

5 Лабораторная работа № 4. Исследование нестационарных процессов истечения жидкости через гидродроссель

Цель работы: исследование нестационарных процессов истечения жидкости через гидродроссель.

Задачи

- 1 Изучение типов гидродросселей.
- 2 Изучение особенностей расчета нестационарных процессов истечения жидкости.
- 3 Экспериментальное исследование нестационарного процесса истечения жидкости через гидродроссель и обработка результатов.

5.1 Краткие теоретические сведения

В учебной литературе по гидравлике рассматриваются два случая истечения жидкости через малое отверстие в тонкой стенке: первый – при постоянном напоре, а второй – при переменном [2]. В обоих случаях истечение происходит из резервуара в окружающую среду (или в среду с противодействием). В первом случае истечения напор перед отверстием считают постоянной величиной, а во втором – переменной. Следует отметить, что рассматриваемые случаи истечения имеют ограниченное практическое применение.

Чаще всего в машиностроительной гидравлике встречаются случаи истечения жидкости через гидродроссель. Последний представляет собой разновидность малого отверстия в тонкой стенке. Гидродроссель – это особое местное сопротивление, обладающее чрезвычайно высокими диссипативными свойствами. Устанавливаются гидродроссели во многие гидравлические системы (включая и системы автоматического регулирования) с целью достижения требуемых инерционных свойств и обеспечения желаемых характеристик функционирования систем. Конструкции гидродросселей, а также требования, которые к ним предъявляются, подробно изложены в [2, 4]. Отметим только, что гидродроссели бывают регулируемые и нерегулируемые. Конструктивно нерегулируемые гидродроссели часто выполняют в виде пробки с наружной резьбой, в которой изготавливается осевое отверстие малого диаметра $d_{др}$ ($d_{др}$ – диаметр дросселя). Толщина стенки l , в которой изготавливают отверстие, должна быть связана с диаметром дросселя следующим образом: $l \leq (1,5 \dots 2,0) d_{др}$.

Коэффициент местного сопротивления гидродросселя можно определить из следующего выражения:

$$\zeta = \frac{d_k^4}{\mu^2 d_{др}^4},$$

где d_k – диаметр канала, в котором установлен дроссель;

μ – коэффициент расхода дросселя, для отверстия круглой формы $\mu = 0,62 \dots 0,65$.

Чаще всего встречаются два случая истечения через гидродроссель. В первом случае жидкость от источника энергии через дроссель поступает в торцевую полость подпружиненного золотника или поршня, т. е. рассматривается процесс заполнения рабочей полости, в которой перемещается подпружиненный поршень или золотник. Во втором случае рассматривается процесс опорожнения полости через гидродроссель. При этом линия с установленным в нее дросселем подключается к сливу.

Рассматриваемые процессы относятся к нестационарным, т. к. и при заполнении, и при опорожнении полости через гидродроссель изменяются во времени фазовые координаты – давления и расхода (скорости).

На рисунке 5.1 приведена расчетная схема процессов заполнения и опорожнения через гидродроссель $ДР$ рабочей полости $Б$ пружинного гидроаккумулятора.

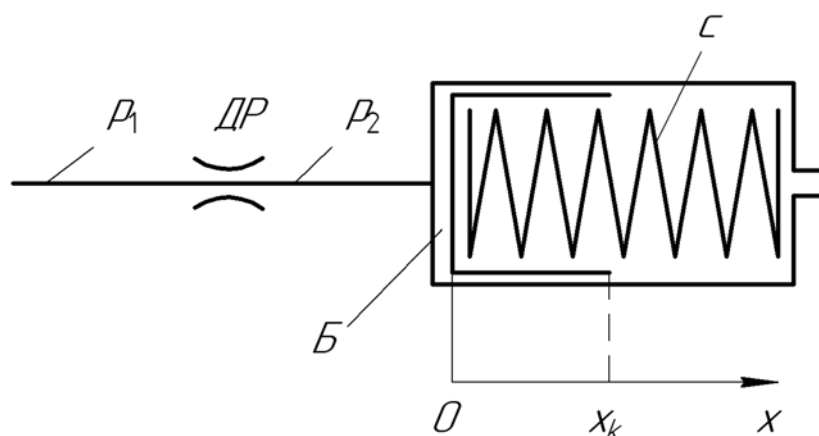


Рисунок 5.1 – Расчетная схема

При рассмотрении указанных процессов решается задача определения времени заполнения $t_{зан}$ и времени опорожнения $t_{он}$ полости $Б$ пружинного аккумулятора.

На схеме (см. рисунок 5.1) приняты следующие обозначения: p_1 и p_2 – давления; c – жесткость пружины; x – координата поршня ($x = x_k$ соответствует полному заполнению полости $Б$).

При математическом описании процессов заполнения и опорожнения полости $Б$ принимались следующие допущения: силы трения и инерции, действующие на жидкость и поршень, равны нулю; потери энергии при течении жидкости учитываются только на гидродросселе $ДР$.

Для процессов заполнения и опорожнения при принятых допущениях были составлены две системы дифференциальных уравнений, в результате решения которых получены следующие выражения:

– процесс заполнения полости B ($p_1 = \text{const}$)

$$t_{зан} = \frac{2A_n^2}{c \mu A_{оп}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{p_1 - \frac{F_o}{A_n}} - \sqrt{p_1 - \frac{F_o + c x_k}{A_n}} \right); \quad (5.1)$$

– процесс опорожнения полости B ($p_1 = 0$)

$$t_{он} = \frac{2A_n^2}{c \mu A_{оп}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{\frac{F_o + c x_k}{A_n}} - \sqrt{\frac{F_o}{A_n}} \right), \quad (5.2)$$

где A_n – площадь поршня, $A_n = \frac{\pi D_n^2}{4}$ (D_n – диаметр поршня);

$A_{оп}$ – площадь проходного сечения дросселя;

ρ – плотность рабочей жидкости;

F_o – усилие пружины (при $x = 0$);

x_k – ход поршня.

Остальные обозначения величин, входящих в выражения (5.1) и (5.2), были приведены выше.

5.2 Порядок выполнения лабораторной работы

Объектом испытаний в данной работе является подсистема стенда, представленная на рисунке 5.2.

Гидродроссель $DP2$ установлен на участке $d-e$. Для измерения давления в сечении e применяется электроконтактный манометр $MН7$, используемый для управления электронным секундомером. Для подключения аккумулятора к напорной линии насоса (процесс заполнения) или к сливу жидкости в гидробак B (процесс опорожнения) служит двухпозиционный гидрораспределитель $P2$. Устройство пружинного аккумулятора практически полностью соответствует схеме, представленной на рисунке 5.1.

На рисунке 5.3 приведены графики изменения давления p_2 в полости аккумулятора.

Процесс заполнения полости аккумулятора (см. рисунок 5.3, a) начинается при $t = 0$ и достижении давлением величины $p_{2н.з}$ ($p_{2н.з} = F_o / A_n$). При $p_2 < p_{2н.з}$ включается электронный секундомер. Затем начинается процесс заполнения рабочей полости аккумулятора. При $p_2 = p_{2к.з}$ ($p_{2к.з} = (F_o + c x_k) / A_n$) поршень касается ограничения хода ($x = x_k$) и давление практически мгновенно возрастает до линейного давления в системе p_l . При $p_2 > p_{2к.з}$ выключается электронный секундомер. На цифровом табло секундомера отображается величина $t_{зан}$.

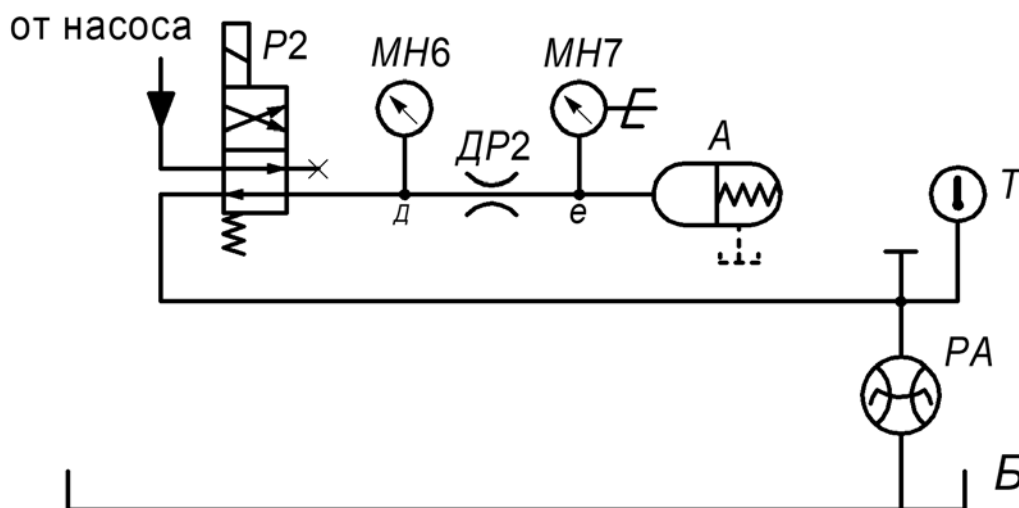
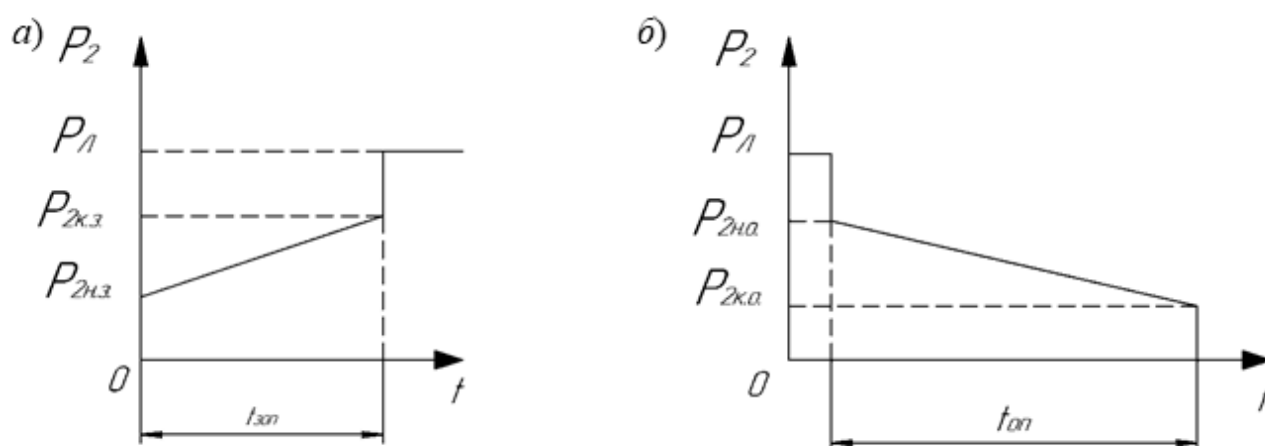


Рисунок 5.2 – Схема объекта испытаний



a – процесс заполнения; *б* – процесс опорожнения

Рисунок 5.3 – Характеристики процессов функционирования пружинного гидроаккумулятора

Процесс опорожнения полости аккумулятора (см. рисунок 5.3, б) начинается после выключения распределителя p_2 . При этом давление p_2 резко понижается с $p_{л}$ до $p_{2н.о.}$ ($p_{2н.о.} = (F_o + c x_k) / A_n$); когда $p_{л} > p_2 > p_{2н.о.}$, включается электронный секундомер. Процесс опорожнения происходит под действием усилия пружины, действующего на поршень аккумулятора. При достижении давлением значения $p_{2к.о.}$ ($p_{2к.о.} = F_o / A_n$) поршень касается ограничения хода ($x = 0$) и давление p_2 резко падает. При $p_2 < p_{2к.о.}$ отключается электронный секундомер и на табло отображается время опорожнения полости аккумулятора $t_{он}$.

Подготовка установки к работе. Перед включением установки необходимо убедиться, что:

- тумблеры управления гидрораспределителями $P1$ и $P2$ установлены в положение «Выкл.»;
- тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен

в положение «Авт.», а тумблер включения питания секундомера – в нижнее положение.

Проведение эксперимента. Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя M (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин. Включить тумблер управления секундомером в положение «Счет».

После того, как закончился процесс заполнения полости аккумулятора и зафиксировано время $t_{зан}$, необходимо сбросить (обнулить) показания табло секундомера и перейти к определению времени опорожнения полости аккумулятора. Для этого нужно тумблер управления гидрораспределителем $P2$ установить в положение «Выкл.». При этом рабочая полость аккумулятора через дроссель $ДP2$ будет подключена к сливу. Результаты исследования процессов заполнения и опорожнения необходимо записывать в таблицы 5.1 и 5.2 соответственно.

После считывания значения $t_{он}$ (по секундомеру) показание табло секундомера обнуляется и может снова переходить к исследованию процесса заполнения полости.

После выполнения всех опытов необходимо тумблер управления гидрораспределителем $P2$ установить в положение «Выкл.», отключить электрическое питание секундомера, электродвигателя и стенда.

Таблица 5.1 – Результаты исследований процесса заполнения полости аккумулятора

Номер опыта	Давление на входе p_1 , МПа	Время заполнения полости $t_{зан}$, с	Среднее значение времени $t_{зан\text{ ср}}$, с	Расчетное значение $t_{зан\text{ р}}$, с
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 5.2 – Результаты исследований процесса опорожнения полости аккумулятора

Номер опыта	Время опорожнения полости $t_{он}$, с	Среднее значение времени $t_{он\text{ ср}}$, с	Расчетное значение $t_{он\text{ р}}$, с
1			
2			
3			
4			
5			

5.3 Обработка результатов

Среднее значение времени заполнения полости аккумулятора определяется как среднее арифметическое:

$$t_{зан.ср} = \left(\sum_{i=1}^n t_{зан.i} \right) / n,$$

где n – количество опытов, $n = 5$.

Аналогично определяется и среднее значение времени опорожнения полости аккумулятора $t_{оп.ср}$.

Для определения расчетным путем времени заполнения $t_{зан.p}$ нужно воспользоваться формулой (5.1), а для определения времени опорожнения $t_{оп.p}$ – формулой (5.2).

При определении $t_{зан.p}$ в формулу (5.1) нужно подставлять среднее значение p_1 (определенное по результатам измерений в пяти опытах, см. второй столбец таблицы 5.1).

Остальные параметры, необходимые для вычисления $t_{зан.p}$ и $t_{оп.p}$, следующие:

- диаметр поршня аккумулятора $D = 0,06$ м (60 мм);
- диаметр дросселя $d_{др} = 1 \cdot 10^{-3}$ м (1 мм);
- коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$;
- усилие преднатяга пружины $F_0 = 450$ Н;
- жесткость пружины $c = 8000$ Н/м (8 Н/мм);
- ход поршня $x_k = 0,065$ м (65 мм);
- плотность масла $\rho = 890$ кг/м³.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Назначение, устройство и характеристики гидродросселя.
- 3 Как определяется коэффициент местного сопротивления гидродросселя?
- 4 Поясните обоснованность допущений, принимаемых при моделировании процессов заполнения и опорожнения рабочей полости аккумулятора.
- 5 Методика экспериментального определения характеристик заполнения и опорожнения рабочей полости аккумулятора.
- 6 Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований.