеханизация сельскохозяйственных процессов — 2018. — 198 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123370>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Составители: Диденко Александр Александрович

ГИДРАВЛИКА

Задания и методические указания по выполнению контрольной работы
(для студентов заочной формы обучения по направлению
подготовки 35.03.06 Агроинженерия)

Компьютерная верстка А.А. Диденко

Подписано к печати 28 января 2026

Формат 60х84^{1/16}

Объем 1,2 уч.- изд. л. тираж 100 экз.

Изд. №

Заказ №