

2 Лабораторная работа № 2. Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода

Цель работы:

- уяснение физической сущности полного напора и всех его составляющих: геометрического, пьезометрического и скоростного напоров;
- уяснение физической сущности закона Бернулли;
- построение напорной и пьезометрической линий трубопровода;
- построение графических зависимостей изменения мощности потока по длине трубопровода.

2.1 Краткие теоретические сведения

Основное назначение жидкости, используемой в машиностроительном гидроприводе, – **перенос энергии** от одного элемента к другому, в общем случае – от источника энергии к исполнительному устройству.

Для характеристики энергетического состояния потока в гидравлике применяется специальный показатель, который называют **полным напором** и обозначают буквой H (измеряется в метрах).

Полный напор представляет собой полную удельную (в расчете на единицу веса) энергию.

Полный напор в i -м сечении

$$H_i = h_{z,i} + h_{n,i} + h_{c,i}, \quad (2.1)$$

где $h_{z,i}$ – геометрический напор в i -м сечении, м;

$h_{n,i}$ – пьезометрический напор в i -м сечении, м;

$h_{c,i}$ – скоростной напор в i -м сечении, м.

Входящие в H_i напоры

$$h_{z,i} = z_i;$$

$$h_{n,i} = \frac{p_i}{\rho g};$$

$$h_{c,i} = \frac{\alpha_i v_i^2}{2g},$$

где z_i – вертикальная координата i -го сечения трубопровода, м;

p_i – давление в i -м сечении, Па;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

v_i – средняя скорость потока в i -м сечении, м/с;

α_i – коэффициент Кориолиса, определенный для i -го сечения.

Чаще всего выражение для полного напора (2.1) записывают в виде

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha v_i^2}{2g}. \quad (2.2)$$

Геометрический и пьезометрический напоры выражают удельную потенциальную энергию положения и давления жидкости соответственно. Скоростной напор представляет собой удельную кинетическую энергию потока.

Связь между значениями удельной энергии в двух сечениях трубопровода на установившихся режимах устанавливается **уравнением Бернулли**, которое выражает **закон сохранения энергии для гидравлических систем** и записывается в следующем виде [1–3]:

$$z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \alpha_i \frac{v_i^2}{2g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho g} + \alpha_{i+1} \frac{v_{i+1}^2}{2g} + h_{\text{ном.}i,i+1}. \quad (2.3)$$

Потерянный напор $h_{\text{ном.}i,i+1}$, выражаемый, как и другие напоры, в метрах, расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений, расположенных между i -м и $(i+1)$ -м сечениями трубопровода. Потери напора в гидравлических сопротивлениях бывают двух типов:

- 1) по длине трубопровода (линейные потери);
- 2) потери на местных сопротивлениях (местные потери).

Линия, характеризующая закон распределения полного напора по длине потока, называется **напорной линией**. Полный напор всегда уменьшается в направлении течения жидкости. Наклон этой линии (изменение на единицу длины трубопровода) называется **гидравлическим уклоном**.

Линия, характеризующая закон распределения удельной потенциальной энергии потока ($z_i + p_i/(\rho g)$), называется **пьезометрической линией**. Наклон этой линии называется **пьезометрическим уклоном**.

Мощность и полный напор связаны выражением

$$N_i = H_i Q_{G_i} = H_i \gamma Q_i, \quad (2.4)$$

где Q_{G_i} – весовой расход, Н/с;

γ – удельный вес жидкости, Н/м³;

Q_i – объёмный расход, м³/с.

Потери мощности $\Delta N_{i,i+1}$ между i -м и $(i+1)$ -м сечениями трубопровода вычисляются из следующего выражения:

$$\Delta N_{i,i+1} = \gamma h_{nom.i,i+1} Q_i, \quad (2.5)$$

где Q_i – расход жидкости (объемный) на участке, заключенном между i -м и $(i+1)$ -м сечениями ($Q_i = Q_{i+1}$).

Потерянный напор

$$h_{nom.i,i+1} = H_i - H_{i+1}. \quad (2.6)$$

2.2 Проведение испытаний

Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод (от сечения 1–1 до сечения 5–5), схема которого представлена на рисунке 2.1.

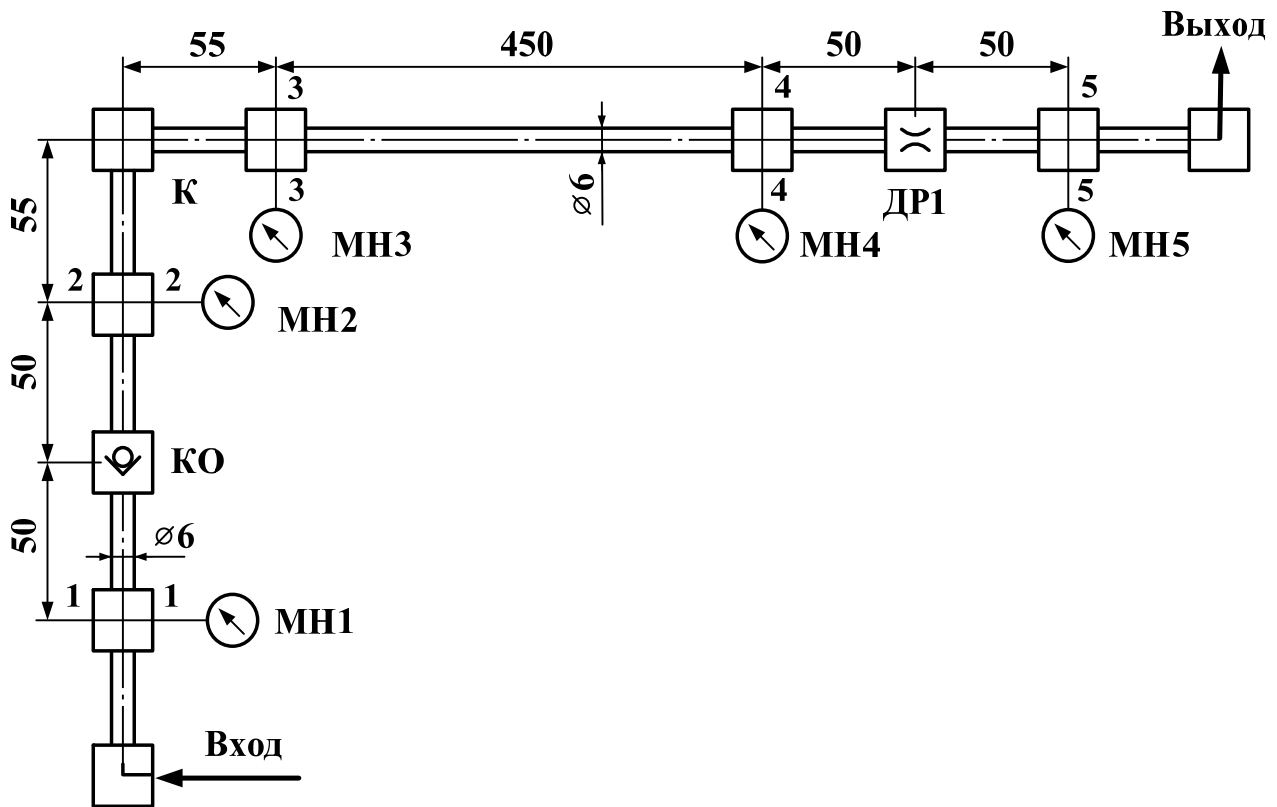


Рисунок 2.1 – Схема исследуемого трубопровода

Общая протяженность исследуемого трубопровода 760 мм (0,76 м). Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Трубопровод содержит три местных сопротивления: клапан обратный КО (без пружины), колено К (поворот на 90 град), нерегулируемый гидродроссель ДР1. К пяти сечениям подключены манометры МН1–МН5.

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

- маховик управления регулятора расхода РР полностью вывернут против часовой стрелки (указатель положения маховика установлен в позицию «1»);
- тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 установлены в положение «Выкл.»;
- тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен в положение «Ручн.», а тумблер включения питания секундомера – в нижнее положение.

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

Включить тумблер Р1 в верхнее положение «Вкл. 1». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на средней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР провести два опыта. Первый опыт проводить при минимальном, а второй – при максимальном расходах (смотреть по расходомеру РА).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления p_1 – p_5 по манометрам МН1–МН5;
 - время t прохождения через расходомер объема жидкости $W_{жс}$, с. Объемом $W_{жс}$ необходимо задаться, приняв его, например, равным в обоих опытах $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (5 л);
 - температуру рабочей жидкости T , °С (по термометру).
- Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

2.3 Обработка результатов

Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = W_{жс} / t.$$

Средняя скорость потока

$$v = \frac{Q}{A_{тр}},$$

где $A_{тр}$ – площадь сечения трубопровода, м².

Во всех сечениях скорости одинаковые, поскольку диаметр трубопровода d во всех сечениях 6 мм.

Кинематическая вязкость ν определяется по графику $\nu = f(T)$, который имеется в лаборатории (в качестве рабочей жидкости на стенде используется масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Таблица 2.1 – Результаты исследований

Номер опыта	1					2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Номер сечения трубопровода i										
Величина давления p_i , МПа										
Объем жидкости, проходящей через расходомер $W_{жс}$, м ³	5·10 ⁻³					5·10 ⁻³				
Время t прохождения объема $W_{жс}$ через расходомер, с										
Температура жидкости T , °С										
Расход жидкости Q , м ³ /с										
Средняя скорость v , м/с										
Кинематическая вязкость ν , м ² /с										
Число Рейнольдса Re										
Коэффициент Кориолиса α										
Геометрический напор z_i , м										
Пьезометрический напор $p_i/(\rho g)$, м										
Скоростной напор $\alpha v^2/(2g)$, м										
Удельная потенциальная энергия потока $z_i + p_i/(\rho g)$, м										
Полный напор H_i , м										
Мощность потока N_i , Вт										

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{v d}{\nu}$$

Коэффициент Кориолиса α при $Re < 2320$ равен 2, а при $Re > 2320$ имеем $\alpha \approx 1$.

Геометрические напоры z_i равны значениям вертикальных координат (в выбранной системе координат). В данной работе рекомендуется плоскость сравнения расположить таким образом, чтобы сечение 1–1 находилось в этой плоскости. Тогда расстояние от центра сечения трубопровода до плоскости сравнения будет равно геометрическому напору z_i .

При вычислении пьезометрических напоров $p_i/(\rho g)$ плотность масла (МГЕ-46 В) принять 890 кг/м³.

При вычислении скоростного (динамического) напора коэффициент Кориолиса во всех опытах – величина постоянная.

Полный напор H_i и мощность потока N_i вычисляются по формулам (2.2) и (2.4).

Результаты вычислений занести в таблицу 2.1 и построить для **обоих опытов** напорную и пьезометрические линии трубопровода $H = f_1(l_{mp})$, $z + p/(\rho g) = f_2(l_{mp})$, а также зависимость $N_i = f(l_{mp})$.

При построении графиков необходимо учитывать, что начало трубопровода находится в сечении 1–1, а конец – в сечении 5–5.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Физический смысл геометрического, пьезометрического, скоростного и полного напоров, методика их экспериментального определения.
- 3 Назначение и физический смысл уравнения Бернулли.
- 4 Напорная и пьезометрическая линии: назначение, методика построения.
- 5 Физический смысл гидравлического и пьезометрического уклонов.
- 6 Связь полного напора и мощности.
- 7 Определение потерь напора и мощности.