Каспийский институт морского и речного транспорта
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Волжский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Зам. директора по учебной работе
_____ М.В. Карташов
«15» марта 2016 г.

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Гидравлика»

для курсантов 3 курса

специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок

РАССМОТРЕНО
на заседании цикловой методической комиссии
судомеханических дисциплин

Протокол № 6
от «14» 03 2016 года

Председатель ЦМК
_____ Максудов Р.К.
(подпись) (Ф.И.О.)

СОСТАВИЛ
_____ Кочетков А.Ю.
(подпись) (Ф.И.О.)

ОДОБРЕНО
учебно-методическим отделом СПО
Начальник _____ В.А.Овсянников
Ст. методист _____ О.Н. Вербицкая

2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.

Лабораторная работа № 1

Описать силы создающие давление на плоские стенки

Лабораторная работа № 2

Описать силы создающие давление на цилиндрические поверхности

Пояснительная записка.

Программа учебной дисциплины «Гидравлика» предусматривает выполнение на 3 курсе 2 лабораторных работ с целью развития умений и навыков, необходимых специалисту «технику-судомеханику» в практической деятельности на судах речного и морского флота.

Для качественного выполнения лабораторных работ учащиеся должны иметь необходимые базовые знания, полученные в процессе изучения «Инженерной графики», «Материаловедения», «Стандартизация, сертификация и метрология» и других дисциплин.

Структура и содержание практических работ проводимых в соответствии с данным пособием позволяет решить следующие учебные задачи с учетом межпредметных связей:

- изучить силы, для определения сил, создающих различные типы давлений;
- развить логическое мышление на определение давления для цилиндрических поверхностей и плоских стенок;
— углубить знания и развивать навыки определения свойств различных материалов и их применения (материаловедение)
- развивать навыки эскизирования (инженерная графика), производства замеров различных размеров, работы с измерительным инструментом (стандартизация, сертификация и метрология);
- развивать навыки работы со справочной литературой и технической документацией.

Методические указания могут быть использованы на различных формах обучения (очной, заочной) на специальностях, программой которых предусмотрено изучение дисциплины «Судовые энергетические установки».

В зависимости от специализации и возможностей учебного заведения, задание на лабораторные работы может быть скорректировано с учетом обеспечения кабинетов, лабораторий, производственных условий выполнения работы, содержания рабочих программ учебной дисциплины.

Лабораторная работа № 1

«Описать силы создающие давление на плоские стенки»

1. Цель занятия.

Описать силы, создающие давление на плоские стенки

2. Методическое обеспечение.

2.1. Методические указания по проведению лабораторной работы.
2.2. Е.З.Рабинович Гидравлика: Учебное пособие для вузов — М .:Недра ,1980 —278 с.

3. Выполнение работы.
3.1. Изучить материал по теме, письменно ответить на поставленные вопросы.

4. Краткая теория.
4.1.Гидростатика - это раздел гидромеханики, в котором изучаются условия и закономерности равновесия жидкостей под действием приложенных к ним сил, а также воздействия покоящихся жидкостей на погруженные в них тела и на стенки сосудов.

Гидростатика рассматривает законы распределения давления в покоящейся жидкости, определение величины, направления и точки приложения силы давления жидкости на плоские и криволинейные стенки.

Нормальное напряжение в точке покоящейся жидкости есть величина, характеризующая интенсивность сил ΔP действующих на элементарную площадку ΔS при стягивании этой площадки в точку:

$$\vec{P}_n = \lim \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta S} \qquad (2.1$$

Так как это напряжение действует по нормали к площадке и не зависит от ориентации площадки, оно может быть представлено в виде:

$$\vec{P}_n = -P \cdot \vec{n} \qquad (2.2$$

Величина P, входящая в (2.2), является абсолютным значением нормального напряжения в точке и называется гидростатическим давлением. Гидростатическое давление всегда положительно: $P > 0$. За положительное напряжение принимается растягивающее напряжение, то знак " - " в выражении (2.2) показывает, что в жидкости действуют только напряжения сжатия. Растягивающих напряжений реальная жидкость не выдерживает.

Таким образом, давление в точке является функцией координат точки и не зависит от ориентации площадки, на которую оно действует.

В гидростатике рассматривают абсолютное давление $P_{абс}$, избыточное (манометрическое) давление $P_{изб}$ ($P_м$), вакуумметрическое давление $P_{вак}$, а также атмосферное давление $P_{атм}$. Эти давления связаны между собой соотношениями, иллюстрируемыми рис. 2.1 и формулами (2.3) - (2.4).

Если покоящаяся жидкость находится в ненапряженном состоянии, иначе говоря, в ней отсутствуют напряжения сжатия, то гидростатическое давление равно нулю: $P = 0$. Значения давлений, отсчитываемых от этого нуля, называются абсолютными.

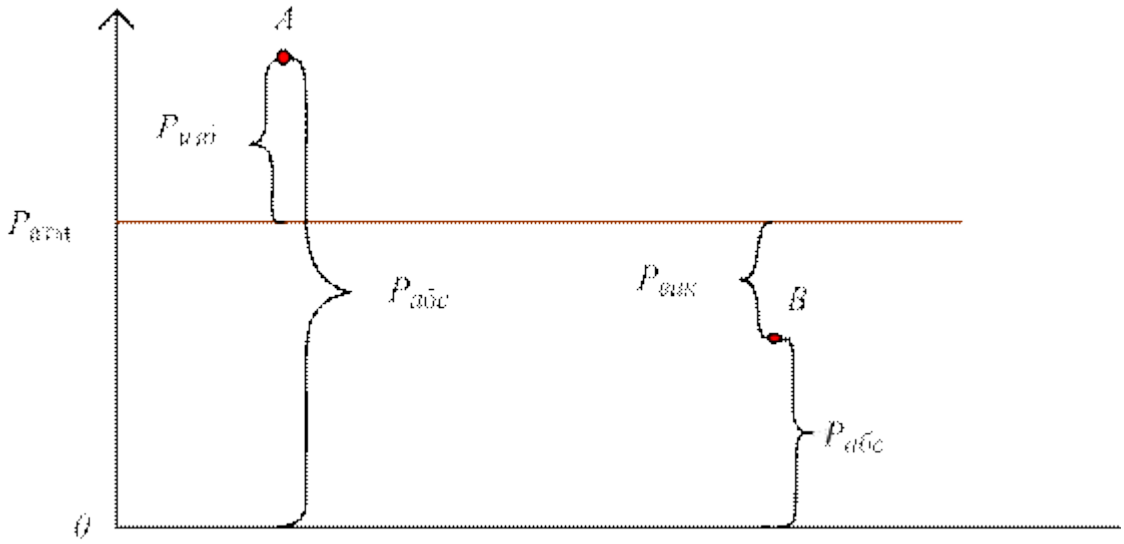

Рис 2.1. Шкала давлений

Избыточным (манометрическим) давлением в точке А называется превышение абсолютного давления над атмосферным:

$$P_{изб} = P_м = P_{абс} - P_{атм} \qquad (2.3)$$

Вакуумметрическое давление в т. В образуется как недостаток абсолютного давления до атмосферного:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс} \qquad (2.4)$$

Если в какой-либо точке 0 покоящейся жидкости известно давление P_0, то давление P в другой точке 1 этой жидкости можно определить по основной формуле гидростатики:

$$P = P_0 + \rho g h, \qquad (2.5)$$

где h - расстояние по вертикали от исследуемой точки до точки 0 при условии, что точка 0 расположена выше точки 1, или заглубление точки 1 относительно точки 0, м;

ρ - плотность жидкости, кг/м^3;

g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Основное уравнение гидростатики показывает, что давление на поверхности жидкости P_0 передается в любую точку внутри жидкости без изменения.

Слагаемое ρgh представляет собой дополнительное весовое давление столба жидкости высотой h. В случае, если точка 0 находится на свободной поверхности жидкости, то P_0 равно давлению газовой фазы, находящейся над поверхностью жидкости (внешнее давление), в частном случае - атмосферному давлению над свободной поверхностью: $P_0 = P_{атм}$.

Из формулы гидростатики (2.5) следует закон Паскаля: всякое изменение давления в какой-либо покоящейся и продолжающей оставаться в покое точке жидкости передается одинаковым образом всем точкам этой жидкости.

В общем случае, если точки с указанными давлениями P и P_0 разделены несколькими столбами жидкостей с различными плотностями, то искомое давление находится многократным применением основной формулы гидростатики (2.5) к поверхностям раздела между жидкостями:

$$P = P_0 \pm \sum_{i=1}^{n} \rho_i g h \qquad (2.6)$$

Из формулы (2.5), записанной в виде $P_{абс} = P_{атм} \pm \rho gh$, следует, что величины избыточного, вакуумметрического и абсолютного давлений могут быть выражены через линейные величины:

$$h_п = \frac{P_{абб} - P_{атм}}{\rho g} = \frac{P_{изб}}{\rho g}, \quad (P_{абс} > P_{атм}), \qquad (2.7)$$

$$h_{вак} = \frac{P_{атт} - P_{абс}}{\rho g} = \frac{P_{вак}}{\rho g}, \quad (P_{абс} < P_{атм}), \qquad (2.8)$$

$$h_{пр} = \frac{P_{абб}}{\rho g}, \qquad (2.9)$$

где $h_п$ - пьезометрическая высота;

$h_{вак}$ - вакуумметрическая высота;

$h_{пр}$ - приведенная высота.

Для практических вычислений применяют кратные единицы: 1кПа $=10^3$Па; 1МПа $= 10^6$Па.

Приборы, применяемые для измерения давлений, могут быть отградуированы в единицах, кратных Па. В технике и промышленности часто используют внесистемную единицу – техническую атмосферу:

$$1\,\text{атм} = 1\,\text{кгс/см}^2 = 9{,}81 - 10^4\ \text{Па} \qquad (2.10)$$

Кроме того, как следует из формул (2.7)-(2.9), давление может быть выражено высотой столба какой-либо жидкости. Легко убедиться, что давление в 1 атм создается такими столбами воды и ртути:

$$\left.\begin{array}{l} 1\,\text{атм} \sim 10\,\text{м водяного столба;} \\ \hline 1\,\text{атм} \sim 735\,\text{м}^3\ \text{ртутного столба} \end{array}\right\}\ \text{Па} \qquad (2.11)$$

Соотношения (2.10) и (2.11) позволяют осуществить пересчет в любую из используемых систем измерения давления. Реальное атмосферное давление может быть выше или ниже значения 1 атм, поэтому на рис. 2.1 и в приведенных выше формулах точка $P_{атм}$ является «плавающей».

Приборы для измерения давления

Требования, предъявляемые современной наукой и техникой к приборам для измерения давления, чрезвычайно разнообразны. Прежде всего, весьма широк диапазон измеряемой величины. Так в вакуумной технике приходится измерять давления порядка миллионных долей миллиметра ртутного столба, а в научной практике применяются давления порядка сотен тысяч атмосфер. Возрастают требования к точности измерений, усложняются объекты исследования, накладывающие дополнительные условия на конструктивное оформление приборов.

Условно все приборы для измерения давления можно классифицировать по следующим признакам:

- по роду измеряемой величины;
- по принципу действия;
- по классу точности.

По роду измеряемой величины в зависимости от необходимости измерения атмосферного, абсолютного, избыточного давлений или вакуума существует несколько видов приборов.

Приборы, предназначенные для измерения атмосферного давления, называются барометрами, для измерения избыточного давления - манометрами, для измерения вакуума - вакуумметрами. Приборы, позволяющие измерять и избыточное и вакуумметрическое давление, называются мановакуумметрами. Для измерения абсолютного давления необходимо наличие двух приборов: 1) барометра и манометра, если абсолютное давление больше атмосферного; 2) барометра и вакуумметра, если абсолютное давление меньше атмосферного. В некоторых случаях бывает достаточно знать разницу давлений в двух различных точках; измерение разности давлений может быть выполнено с помощью дифференциального манометра.

По принципу действия все приборы можно разделить на жидкостные, механические, электрические и комбинированные.

Жидкостные приборы основаны на гидростатическом принципе действия, реализуемом основной формулой гидростатики (2.5): измеряемое давление

уравновешивается давлением столба жидкости, высота которого определяется непосредственно или путем расчета.

Принцип действия механических приборов заключается в том, что под действием давления происходит деформация некоторого упругого элемента, и величина этой деформации служит мерой измеряемого давления.

В приборах электрического типа приемным элементом, преобразующим величину давления в тот или иной электрических сигнал, является датчик давления.

К комбинированным относятся те приборы, принцип действия которых носит смешанный характер.

По точности показаний все серийно выпускаемые приборы делятся на классы. Классом точности прибора называется число, выражающее максимальное значение возможной погрешности в процентах от предельного значения шкалы прибора.

Жидкостные приборы получили широкое распространение благодаря простоте исполнения и высокой точности. Величина измеряемого давления находится по формулам гидростатики (2.5) или (2.6), а соответствующие высоты - по формулам (2.7) - (2.9). На рис. 2.2 - 2.4 показаны некоторые типы жидкостных приборов.

Простейшим жидкостным прибором является пьезометр - прозрачная трубка, одним концом опущенная в исследуемую точку, другим - открытая в атмосферу (рис. 2.2). Избыточное давление в точке А определяется пьезометрической высотой $h_п$, вакуумметрическое давление в точке В - вакуумметрической высотой $h_в$:

$$P_{изб} = \rho g h_п; \qquad P_{вак} = \rho g h_в \qquad (2.12)$$

Абсолютное давление в точке А может быть определено по приведенной высоте $h_{пр}$ - высоте столба жидкости в запаянной трубке, из которой удален воздух, так что давление на свободной поверхности в ней близко к нулю: $P_{абс} = 0$. Такой же принцип использован в приборе, называемом чашечным мановакуумметром (рис. 2.3). Для измерения разности (перепада) давлений служит U-образный мановакуумметр (рис. 2.4). Величина давления определяется формулами (2.12).

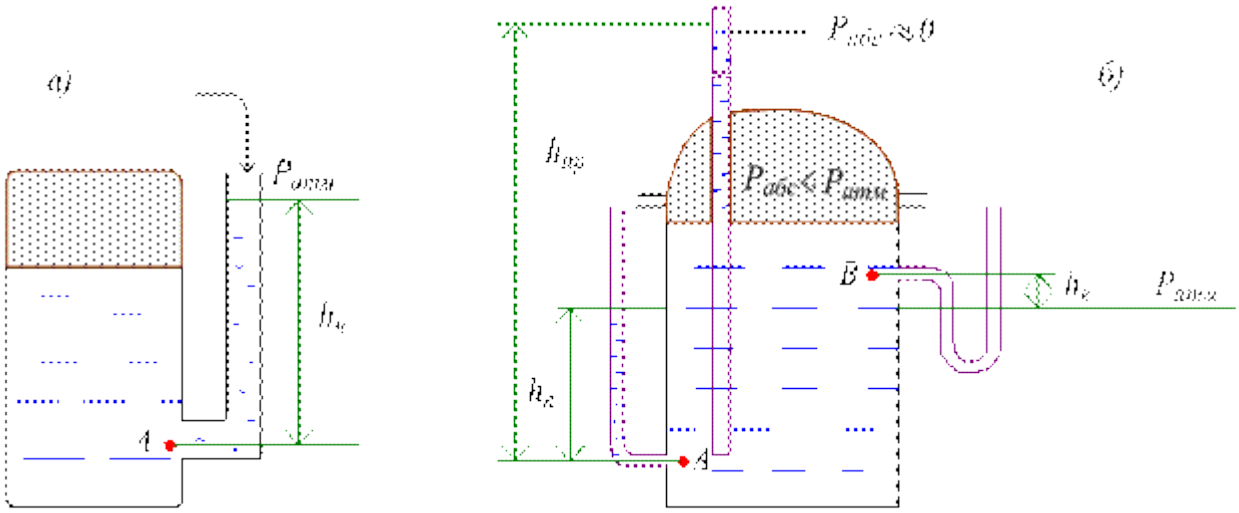

Рис. 2.2. Измерение избыточного и вакуумметрического давлений с помощью пьезометра

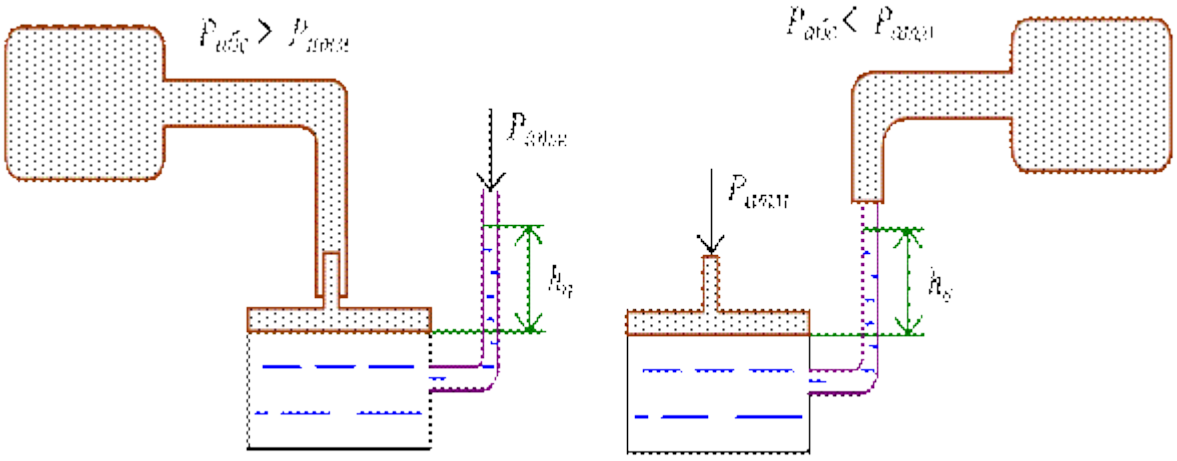

Рис. 2.3. Чашечный мановакуумметр

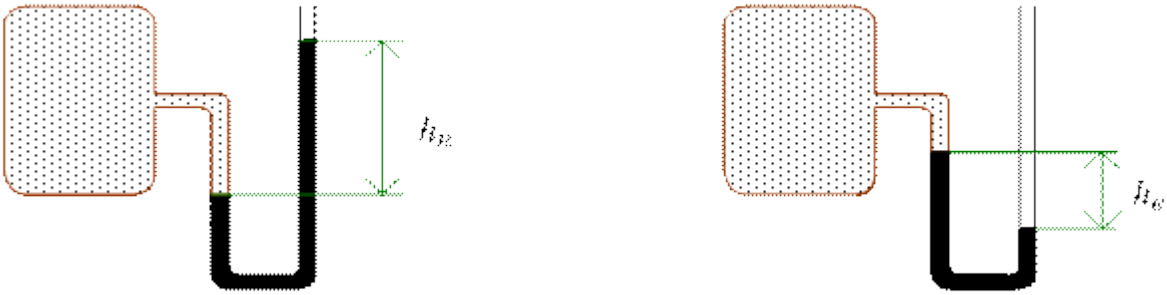

Рис. 2.4. U–образный мановакуумметр

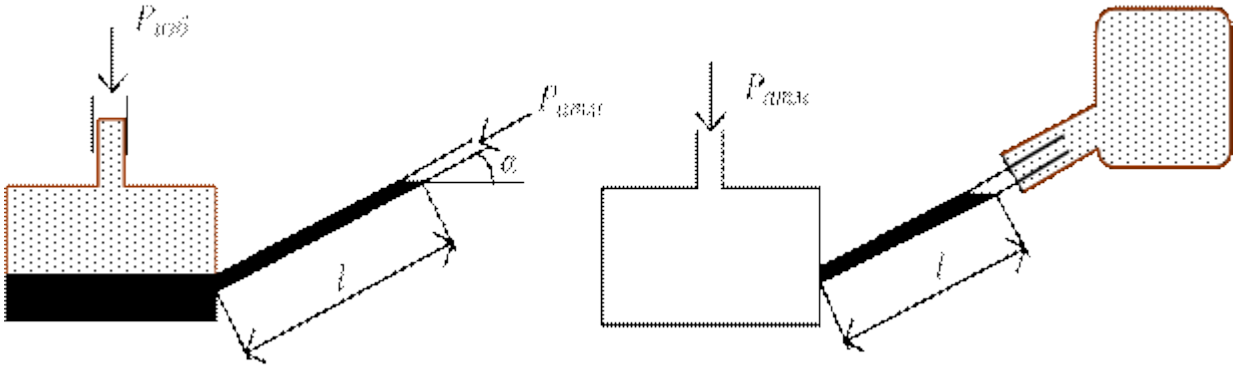

Рис. 2.5. Микроманометр

Жидкостные приборы для измерения давления оказываются весьма полезными при исследовании потоков жидкости. Так, иногда достаточно знать не абсолютные значения давлений, а лишь перепад давлений в некоторых точках. Приборы, основанные на измерении перепада давлений, называются дифференциальными манометрами. Дифференциальный манометр в потоке движущейся жидкости может использоваться как расходомер (рис. 2.6).

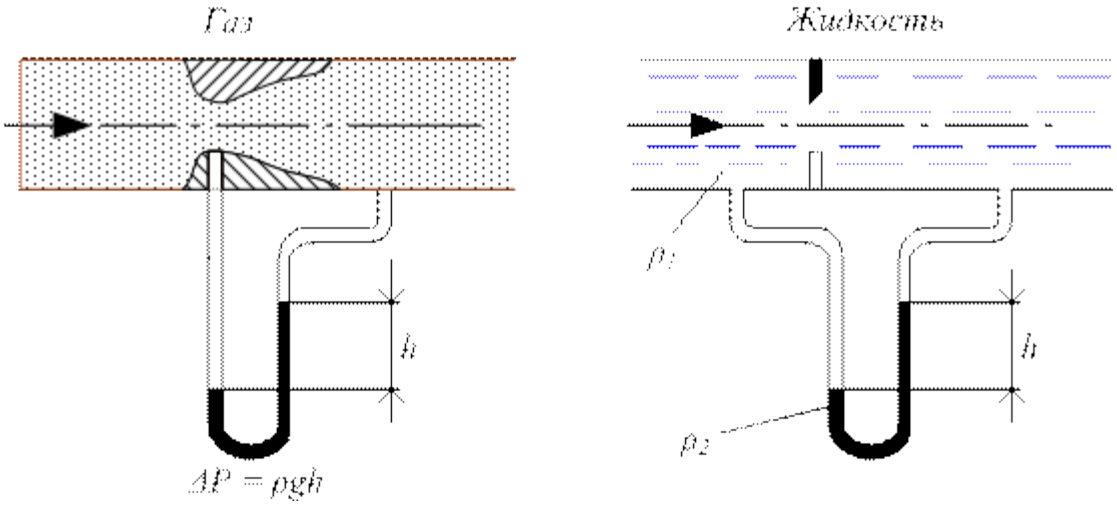

Рис. 2.6. Дифференциальный манометр

Существенным недостатком жидкостных приборов является ограниченный диапазон измеряемых давлений. Расширить этот диапазон можно, используя несколько последовательно соединенных U-образных манометров. Такой прибор называется батарейным мановакуумметром (рис. 2.7).

Давление воздуха в баке уравновешивается перепадами уровней жидкости в трубках манометра. При этом в разных коленах могут быть залиты разные жидкости.

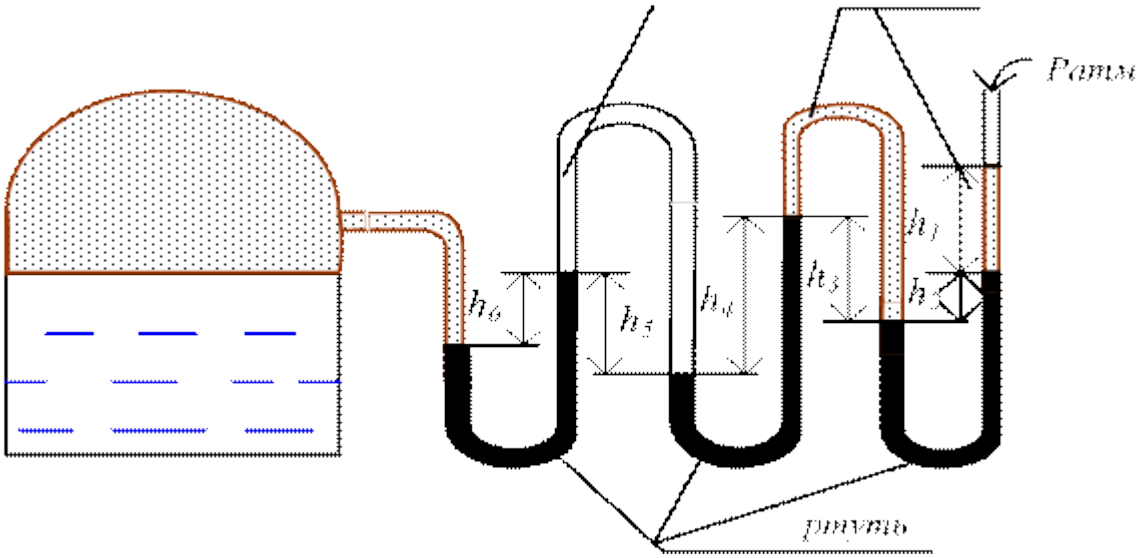

Рис. 2.7. Батарейный мановакуумметр

Так для показаний батарейного мановакуумметра на рис. 2.7 расчет манометрического давления в баке определяется суммированием по формуле (2.6) всех перепадов уровней от открытого конца до присоединения его к резервуару:

$$P_м = \rho_В g h_1 + \rho_{РТ} g h_2 - \rho_В g h_3 + \rho_{РТ} g h_4 - \rho_В g h_5 + \rho_{РТ} g h_6 \quad (2.13)$$

Весовым давлением воздуха в левом конце батарейного манометра ввиду его малости пренебрегают.

Для экспериментального измерения силы давления жидкости на стенку может быть использован сильфонный динамометр (рис. 2.8). В качестве упругого элемента в динамометре используется сильфон, который представляет собой металлическую тонкостенную камеру с гофрированной боковой поверхностью, способную расширяться и сжиматься при изменении давления жидкости. При этом свободная торцевая плоскость сильфона перемещается параллельно самой себе на величину, пропорциональную величине изменения давления.

Перемещение сильфона может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от того, создается в сосуде избыточное давление или вакуум. По величине перемещения Δx, отсчитываемого по положению указателя на шкале сильфона, и по градуировочной кривой $P(\Delta x)$ определяется экспериментальное значение действующей на стенку силы:

$$P^Э_{\pm} = \pm \Delta x, Н, \quad (2.14)$$

где C - градуировочная характеристика сильфона, Н/мм;
Δx - перемещение твердой стенки, мм.

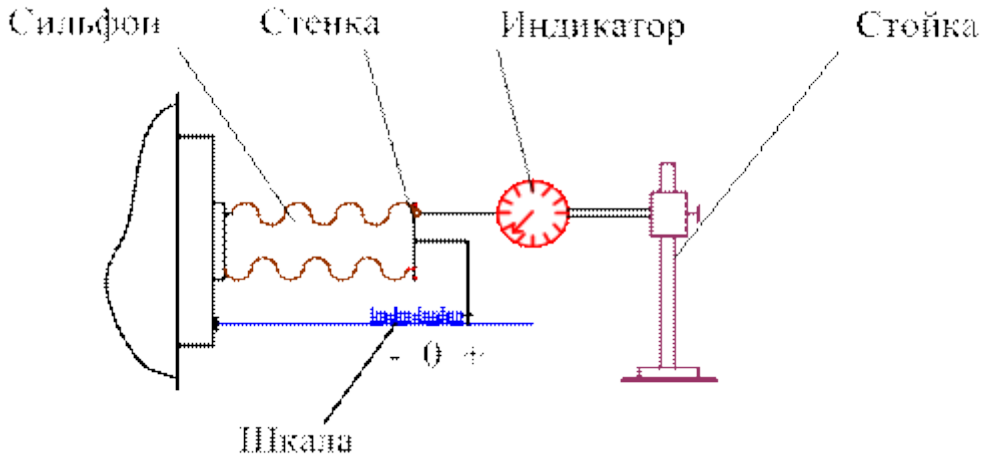

Рис. 2.8. Сильфонный динамометр

Более тщательное определение перемещения сильфона с помощью индикатора часового типа позволит определить искомую силу давления с большей точностью.

Поскольку сосуд изначально залит рабочей жидкостью, то сильфон уже деформирован силой $P_0 = \rho g h_0' S$. Поэтому с помощью сильфонного динамометра определить можно лишь дополнительное усилие, вызванное изменением давления воздуха в сосуде. Расчетное значение дополнительной силы давления:

$$\left.\begin{array}{l} \Delta P = P - P_0 = \rho g h_П S \\ \Delta P = P - P_0 = \rho g h_П S \end{array}\right\} \begin{array}{l} \text{для случая } P_0 > P_{атм} \\ \text{для случая } P_0 < P_{атм} \end{array} \quad (2.15)$$

Т.о. при помощи сильфонного динамометра определяется дополнительное усилие, вызванное изменением давления воздуха в сосуде с учетом изначально залитой рабочей жидкости.

Вопросы для выполнения работы.

1.В чём заключается закон распределения гидростатического давления жидкости ?
2. В чём заключается гидростатический парадокс?
3. Как определяется давление на плоские стенки?

Список литературы

1.Сизых В.А. Судовые энергетические установки – М. Росконсульт .2006 –250 с.
2. Гогин А.Ф. Судовые дизели – Транспорт .2011 - 414с.

Лабораторная работа № 2

«Описать силы, создающие давление на цилиндрические поверхности»

1. Цель занятия.

Описать силы создающие давление на цилиндрические поверхности

2. Методическое обеспечение.

2.1. Методические указания по проведению лабораторной работы.
2.2. Е.З.Рабинович Гидравлика: Учебное пособие для вузов .—М .:Недра ,1980 .—278 с.

3. Выполнение работы.
3.1. Изучить материал по теме, письменно ответить на поставленные вопросы.

4. Краткая теория.

4.1. Сила гидростатического давления, действующая на цилиндрические поверхности

В практике приходится определять силу гидростатического давления не только на плоские поверхности, но и на поверхности криволинейные любого вида. Ниже рассмотрим только простейший частный случай криволинейной поверхности - цилиндрическую поверхность, которая встречается наиболее часто.

Будем рассматривать только избыточное давление, вовсе не интересуясь поверхностным давлением.

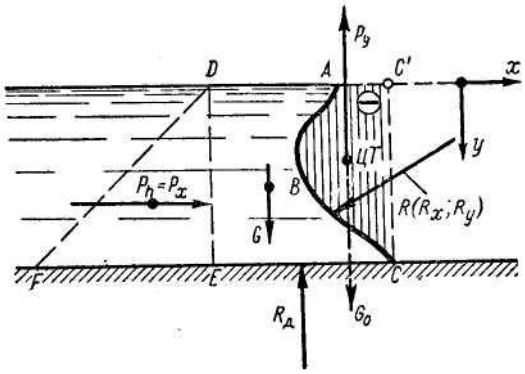

Рис. 2-20. Давление на цилиндрическую поверхность *ABC*(вертикаль*C-C'*лежит вне жидкости)

1-й случай цилиндрической поверхности. Представим на рис. 2-20 цилиндрическую поверхность *ABC*. Эта поверхность расположена перпендикулярно к плоскости чертежа, и потому она проектируется в одну линию *ABC* (кривая *ABC* есть направляющая рассматриваемой цилиндрической поверхности). Обозначим длину образующей цилиндрической поверхности, перпендикулярной к плоскости чертежа, через b (b=const). Наметим вертикальную плоскость *CC'* и оси координатx и z. Обозначим через P_x и P_z горизонтальную и вертикальную составляющие силы P гидростатического давления, действующего со стороны жидкости на цилиндрическую поверхность.

Обратимся вначале к отысканию составляющих P_x и P_z искомой силы P. С этой целью проведем вертикальную плоскость *DE*. Плоскость *DE* выделит объем покоящейся жидкости *ABCED*, равновесие которого далее рассматриваем. На этот объем действуют следующие силы:

1. сила P_h, действующая на вертикальную грань *DE* со стороны жидкости, расположенной слева от этой грани;

1. сила $R_д$ - со стороны дна *EC* (реакция дна; см. конец § 2-10):

$R_Д$ = [площадь(C'CED)]bγ; (2-98)

3. реакция R - со стороны цилиндрической поверхности; горизонтальную и вертикальную составляющие этой реакции обозначим соответственно R_x и R_z; значения и направления этих сил (в отличие от других) нам неизвестны;

3. собственный вес G рассматриваемого объема жидкости:

G = [площадь(ABCED)]bγ. (2-99)

Проектируя все силы, действующие на покоящийся объем ABCDE, соответственно на оси x и z, получаем следующие уравнения равновесия [не зная направленияR_x и R_z, вводим их в уравнения (2-100) со знаком плюс]:

$P_h + R_x = 0$; $G + R_z - R_Д = 0$, (2-100)

откуда

$R_x = - P_h$; $R_z = R_Д - G$. (2-101)

Так как силы P_x и P_z направлены противоположно силам R_x и R_z, то можем написать:

$P_x = -R_x$ и $P_z = - R_z$, (2-102)

при этом вместо (2-101) имеем:

$$\boxed{P_x = P_h;}$$

(2-103)

$P_z = - (R_д – G)$. (2-104)

Далее преобразуем уравнение (2-104); подставляя в него (2-98) и (2-99), получаем:

P_z = - [площадь(C’CDE) – площадь(ABCED)]bγ (2-105)

или

$$\boxed{P_z = - [площадь(ABCC')]b\gamma}$$

(2-106)

Рассмотрев (2-103) и (2-106), можно заключить следующее.

1. Горизонтальная составляющая P_x искомой силы равна силе давления жидкости на плоскую вертикальную прямоугольную фигуру *DE*, представляющую собой проекцию рассматриваемой цилиндрической поверхности на вертикальную плоскость. В связи с этим сила $P_x=P_h$ может быть выражена, как и в случае плоских фигур, треугольником гидростатического давления *DEF*.
2. Вертикальная составляющая P_z искомой силы равна взятому со знаком минус весу воображаемого жидкого тела площадью сечения *ABCC'*. Это воображаемое жидкое тело называется телом давления(см. площадь, покрытую на чертеже штриховкой).

Обозначим вес тела давления через G_o. Тогда вместо (2-106) можно написать

$$\boxed{P_z = - G_0}$$

(2-107)

Найдя таким образом составляющие P_x и P_z, путем геометрического сложения их определяем искомую силу *P* давления жидкости на рассматриваемую цилиндрическую поверхность.

Как видно, 1-й случай цилиндрической поверхности характеризуется тем, что вертикаль *CC'* лежит вне жидкости.

2-й случай цилиндрической поверхности (вертикаль *CC'* лежит внутри жидкости). Представим на рис. 2-21 случай, когда жидкость находится над

цилиндрической поверхностью. Ограничимся здесь отысканием только составляющих P_x и P_z. Рассуждая, как и выше, можно показать, что горизонтальная составляющая P_x выражается точно так же, как и в предыдущем случае. Что же касается составляющей P_z, то оказывается, что для цилиндрической поверхности, показанной на рис. 2-21,

$$\boxed{P_z = + G_0}$$

(2-108)

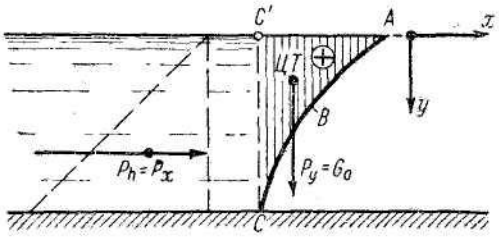

Рис. 2-21. Эпюры давления на цилиндрическую поверхность *ABC*(вертикаль*C*-*C'*лежит внутри жидкости)

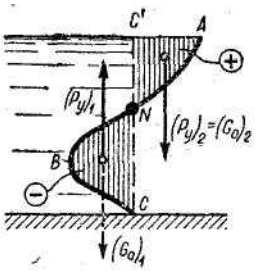

Рис. 2-22. Эпюра вертикального давления (тела давления) на цилиндрическую поверхность *ANBC*

(вертикаль *C*-*C'*частично лежит вне жидкости, частично - внутри жидкости)

Как видно, в данном случае «тело давления» (см. заштрихованную площадь на рис. 2-21) лежит в области действительной, а не воображаемой жидкости. Имея это в виду, такое тело давления называют положительным; тело же давления в первом случае цилиндрической поверхности называют отрицательным.

3-й случай цилиндрической поверхности. Представим на рис. 2-22 такую цилиндрическую поверхность *ABC*, которая пересекается в некоторой «узловой точке»*N* с вертикалью *CC'*, проведенной через нижнюю точку *C* цилиндрической поверхности. Как видно, в данном случае одновременно получаем и положительное и отрицательное тела давления. Складывая силы $(P_z)_1$, $(P_z)_2$ и P_x (определенные, как указано выше), находим искомую силу *P*.

4-й случай цилиндрической поверхности. Плоский прямоугольник, проектирующийся в линию *ABC* (рис. 2-23), является частным случаем

цилиндрической поверхности. Поэтому при отыскании P для этого прямоугольника можно поступить так же, как во втором случае цилиндрической поверхности. В результате найдем составляющие P_x и P_z. Складывая геометрически эти две силы, получим силу, выражаемую эпюрой *OA'B*, представленной на рис. 2-19, *б*.

Заключительное замечание. При построении поперечного сечения тела давления, т. е. эпюры, выражающей вертикальную составляющую P_z, в общем случае можно поступать следующим образом.

Имеем цилиндрическую поверхность *ABC*, для которой следует построить тело давления (рис. 2-24); при этом прежде всего фиксируем крайние точки *A* и *C* этой поверхности; далее от этих точек проводим вверх вертикали до горизонта жидкости или его продолжения; наконец, намечаем контур тела давления, причем руководствуемся правилом:

поперечное сечение тела давления (отрицательного или положительного) представляет собой фигуру, заключенную между указанными вертикалями, самой цилиндрической поверхностью *ABC* и горизонтом жидкости (или его продолжением). Если рассматриваемая цилиндрическая поверхность со стороны тела давления не смачивается жидкостью, то имеем отрицательное тело давления (рис. 2-24); в противном случае - положительное тело давления.

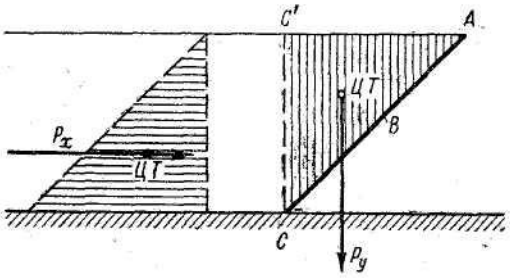

Рис. 2-23. Эпюры составляющих сил давления на плоскую прямоугольную фигуру

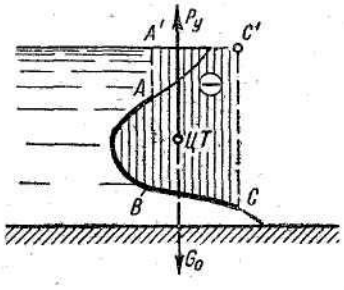

Рис 2-24. Построение поперечного сечения тела давления для цилиндрической поверхности *ABC*

Обратим еще внимание на то, что сила гидростатического давления P для криволинейной (цилиндрической) поверхности, в отличие от силы P, действующей на плоскую поверхность, не может быть представлена площадью только одной

эпюры давления; выше мы представляли эту силу (в общем случае цилиндрической поверхности) двумя эпюрами -для P_x и $P_г$.

Вопросы для выполнения работы.

1.Какие силы действуют на цилиндрические поверхности?
2. Что называется телом давления?
3. Каково назначение центра кругового цилиндра?

Список литературы

1.Сизых В.А. Судовые энергетические установки – М. Росконсульт .2006 –250 с.
2. Гогин А.Ф. Судовые дизели – Транспорт .2011 - 414с.