

Практическая работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы:

1. На практике усвоить общие теоретические сведения о физико-механических свойствах жидкостей.
2. Приобрести практические навыки гидравлических расчетов.

Общие сведения

Термин «жидкость» имеет два значения. Так называют агрегатное состояние вещества, промежуточное по своим свойствам между твердым и газообразным, а также тело или вещество, обладающее свойством текучести, т. е. способностью изменять свою форму под действием сил.

Из жидкостей широкое применение в сельскохозяйственном производстве получила вода. Она используется в системах водоснабжения населения, производства и животноводства. Большие объемы воды перемещаются в мелиоративных системах.

В сельскохозяйственных машинах применяются минеральные и синтетические масла для смазки деталей и в системах гидропривода, а также жидкости, используемые как горючее для двигателей, – бензины различных марок, дизельное топливо.

В практике сельскохозяйственного производства используют материалы, называемые гидросмесями. Гидросмесь – это материал, получаемый перемешиванием достаточно мелких твердых или пластичных частиц с жидкостью. Типичные гидросмеси – корм для свиней, строительные растворы и др.

Жидкости обладают различными физико-механическими свойствами, среди которых плотность и объемный вес, сжимаемость и температурное расширение, вязкость, способность закипать и растворять в своем объеме различные газы, капиллярность и др.

Плотностью жидкости ρ называется масса вещества m , содержащаяся в единице объема V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

Объемным (удельным) весом γ называется вес G единицы объема V жидкости:

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (1.2)$$

Удельный вес γ и плотность ρ связаны между собой уравнением

$$\gamma = \rho g, \quad (1.3)$$

где g – ускорение свободного падения.

Средние значения плотности и удельного веса некоторых жидкостей приведены в прилож. 2.

Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем (плотность) при изменении давления.

Сжимаемость жидкости характеризуется коэффициентом объемного сжатия

$$\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_0 \Delta p}, \quad (1.4)$$

где V_0 – объем жидкости при начальном давлении;

Δp , ΔV – приращение давления и соответствующее ему изменение объема.

Знак « \leftarrow » в формуле (1.4) указывает на то, что при увеличении давления объем жидкости уменьшается.

Также используется понятие, обратное коэффициенту объемного сжатия, – объемный модуль упругости жидкости

$$E_{\text{ж}} = \frac{1}{\beta_p}.$$

Средние значения объемного модуля упругости $E_{\text{ж}}$ некоторых жидкостей приведены в прилож. 3.

Сжимаемость жидкостей незначительна, т. е. они хорошо сопротивляются сжатию, проявляя упругие свойства в соответствии с законом Гука:

$$-\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta p}{E_{\text{ж}}}. \quad (1.5)$$

В практических расчетах сжимаемостью жидкостей, как правило, пренебрегают в силу ее незначительности.

Температурное расширение – свойство жидкости изменять свой объем (плотность) при изменении температуры.

Температурное расширение жидкостей характеризуется коэффициентом температурного расширения

$$\beta_T = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}, \quad (1.6)$$

где ΔT – изменение температуры.

Коэффициент температурного расширения зависит от давления и диапазона изменения температуры. Значения коэффициента для некоторых жидкостей приведены в прилож. 4.

Жидкости при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Исключение составляет вода, у которой наблюдается так называемая аномалия плотности. При охлаждении вода, как и все жидкости, вначале сжимается, т. е. плотность увеличивается и при температуре 4 °С достигает максимального значения (прилож. 6). Но при дальнейшем охлаждении воды до 0 °С плотность уменьшается и, соответственно, происходит расширение воды. Это явление часто приводит к авариям в гидравлических системах в случае неправильной их эксплуатации при низких температурах. В результате расширения воды при ее замерзании могут деформироваться и разрушаться трубопроводы, а также другое оборудование, заполненное водой.

Вязкость – свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление относительному сдвигу частиц. В результате при движении жидкости возникают касательные напряжения, которые в соответствии с законом вязкости Ньютона определяются следующей зависимостью:

$$\tau = \pm \mu \frac{\partial u}{\partial n}, \quad (1.7)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости;

$\frac{\partial u}{\partial n}$ – градиент скорости, характеризующий изменение местной скорости u по нормали n к направлению потока.

В гидравлических расчетах часто используется кинематический коэффициент вязкости ν , связанный с динамическим коэффициентом вязкости μ следующим соотношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.8)$$

Значения кинематического коэффициента вязкости ν , зависящего от типа жидкости и ее температуры, приведены в прилож. 5.

Закон вязкости Ньютона (1.7) справедлив для так называемых ньютоновских жидкостей, к которым относится большинство однородных и маловязких жидкостей: вода, молоко, бензин, моторные масла и т. д. Однако на практике часто встречаются неньютоновские жидкости – пасты, краски, клеи, цементные растворы, кормовые смеси и др. Для них характерна более сложная зависимость касательных напряжений τ от различных факторов, с учетом которых эти жидкости подразделяют на вязкопластичные, псевдопластичные и дилатантные. Вязкость таких жидкостей может меняться в результате действия не только температуры, но и внешней силы и скорости деформации, времени нахождения в спокойном состоянии и других факторов.

Например, движение вязкопластичных жидкостей начинается только после того, как внешней силой будет преодолено начальное напряжение сдвига τ_0 :

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{\partial u}{\partial n}. \quad (1.9)$$

Кипение – свойство жидкости образовывать пар по всему ее объему. Жидкость закипает, когда давление в ней равно давлению насыщенных паров $p_{н.п}$ при данной температуре (прилож. 6, 7).

С дополнительными теоретическими сведениями о свойствах жидкостей можно ознакомиться в литературе.

Задание

1. Определить дополнительное количество воды, которое необходимо подать насосом в абсолютно жесткий замкнутый трубопровод внутренним диаметром d_v и длиной l , полностью заполненный водой при избыточном давлении p_1 , чтобы давление в нем поднялось до заданного значения p_2 .

2. Определить, на какую высоту h поднимется поршень на поверхности жидкости в абсолютно жестком цилиндрическом сосуде диаметром d_c , заполненном на высоту H , если нагреть жидкость от температуры T_1 до T_2 . Весом поршня пренебречь.

Данные для расчета по согласованию с преподавателем принимаются по табл. 1.1 или выдаются преподавателем из других источников.

Таблица 1.1

Индивидуальные данные

Предпоследняя цифра шифра*	d_v , мм	d_c , м	T_1 , °C	Последняя цифра шифра*	p_1 , кПа	H , м	Жидкость
0	50	0,5	15	0	1250	1,0	Бензин
1	100	0,6	17	1	500	1,5	Керосин
2	150	0,7	19	2	950	2,0	Глицерин
3	200	0,8	20	3	800	2,5	Масло моторное
4	250	0,9	22	4	800	3,0	Нефть
5	300	1,0	25	5	1250	3,5	Бензин
6	350	1,1	16	6	950	4,0	Керосин
7	400	1,2	18	7	800	4,5	Глицерин
8	450	1,3	21	8	500	5,0	Масло моторное
9	500	1,5	23	9	800	5,5	Нефть

Первая буква имени студента	l , м	p_2 , МПа	T_2 , °С	Первая буква имени студента	l , м	p_2 , МПа	T_2 , °С
А	6010	8,1	40	П	990	5,8	41
Б	1860	4,0	42	Р	7320	6,1	43
В	3875	8,4	44	С	7990	7,7	45
Г	6900	8,6	46	Т	9460	6,5	47
Д	1680	3,0	48	У	8200	3,3	49
Е	4700	10,0	50	Ф	3100	5,6	51
Ж	320	5,3	52	Х	7100	5,9	53
З	4750	5,7	54	Ц	8080	10,3	55
И	6480	9,2	56	Ч	5300	2,7	57
К	6920	9,9	58	Ш	5020	8,8	59
Л	1760	5,1	60	Щ	5960	4,4	61
М	5100	2,2	62	Э	6130	4,8	63
Н	7700	9,4	64	Ю	6840	9,6	65
О	4800	9,7	66	Я	8650	2,0	67

* Шифр присваивается каждому студенту преподавателем.

На выполнение задания предусматривается 3 аудиторных часа.

Практическая работа оформляется в соответствии с требованиями к оформлению и представляется преподавателю при защите.

Пример расчета

Задача 1

Определить дополнительное количество воды, которое необходимо подать насосом в абсолютно жесткий замкнутый трубопровод внутренним диаметром $d_b = 0,3$ м и длиной $l = 100$ м, полностью заполненный при атмосферном давлении, чтобы избыточное давление в нем поднялось до 5 МПа.

Порядок расчета

1. Определяем внутренний объем круглоцилиндрической трубы, вмещающей начальный объем воды, по формуле

$$V_{\text{тр}} = S_{\text{тр}} l = \frac{\pi d_b^2}{4} l = \frac{3,14(0,3 \text{ м})^2}{4} 100 \text{ м} = 7,06 \text{ м}^3,$$

где $S_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения трубы, которая определяется по формуле площади круга $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

2. Находим дополнительный объем воды, который необходимо подать в трубопровод, используя закон Гука (1.5), для чего предварительно примем модуль упругости воды $E_{\text{в}} = 2060$ МПа по прилож. 3:

$$\Delta V_{\text{тр}} = V_{\text{тр}} \frac{\Delta p}{E_{\text{в}}} = 7,06 \text{ м}^3 \cdot \frac{5 \text{ МПа}}{2060 \text{ МПа}} = 0,0171 \text{ м}^3 = 17,1 \text{ л.}$$

Таким образом, из-за сжимаемости жидкости для увеличения гидростатического давления в данном трубопроводе на 5 МПа необходимо подать дополнительный объем воды 17,1 л. Реальный объем воды будет несколько больше за счет деформации трубопровода при увеличении давления.

Задача 2

Определить, на какую высоту h поднимется поршень на поверхности жидкости в абсолютно жестком цилиндрическом сосуде диаметром $d_c = 1$ м, заполненном бензином на высоту $H = 1$ м, при температуре $T_1 = 20$ °С, если нагреть бензин до температуры $T_2 = 50$ °С. Весом поршня пренебречь.

Порядок расчета

1. Определяем объем жидкости при температуре $T_1 = 20$ °С:

$$V_0 = S_c H = \frac{\pi d_c^2}{4} H = \frac{3,14(1 \text{ м})^2}{4} \cdot 1 \text{ м} = 0,785 \text{ м}^3.$$

2. Из формулы (1.6) определяем изменение объема жидкости после нагревания, предварительно приняв $\beta_T = 0,0008 \text{ К}^{-1}$ по прилож. 4:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_0 \beta_T \Delta T = 0,785 \text{ м}^3 \cdot 0,0008 \text{ К}^{-1} \cdot 30 \text{ °С} = \\ &= 0,785 \text{ м}^3 \cdot 0,0008 \text{ К}^{-1} \cdot 30 \text{ К} = 0,0188 \text{ м}^3, \end{aligned}$$

где изменение температуры ΔT по шкалам Цельсия и Кельвина одинаково, т. е. $\Delta T = 30 \text{ °С} = 30 \text{ К}$.

3. Высота поднятия поршня определяется из выражения

$$h = \frac{\Delta V}{S_c} = \frac{\Delta V \cdot 4}{\pi d_c^2} = \frac{0,0188 \text{ м}^3 \cdot 4}{3,14(1 \text{ м})^2} = 0,0239 \text{ м} = 23,9 \text{ мм}.$$

Таким образом, за счет явления температурного расширения жидкости при заданных условиях поршень поднимется на высоту 23,9 мм.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под терминами «жидкость» и «гидросмесь»?
2. Какие жидкости и гидросмеси применяются в сельскохозяйственном производстве?
3. Каковы основные физико-механические свойства жидкостей и гидросмесей?
4. Как соотносятся между собой плотность и удельный вес жидкости?
5. От каких факторов зависит плотность жидкости?
6. Когда проявляется свойство вязкости жидкости? Как она учитывается в гидравлических расчетах?
7. Чем отличается ньютоновская жидкость от неньютоновской?
8. При каких условиях начинается кипение жидкости? Чем сопровождается этот процесс?
9. От чего зависит растворимость газов в жидкостях?
10. Что такое капиллярность? Чем обусловлено это явление?