

Краевая научно-практическая конференция
Учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Исследование струй вязких жидкостей

Курушина Дарья Данииловна
11кл., МБОУ «Лицей № 1», г.Пермь
Герцен Татьяна Анатольевна
к.х.н., доцент ПНИПУ

Пермь. 2016

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Как известно [1], климат в нашем крае достаточно суров, так что средняя температура зимой составляет $-18,5^{\circ}\text{C}$, а минимальная может достигать -53°C . Часто можно видеть как зимой не заводятся автомобили. Для запуска автомобиля требуется энергия, запасенная в аккумуляторе. В силу особенностей работы аккумулятора ее тем меньше, чем ниже температура. Она расходуется на сжатие горючей смеси (полезная работа) и на перекачивание технических жидкостей (потеря энергии). Потеря тем больше, чем выше вязкость этих жидкостей. Эта характеристика обычно растет с понижением температуры. Поэтому важно знать при какой температуре жидкости теряют свои полезные свойства, что может привести к проблемам в эксплуатации автомобиля.

Цель моей работы показать поведение струй вязких жидкостей при различных температурах. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- 1) изучение физических основ вязкости жидкости;
- 2) спроектировать и изготовить экспериментальную установку;
- 3) провести серию экспериментов;
- 4) предложить практические рекомендации на основании полученных результатов.

Практическая значимость работы. При эксплуатации транспортных средств и применения технических жидкостей необходимо учитывать их физические свойства. Эти свойства можно оценить и сравнить, применяя методы, использованные в данной работе.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим случаи истечения жидкости из резервуаров, баков, котлов через круглые отверстия в атмосферу. В этом процессе запас потенциальной энергии, которым обладает жидкость, находящаяся в резервуаре, превращается в кинетическую энергию свободной струи. В работе вытекание жидкостей происходит из круглых отверстий через насадку.

Насадкой (или насадком) называется весьма короткая напорная труба, при гидравлическом расчете которой можно пренебрегать потерями напора по длине. В нашем случае отверстие можно считать трубкой, так как ширина среза стекла составляет 5 мм (рис. 1). При гидравлических расчетах насадок учитываются только местные потери напора, а потерями по длине ввиду их малости пренебрегают. Струя на входе в цилиндрическую насадку сжимается, далее расширяется и вытекает из насадки полным сечением.

Итальянский ученый Э.Торричелли, изучавший течение жидкостей, в 1643 г. экспериментально установил, что скорость вытекания жидкости через малое отверстие на дне открытого сосуда может быть определена по формуле

$$v = \sqrt{2gH} \quad (1)$$

где H – высота уровня жидкости над отверстием (рис. 1).

Эту формулу также можно получить, используя уравнение Бернулли. Если считать опускание уровня в верхней части бака на высоте H от выхода струи медленным, то тогда получим:

$$\rho gH = \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

Скорость, найденная по этой формуле, будет такая же, как и в (1). Такая же формула описывает скорость тела, свободно падающего с высоты h в поле тяжести Земли в вакууме. В действительности, эта формула не совсем точна. Скорость жидкости зависит также от формы и размера отверстия, от

вязкости жидкости и режима течения. Поэтому формула Торричелли часто записывается с дополнительным множителем φ :

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2)$$

Значения этого параметра для отверстий различной формы и размера можно найти в справочниках по гидравлике для известных горюче смазочных материалов.

Жидкость истекает из резервуара вследствие избыточного давления внутри него. Давление столба жидкости определяется по формуле (1).

$$P = \rho gH \quad (3)$$

Рассчитаем давление используемых жидкостей в отверстиях, через которые они будут вытекать (рис. 3). Результаты расчетов представлены в табл.1.

В данной установке отверстия находятся не в дне сосуда, а в его стенке. Струя при этом имеет форму подобную траектории горизонтально брошенного тела с начальной скоростью v_0 . Уравнения движения такого тела по горизонтали и вертикали соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} l &= v_0 t \\ h &= \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

Исключая t , получим

$$l = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (5)$$

Где h – высота выходного отверстия струи.

Если v_0 рассчитать по формуле (1), то расстояние от выходного отверстия до места падения струи можно определить как:

$$l = 2\sqrt{Hh} \quad (6)$$

При этом видно (рис.2), что, если $H=0$, то струя не образуется – жидкость, вытекая из отверстия, просто растекается. Если $h=0$, то и в этом случае струя также растекается, не формируя нужную нам траекторию.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Приборы и оборудование.

Для изготовления экспериментальной установки было выбрано оргстекло, так как оно прозрачное и его можно распилить. Установка имеет размеры 40 см в высоту, 5 см в ширину и 15 см в глубину. На передней стенке имеются по три отверстия разных диаметров ($M = 1$ мм, $C = 3$ мм, и $B = 5$ мм) на трех разных высотах ($B = 23$ см, $C = 13$ см, $H = 3$ см). На дне установки помещен нагревательный элемент для нагревания жидкости до определенной температуры (резистор RX24 на 15 Ом). Отверстия в передней стенке сквозные, так что для удобства все ненужные можно залепить пластилином. Для измерения температуры жидкости в установке использован спиртовой термометр. Вся конструкция стоит на возвышенности (40 см над столом), а под ней длинная емкость с линейкой для измерения длины струи (рис. 3).

2. Порядок проведения измерений.

Было проведено 45 опытов (табл. 2). Наблюдения показывают, что вид струи, поведение жидкости зависит рассмотренные от ее температуры. Так же было обнаружено, что машинное масло и антифриз, использованные в работе, не рекомендуется использовать в машине. Даже при комнатной температуре струя масла образуется только из большого отверстия с диаметром 5 мм. А при отрицательных температурах струи либо нет, либо она есть только с самым большим отверстием и с самым большим давлением. Мы не стали проводить эксперименты с машинным маслом и антифризом при отрицательных температурах с давлением меньше 1162,5, так как достаточно очевидно, что

результат не изменится и струи не будет. Так же не проводились измерения при высокой температуре, так как жидкость становится слишком текучей, и вид масляной струи ничем не отличается от струи чистой воды.

3. Анализ полученных результатов.

Рассмотренные формулы (1-3) показывают, что, независимо от условий и свойств, все идеальные жидкости вытекают одинаково. Опыты показали, что вид траектории, расстояние l зависят от того, насколько жидкость вязкая. Поправочный коэффициент φ в формуле (2) можно оценить, например, по дальности «полета» струи, то есть по расстоянию в горизонтальном направлении от места выхода струи из сосуда до мест падения на стол. Для каждого набора параметров установки (высота столба жидкости над отверстием, высоты падения струи, диаметра отверстия) определены φ . Их величина колеблется в довольно широких интервалах. Так, для воды имеем $\varphi \sim 0,05 - 0,92$. Определенных зависимостей коэффициента от параметров установки в данных условиях не обнаружено. Но можно сравнить визуально для струи разных вязких жидкостей при разных температурах. В реальных условиях даже нет необходимости конструировать специальную установку. Достаточно просто тонкой струей перелить используемую жидкость (можно использовать даже кружку).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы было показать зависимость влияние температуры жидкости на характер истечения струи. Были решены следующие задачи:

- 1) проведено знакомство с физическими основами течения вязких жидкостей;
- 2) спроектирована и изготовлена экспериментальная установка;
- 3) проведена серия экспериментов;

В ходе нашей работы был исследована зависимость характера поведения струй от температуры жидкостей, но не прямыми измерениями вязкости, а косвенными – по характеру истечения струй из малых отверстий на разных

высотах. Было обнаружено, что при понижении температуры жидкость могла вообще перестать течь. Так, было установлено, что использованное нами в экспериментах машинное масло полностью потеряло текучесть уже при 0°C. Очевидно, что применение такого масла в наших климатических условиях крайне нежелательно. Проведенные серии измерений не дали определенной зависимости поправочного коэффициента от параметров установки. Поэтому следующим этапом исследований предполагается расширение круга материалов и измерения их вязкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат //Пермский региональный сервер URL: <http://www.perm.ru/index.php?id=114183> (дата обращения: 4.10.2016).
2. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов // gidrav1.narod.ru URL: <http://gidrav1.narod.ru/istechenie.html> (дата обращения: 6.10.2016).
3. Урок физики в 7-м классе по теме: Сообщающиеся сосуды // Открытый урок URL: <http://chem21.info/info/41070/> (дата обращения: 15.09.2016).
4. Коэффициент сжатия, скорости, расхода и сопротивления // Истечение жидкости через отверстия и насадки URL: <http://firing-hydra.ru/index.php?request=full&id=468> (дата обращения: 25.09.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ

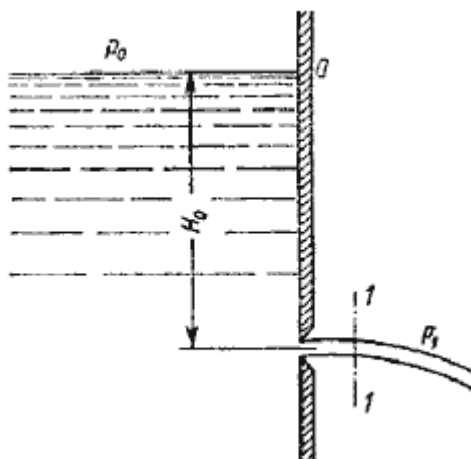


Рис. 1. Истечение из резервуара через малое отверстие [2]

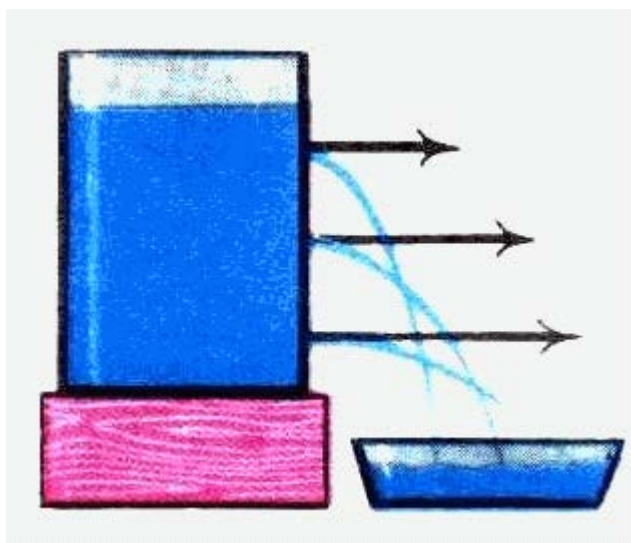


Рис. 2. Зависимость формы струи от расположения отверстия. [3]

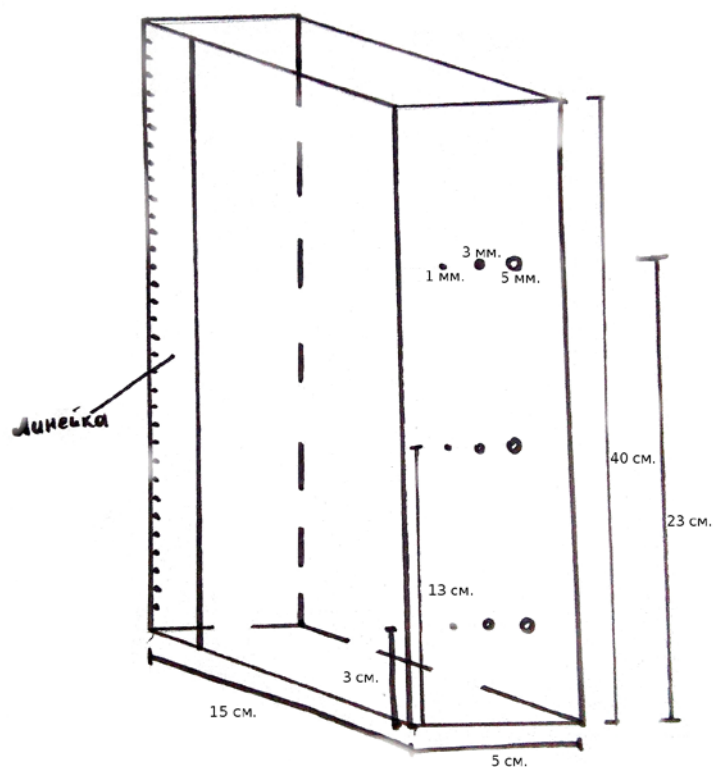


Рис. 3. Чертеж экспериментальной установки

Таблица 1. Результаты вычислений.

Жидкость	Плотность (кг/м ³)	Давление (Па)		
		0,05	0,15	0,30
Вода	1000	490,00	1470,00	2940,00
Антифриз	1078	528,22	1584,66	3169,32
Машинное масло	900	441,00	1323,00	2646,00

Таблица 2. Результаты измерений.

№	Жидкость	Температура, °C	Высота	Отверстие	Расстояние, см
1	Вода	25	Н	М	20
2	Вода	25	Н	С	30
3	Вода	25	Н	Б	40
4	Вода	25	С	М	28
5	Вода	25	С	С	22
6	Вода	25	С	Б	32

7	Вода	25	В	М	3
8	Вода	25	В	С	14
9	Вода	25	В	Б	16
10	Антифриз	25	В	М	Нет струи
11	Антифриз	25	В	С	Нет струи
12	Антифриз	25	В	Б	Нет струи
13	Антифриз	25	С	М	15
14	Антифриз	25	С	С	21
15	Антифриз	25	С	Б	19
16	Антифриз	25	Н	М	15
17	Антифриз	25	Н	С	27
18	Антифриз	25	Н	Б	37
19	Машинное масло	25	В	М	Нет струи
20	Машинное масло	25	В	С	Нет струи
21	Машинное масло	25	В	Б	Нет струи
22	Машинное масло	25	С	М	Нет струи
23	Машинное масло	25	С	С	Нет струи
24	Машинное масло	25	С	Б	<1
25	Машинное масло	25	Н	М	Нет струи
26	Машинное масло	25	Н	С	Нет струи
27	Машинное масло	25	Н	Б	10
28	Антифриз	-20	Н	М	Нет струи
29	Антифриз	-20	Н	С	Нет струи
30	Антифриз	-20	Н	Б	19
31	Машинное масло	-20	Н	М	Нет струи
32	Машинное масло	-20	Н	С	Нет струи
33	Машинное масло	-20	Н	Б	Нет струи
34	Машинное масло	0	Н	М	Нет струи
35	Машинное масло	0	Н	С	Нет струи
36	Машинное	0	Н	Б	Нет струи

	масло				
37	Вода	35	Н	М	22
38	Вода	35	Н	С	27
39	Вода	35	Н	Б	36
40	Антифриз	35	Н	М	22
41	Антифриз	35	Н	С	22
42	Антифриз	35	Н	Б	37
43	Машинное масло	35	Н	М	Нет струи
44	Машинное масло	35	Н	С	Нет струи
45	Машинное масло	35	Н	Б	12