



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автотранспортные, строительные и дорожные
средства»

Методические указания
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине

**«Гидравлика и
гидропневмопривод»**

Авторы

Теплякова С.В.,
Зайцева М.М.,
Веремеенко А.А.,
Веремеенко Е.Г.,
Косенко Е.Е.,
Мегера Г.И.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Гидравлика и гидропневмопривод: методические указания для проведения лабораторных занятий для обучающихся по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Авторы

К.Т.Н.,
ассистент каф. АС и ДС
Теплякова С.В.
доцент, К.Т.Н.,
доцент каф. АС и ДС
Зайцева М.М.
доцент, К.Т.Н.,
доцент каф. АД
Веремеенко А.А.
К.Т.Н., доцент каф. ОПД
Веремеенко Е.Г.
К.Т.Н.,
доцент каф. АС и ДС
Косенко Е.Е.
ст. преподаватель
каф. АС и ДС
Мегера Г.И..



Оглавление

Введение	4
Физические свойства жидкостей	4
Краткая теория.....	4
Некоторые характеристики и требования к жидкостям, применяемым в гидросистемах	5
Пример	9
Гидростатика	9
Гидростатическое давление.....	9
Пример	Ошибка! Залкада не определена.
Лабораторная работа «Ознакомление с устройством механических и жидкостных приборов для измерения давлений»	11
Лабораторная работа №2 «Уравнение Бернулли»	12
Лабораторная работа №3 «относительный покой жидкости в цилиндре, вращающемся вокруг вертикальной оси»	15
Список литературы	18

ВВЕДЕНИЕ

Жидкости и газы являются рабочей средой в гидравлических и пневматических приводах, с помощью которых осуществляется передача энергии.

Гидравлическим и пневматическим приводом называется совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин посредством рабочей среды под давлением.

В качестве рабочей жидкости в гидроприводах используются в основном минеральные масла. В пневмоприводах в качестве рабочего агента применяется очищенный воздух.

Знание свойств и состояний жидкостей и газов необходимо при проектировании гидро- и пневмоприводов.

Жидкость – физическое тело, обладающее свойством текучести, в силу чего жидкость не имеет собственной формы и принимает форму сосуда, в который её помещают.

Жидкость делят на два вида: капельные и газообразные. Капельные жидкости характеризуются большим сопротивлением сжатию (почти несжимаемы) и малым сопротивлением растягивающим и касательным усилиям. Газы способны к весьма значительному уменьшению своего объема под действием давления и к неограниченному расширению при отсутствии давления. В отличие от газов (сжимаемые жидкости) капельные жидкости образуют свободную поверхность.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Краткая теория

Плотность определяется для однородной жидкости отношением ее массы к объему:

$$\rho = m/W, \text{ кг/м}^3.$$

Удельный вес - это вес единицы объема жидкости:

$$\gamma = G/W, \text{ Н/м}^3.$$

Плотность и удельный вес связаны между собой:

$$\gamma = \rho \cdot g.$$

Сжимаемость жидкостей характеризуется модулем объемной упругости K или коэффициентом объемного сжатия β_w :

$$\beta_w = dW/(W0 \cdot dp) = 1/K, \text{ м}^2/\text{Н}.$$

Температурное расширение определяется соответствующим коэффициентом, равным относительному изменению объема, при

изменении температуры на 1°C :

$$\beta_t = dW/(W_0 \cdot dt) , 1/^{\circ}\text{C}.$$

Состояние газов. В отличие от капельных жидкостей газы характеризуются значительной сжимаемостью и высокими значениями коэффициента температурного расширения. Зависимость плотности газов от давления и температуры устанавливается уравнением состояния. Наиболее простыми свойствами обладает разреженный газ, когда взаимодействие между его молекулами не учитывается. В этом случае газ называется совершенным, или идеальным. Для идеальных газов справедливо уравнение Клапейрона, позволяющее определять плотность газа при известных давлении и температуре. Поэтому для реальных газов можно применять уравнение Клапейрона в широких пределах.

Вязкость - это способность жидкости сопротивляться сдвигу. Динамическая вязкость μ входит в закон жидкостного трения Ньютона, выражающий касательное напряжение τ через поперечный градиент скорости du/dy :

$$\tau = \mu du/dy .$$

Кинематическая вязкость связана с динамической соотношением:

$$\mu = \rho \cdot \nu , \text{ Нс/м}^2 ;$$

эмпирическая формула Энглера:

$$\nu = (0.0731 \cdot ^{\circ}\text{E} - 0.0631 / ^{\circ}\text{E}) , \text{ см}^2/\text{с};$$

$$^{\circ}\text{E} = t_{\text{ж}}/t_{\text{воды}} .$$

Некоторые характеристики и требования к жидкостям, применяемым в гидросистемах

Физические свойства жидкостей и другие их характеристики должны удовлетворять условиям эксплуатации систем гидроприводов и гидроавтоматики. Универсальной рабочей жидкости не существует. Поэтому рабочую жидкость для каждой гидросистемы выбирают исходя из требований, предъявляемых к системе.

Рассмотрим некоторые специальные характеристики рабочих жидкостей – масел, применяемых в гидросистемах. Индекс вязкости характеризует степень постоянства вязкости жидкости при изменении температуры. Чем выше индекс вязкости, тем более пологой является кривая вязкости. В лучшем случае вязкость должна быть стабильной в интервалах рабочих температур.

Индекс вязкости выводится путем сравнения с эталонной жидкостью. Вязкость масел повышается с ростом давления. Вязкость масла с высоким значением индекса вязкости меньше изме-

няется при повышении давления.

Физической стабильностью жидкости называется ее способность длительно сохранять свои первоначальные свойства (вязкость, плотность, смазывающую способность) при работе в условиях высоких давлений, при больших перепадах давлений и значительной вибрации.

Химической стабильностью называется устойчивость жидкости к окислению кислородом воздуха. При окислении, особенно при высоких температурах, из жидкости выпадают осадки в виде смолы и коксоподобных веществ, которые, попадая в зазоры гидроаппаратов, парализуют их работу. Окисление приводит к увеличению вязкости и снижает способность масла отделять воду и воздух. На скорость окисления существенно влияют температура масла, интенсивность перемешивания и присутствие воздуха. При увеличении температуры от 50° до 70° в связи с резким увеличением скорости окислительных реакций срок эксплуатации масла уменьшается вдвое. Смазывающая способность – свойство жидкости, обеспечивающее уменьшение контактного трения. Смазывающую способность масел улучшают введением различных присадок.

Растворимость и выделение газов. Все жидкости способны растворять газ, а при понижении давления или повышении температуры выделять его в виде пузырьков. При этом в жидкости образуются разрывы сплошности, жидкость вспенивается, и условия работы гидросистемы ухудшаются. Выделение газа происходит до тех пор, пока не наступает равновесие между жидкой и газовой фазами системы.

Интенсивность растворения и время насыщения жидкостей газом зависит от площади их соприкосновения и интенсивности перемешивания жидкости. Степень насыщения газом рабочих жидкостей зависит от вида газа. У кислорода растворимость выше, чем у азота, а у углекислого газа – самая высокая. Большое количество выделившихся мелких пузырьков могут соединиться и создать газовые пробки, что приводит к нарушению нормальной работы гидросистемы и ухудшению динамических характеристик гидропривода.

Кроме того, выделяемый из жидкости газ образует пену. Пенообразование приводит к интенсивному протеканию окисления, нарушает нормальную работу насоса, ухудшает смазывающую способность масел и способствует коррозии стальных деталей. Одной из мер борьбы с пеной является введение в рабочую жидкость специальных противопенных присадок.

Кавитация – это явление, когда пузырьки пара или паровоздушные пузырьки, появившиеся при давлении в движущейся жидкости, меньшем давления насыщенных паров, попадая в область повышенного давления, смыкаются (паровые пузырьки конденсируются, а газовые сжимаются). Разрушение пузырьков сопровождается шумом, вибрацией и местными гидравлическими ударами, приводящими к постепенному эрозийному разрушению твердых стенок. Возникновение кавитации значительно усиливается при наличии в жидкости пузырьков воздуха, а также растворенных газов. Кавитационные явления наиболее часто возникают в рабочих полостях насосов, гидродвигателей, в клапанах и в щелях распределительной аппаратуры. Одной из мер борьбы с кавитацией является повышение давления в зонах возможного разрыва жидкости.

Воспламеняемость рабочей жидкости имеет большое значение, особенно при работе в закрытых помещениях. Существуют три показателя воспламеняемости: температура вспышки; температура воспламенения; температура самовоспламенения. Наименьшая температура – это температура вспышки, которая для некоторых минеральных масел равна (360 - 390) К. При выборе масел необходимо учитывать температурные свойства.

Облитерация. Установлено, что расход даже тщательно очищенной жидкости через щели и отверстия малых размеров не подчиняется классическим законам гидродинамики. Интенсивность уменьшения расхода зависит от перепада давления, формы и размеров щелей, типа рабочей жидкости, её чистоты, температуры и материала стенок. Уменьшение расхода жидкости при течении через щели микронных размеров называется облитерацией и объясняется следующим образом. Рабочая жидкость содержит активно-полярные молекулы, а металлические стенки щелей обладают поверхностной энергией в виде внешнего электрического поля. Поэтому протекание через щель сопровождается отложением поляризованных молекул на ее стенках, толщина слоя которых может достигать до 10 мкм. Этот слой обладает свойствами квазитвердого тела и может выдержать большие нагрузки не разрушаясь. Поляризованный слой молекул разрушается при увеличении перепада давления, но потом эта щель снова зарастает. Эффективным средством борьбы с облитерацией является механическое удаление слоя поляризованных молекул при помощи относительного перемещения поверхностей щели.

Обобщая свойства и характеристики рабочих жидкостей, приходим к выводу, что им должны быть присущи: хорошие сма-

зывающие свойства, высокий индекс вязкости, большой модуль упругости, химическая и физическая стабильность в течение длительного времени эксплуатации, сопротивляемость вспениванию, малая плотность и способность к растворению воздуха, хорошая теплопроводность, низкое давление насыщенных паров и высокая температура кипения, совместимость с материалами гидросистемы, негигроскопичность, нетоксичность и т.д.

Подобрать рабочую жидкость, которая бы удовлетворяла всем требованиям одновременно, практически невозможно.

Наибольшее распространение нашли минеральные масла на нефтяной основе, которые содержат антиокислительную, антипенную, антикоррозионную и антиизносную присадки. Минеральные масла имеют низкую стоимость, доступность в больших количествах, хорошую смазывающую способность и большой срок службы при высоких давлениях.

В промышленных гидросистемах широко применяют трансформаторное, веретенное АУ, индустриальное, турбинное, цилиндрическое, ВМГЗ, МГ-30, ГМ-50И и др. масла.

Некоторые масла предназначены для узкого диапазона температур (ДО-11- летний, ДП-8-зимний). Для широкого диапазона температур применяют масла АТМ, МВП, ГМ-50И, но их стоимость большая. В авиационных системах применяют масло АМГ-Ю для работы при температурах 220-360 К.

Тем не менее, минеральные масла имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. При повышенных температурах ухудшается смазывающая способность, а при низких температурах резко возрастает вязкость. Кроме того, при повышенных температурах из минеральных масел выпадают смолянистые осадки, которые засоряют ячейки фильтров и осаждаются во внутренних проходах гидроаппаратуры.

В гидроприводах и системах гидроавтоматики, работающих при температуре порядка 450 К, применяют синтетические силиконовые и кремнийорганические жидкости. Они имеют высокую химическую стойкость, хорошо смешиваются с минеральными маслами, у них отсутствует коррозионная активность.

При температурах выше 600 К нельзя применять ни минеральные, ни синтетические жидкости. Перспективным является применение жидких металлов при температурах от 260 до 1020 К, например сплав из 77 % натрия и 23 % калия. Однако жидкие металлы имеют плохие смазывающие свойства и окисляются при контакте с кислородом.

Таким образом, рабочую жидкость необходимо выбирать

конкретно для каждой гидросистемы отдельно с учетом условий работы. При этом надо учитывать совместимость рабочей жидкости и материалов гидросистемы.

Пример

Вода тяжелее керосина в 1.3 раза. Определить удельный вес керосина при температуре 4°C.

Решение

Из табл. 1 приложения: плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Удельный вес воды:

$$\gamma_B = \rho \cdot g = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9.81 \text{ м/с}^2 = 9810 \text{ Н/м}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

Из условия задачи $G_B = 1.3 G_K$. Следовательно, $\gamma_B = 1.3 \gamma_K$.

Отсюда

$$\gamma_K = \gamma_B / 1.3 = 9800 / 1.3 \text{ Н/м}^3 = 7538.5 \text{ Н/м}^3 \text{ или } 1000 / 1.3 = 769.2 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $769.2 \text{ кг/м}^3 = 7538.5 \text{ Н/м}^3$.

1. В автоклав объемом 50 л под некоторым давлением закачено 50.5 л эфира. Определить, пренебрегая деформацией стенок автоклава, повышение давления в нем, если коэффициент объемного сжатия эфира при 20°C $\beta_w = 1.91 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{кг}$.

Решение

Из формулы для определения коэффициента объемного сжатия выразим изменение давления:

$$dp = dW / (W_0 \cdot \beta_w).$$

Начальный объем $W_0 = 50 \text{ л} = 50 \cdot 10^3 \text{ см}^3$.

Изменение объема $dW = 50.5 - 50 = 0.5 \text{ л} = 0.5 \cdot 10^3 \text{ см}^3$.

Следовательно

$$dp = 0.5 \cdot 10^3 / (50 \cdot 10^3 \cdot 1.91 \cdot 10^{-4}) = 0.00524 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2 = 52.4 \text{ кг/см}^2.$$

Ответ: 52.4 кг/см^2 .

ГИДРОСТАТИКА

Гидростатическое давление

Гидростатика является разделом гидравлики, в котором изучаются законы равновесия жидкостей. В покоящейся жидкости возможны лишь нормальные напряжения сжатия. Величина гидростатического давления в точке по всем направлениям одинакова (не зависит от ориентации площади). $P_x = P_y = P_z = P_n$, где $P_x = P_y = P_z = P_n$ – давления соответственно по произвольному направлению и осям координат. Основной задачей гидростатики

является определением давления в зависимости от координат $P=f(x,y,z)$.

Интересным эффектом в этой области является вязкоэлектрический эффект. Протекание полярной непроводящей жидкости между обкладками конденсатора сопровождается некоторым увеличением вязкости, мгновенно исчезающим при снятии поля. Это явление в чистых жидкостях получило название вязкоэлектрического эффекта.

Увеличение вязкости под действием электрического поля происходит за счет того, что в жидкости могут находиться или возникать под действием поля свободные ионы. Они становятся центрами ориентации полярных молекул, т.е. источниками заряженных групп, для которых в электрическом поле возможно движение типа электрофореза. Количество движения таким образом переносится от слоя к слою поперек потока. Давление в неподвижной жидкости называется гидростатическим и обладает следующими свойствами:

- на внешней поверхности жидкости оно всегда направлено по нормали внутрь объема жидкости;
- в любой точке внутри жидкости оно по всем направлениям одинаково, т.е. не зависит от угла наклона площадки, по которой действует.

Уравнение, выражающее гидростатическое давление p в любой точке неподвижной жидкости при действии только лишь силы тяжести, называется *основным уравнением гидростатики*:

$$p = p_0 + \gamma h,$$

где p_0 - давление на какой-либо поверхности уровня жидкости, например на свободной поверхности; h - глубина расположения рассматриваемой точки, отсчитанная от поверхности с давлением p_0 .

Пример

Определить величину избыточного гидростатического давления (гсд) в точке A под поршнем (рис. 4) и в точке B воды на глубине 2 м от поршня, если на поршень диаметром 200 мм производится давление с силой 314 кГ.

Решение

Давление в точке A $p_A = P/S = 4 \cdot P / (\pi \cdot d^2) = 4 \cdot 314 / (3.14 \cdot 400) = 1 \text{ кГ/см}^2$.

Давление в точке B $p_B = p_A + \gamma z = 1 + 0.001 \cdot 200 = 1.2 \text{ кГ/см}^2$.

Ответ: 1 кГ/см²; 1.2 кГ/см².

«ОЗНАКОМЛЕНИЕ С УСТРОЙСТВОМ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЖИДКОСТНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ»

Цель работы: 1. Ознакомиться с устройством механических и жидкостных приборов для измерения давлений. 2. Измерить давление и вакуум пьезометром, V - образным манометром, манометром абсолютного давления.

Основные положения

Напряжения сжатия в жидкости называют абсолютным давлением, оно всегда положительно, т.е. больше нуля. Отрицательные напряжения, т.е. напряжения растяжения, в жидкости существовать не могут, поскольку жидкость на сопротивляется растяжению.

Абсолютное давление определяется основным уравнением гидростатики:

$$P_{абс} = P_0 + \rho g h,$$

где P_0 - давление на поверхности жидкости; $\rho g h$ - давление обусловленное весом самой жидкости; h - глубина погружения в жидкость.

Таким образом, абсолютное давление изменяется от нуля до плюс бесконечности, начало отсчета расположено в начале числовой оси. Однако на практике более удобно смещать начало отсчета в точку, соответствующую атмосферному давлению $P_{атм}$ или $9,81 \cdot 10^4$ Па. При смещении нуля отсчета на числовой оси появляются положительные значения и отрицательные. Отрицательные значения называют вакуумом, они изменяются от нуля до $P_{атм}$ или от нуля до $9,81 \cdot 10^4$ Па. Положительные значения называют избыточным давлением, они изменяются от нуля до плюс бесконечности при условии, что смещенный ноль отсчета находится в точке абсолютной шкалы, соответствующей $P_{атм}$, или манометрическим давлением, если смещенный ноль отсчета находится в точке абсолютной шкалы, соответствующей $9,81 \cdot 10^4$ Па. В этом смысле можно говорить об абсолютной шкале давления, шкале избыточного и манометрического давления.

Порядок выполнения работы

1. Резервуар заполняют водой. К резервуару в различных точках по вертикали подсоединены пьезометры.

2. В соответствии с правилом сообщающихся сосудов поверхности жидкости в резервуаре и пьезометрах располагают в одной горизонтальной плоскости.

3. Измеряют атмосферное давление.
4. При помощи насоса с ручным приводом создают давление в резервуаре.
5. Зафиксировать подъем жидкости в пьезометрах на высоту h от первоначального уровня на щите с измерительной линейной сеткой.
6. Зафиксировать показания U-образного манометра.
7. Соединительные трубки подсоединяют к насосу в положение п и создают вакуум, показания снимают в той же последовательности.

Обработка опытных данных

1. Определяем атмосферное давление по показанию барометра в мм рт.ст. и переводим в н/м²: 1 мм рт.ст. = 133,3 н/м²

$P_0 = h_s \cdot \gamma_{рт}$, где $\gamma_{рт}$ - удельный вес ртути.

3. Определяем избыточное давление в точке подсоединения U-образного манометра в мм водного столба и переводим в н/м²:

1 мм вод.ст. = 9,81 н/м²:

$P_m = h_{ув}$, где $\gamma_{в}$ - удельный вес воды.

3. Определяем избыточное давление в точке подсоединения пьезометра в мм вод.ст. и переводим в Н/м²:

$P_p = h_{ув}$.

4. Определяем абсолютное давление в точке подсоединения пьезометра:

$P_{абс} = P_0 + P_p$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ»

Цель работы. 1. Визуально наблюдать переход энергии из потенциальной в кинетическую и обратно. 2. Построить линии энергии и потенциальной энергии для трубопровода переменного сечения.

Описание опытного устройства

Устройство содержит баки 1 и 2, сообщаемые через каналы переменного 3 и постоянного 4 сечений (рис. 1). Каналы соединены между собой равномерно расположенными пьезометрами I-V, служащими для измерения пьезометрических напоров в характерных сечениях. Устройство заполнено подкрашенной водой. В одном из баков предусмотрена шкала 5 для измерения уровня воды. При перевертывании устройства благодаря постоянству

напора истечения Но во времени, обеспечивается установившееся движение воды в нижнем канале. Другой канал в это время пропускает воздух, вытесняемый жидкостью из нижнего бака в верхний.

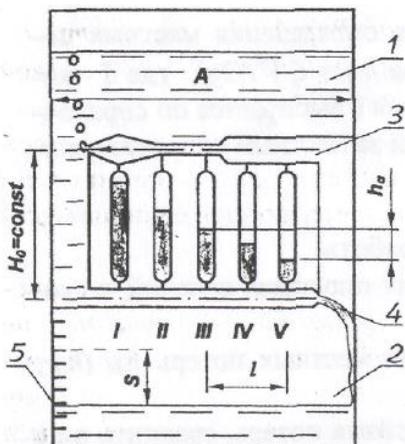


Рис.1. Опытное устройство: 1,2 - баки; 3,4 — каналы переменного и постоянного сечения; 5 - уровневая шкала; I-V – пьезометры

Порядок выполнения работы.

1. При заполненном водой баке 2 (рис.1) перевернуть устройство для получения течения в канале переменного сечения 3.

2. Снять показания пьезометров $НП = p / (\rho g)$ по нижним частям менисков воды в них.

3. Измерить время t перемещения уровня в баке на произвольно заданную величину S .

4. По размерам A и B поперечного сечения бака, перемещению уровня S и времени t определить расход Q воды в канале, а затем скоростные ($НК$) и полные ($Н$) напоры в сечениях канала по порядку, указанному в таблице 1.

Таблица 1

№ п/ п	Наименование величин	Обозначения, формулы	Сечения канала					
			I	II	III	IV	V	VI
1.	Площадь сечения канала, см	ω						
2.	Средняя скорость, см/с	$V=Q/\omega$						
3.	Пьезометрический напор, см	$H_{\text{п}}=p/(\rho g)$						
4.	Скоростной напор, см	$H_{\text{к}}=v^2/(2g)$						
5.	Полный напор, см	$H= p/(\rho g)+v^2/(2g)$						

$$A = \dots \text{ см}; B = \dots \text{ см}; S = \dots \text{ см}; t = \dots \text{ с}; Q = ABS/t = \dots \text{ см}^3/\text{с}$$

5. Вычертить в масштабе канал с пьезометрами (рис.2). Соединив уровни жидкости в пьезометрах и центром выходного сечения VI, получить пьезометрическую линию 1, показывающую изменение потенциальной энергии (давления) вдоль потока. Для получения напорной линии 2 (линии полной механической энергии) отложить от оси канала полные напоры H и соединить полученные точки.

6. Проанализировать изменение полной механической H , потенциальной $p/(\rho g)$ и кинетической $v^2/(2g)$ энергий жидкости вдоль потока; выяснить соответствие этих изменений уравнению Бернулли.

Содержание отчета.

1. Записать цель работы.
2. Нарисовать схему лабораторной установки.
3. Выписать расчетные формулы.
4. Заполнить таблицу с данными наблюдений и результатами расчетов.
5. Начертить линии энергии и потенциальной энергии на графике.

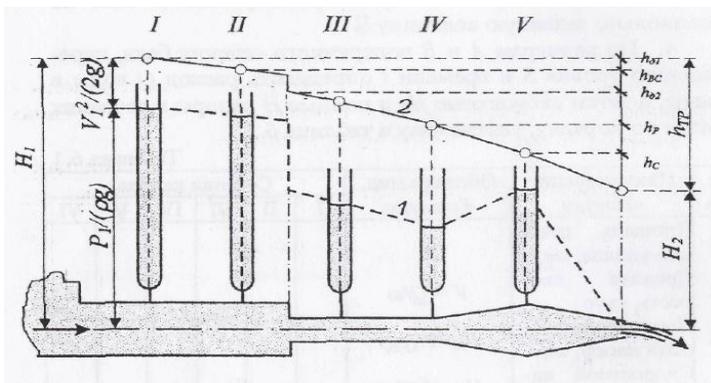


Рис.2. Иллюстрация уравнения Бернулли:

1,2- пьезометрическая и напорная линии; H_1 , H_2 - полные напоры (механические энергии) на входе и выходе из канала; h_{TP} , $h_{\delta 1}$, $h_{\delta 2}$, h_{BC} , h_P , h_C - потери напора: суммарные, по длине на 10м и 20м участках, на внезапное сужение, на плавные расширения и сужения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ПОКОЙ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРЕ, ВРАЩАЮЩЕМСЯ ВОКРУГ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ»

Цель работы. 1. Визуальное наблюдение формы свободной поверхности жидкости во вращающемся цилиндре. 2. Изучение закономерностей относительного покоя, необходимых для конструирования центрифуг, жидкостных тахометров и других устройств. 3. Оценка точности показаний жидкостного тахометра.

Описание опытной установки. Установка (рис.3) состоит из стеклянного цилиндра 2, вставленного в обойму 1. Цилиндр приводится во вращение через клиноременную передачу от электродвигателя, который подключен к электросети через реостат, что позволяет изменять число оборотов двигателя. Рядом с цилиндром расположена координатная линейка 3 с подвижной измерительной иглой 4, при помощи которой измеряются координаты zH и $z0$. Для определения числа оборотов цилиндра установлен частотомер. Кроме того, число оборотов может быть определено по числу щелчков, производимых иглой 5 при задевании ею выступа на диске 6.

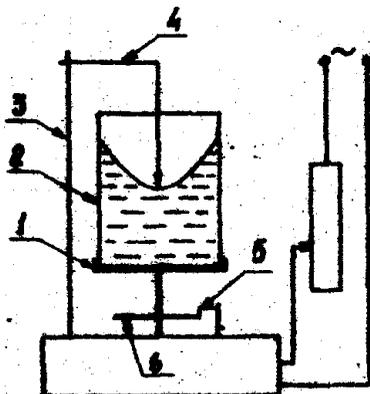


Рис. 2. Лабораторная установка

Порядок проведения работы.

1. Залить цилиндр подкрашенной жидкостью примерно на $1/3$ его высоты.

2. Замерить радиус цилиндра R и уровень жидкости в нем зн.

3. Включить двигатель. Движком реостата установить такие обороты цилиндра, при которых высота параболоида будет максимальной. При этом нужно проследить, чтобы вершина параболоида не касалась дна цилиндра или вода не переливалась через его верх.

4. Дождаться (здесь очень важно не спешить, иначе точность замеров будет мала), когда установится относительный покой жидкости в цилиндре, т.е. высота параболоида перестанет изменяться и замерить координату z_0 с помощью координатной линейки.

5. Определить число оборотов по показанию счетчика или числу щелчков в единицу времени.

6. Немного уменьшить с помощью реостата обороты двигателя. Повторить замеры по пунктам 4.4 и 4.5.

7. Сделать таким образом 5 - 6 опытов при различных числах оборотов.

Результаты измерений занести в таблицу.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. Определить разность показаний $z_n - z_0$.

2. Определить число оборотов.

3. Вычислить число оборотов цилиндра по щелчкам (счетчику оборотов).

4. Определить ошибку путем сравнения вычисленного числа оборотов n_T , с замеренным n :

$$\delta = \frac{n_T - n}{n} 100\%$$

5. Результаты расчетов занести в таблицу.

Таблица 1

R = см							
Координаты		Разность $Z_H - Z_0$, см	Число щелчков, шт.	Время замера, с	Число оборотов		Ошибка δ , %
Z_H , см	Z_0 , см				замер. n , об/с	вычис. n_T , об/с	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учеб. для вузов: в 2 кн. / Д.В. Штеренлихт - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 2013. - Кн.1. - 351 с.
2. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод: учеб. для вузов / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 2014. - 331 С.
3. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справ. / В.К. Свешников, А.А. Усов - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2008. - 512 с.
4. Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.М. Вильнер, Б.Б. Некрасов; под ред. Б.Б. Некрасова. - Минск: Высш. шк., 2012. -416 с.
5. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: учеб. пособие для машиностр. вузов / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвидз [и др.]; под ред. И.И. Куколевского и Л.Г. Подвидза. - 4-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 2013. - 464 с.
6. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. - 4-е изд. перераб. и доп. - М., 1992. - 312 с.
7. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учеб. для вузов/ Р.Р. Чугаев - 4-е изд., доп. и перераб. - Л., 2013. - 672 с.
9. Железняков, Г.В. Гидравлика и гидрология: учеб. для вузов / Г.В. Железняков-М., 2014. -376с.
10. Рабинович Е.З. Гидравлика: учеб. пособие для вузов / Е.З. Рабинович-М. , 2012.-278 с.