

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О.Сухого»

Кафедра «Нефтегазозаготовка и гидравлика»

ОТЧЕТ  
по лабораторной работе  
по курсу: «Гидравлика»

Выполнил(а) ст. гр. ЗС-31с

---

(фамилия И.О.)

Проверил ст.преподаватель  
Андреев Ю.А.

# Лабораторная работа №1

## Определение потерь энергии при транспортировании жидкостей по трубопроводу

Цель работы: экспериментальное определение потерь энергии на транспортирование жидкостей по сложному трубопроводу

### 1.1 Общие сведения

Транспортирование жидкостей по трубопроводам осуществляется с помощью нагнетательных устройств (насосов). Для того, чтобы перемещать текучую среду, нагнетательное устройство должно затрачивать некоторую энергию. Эта энергия зависит от физических свойств жидкости и от характеристик трубопроводной системы.

Поток жидкости можно характеризовать объёмным расходом  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и средней по сечению трубы скоростью  $v$  (м/с). **Расходом** называется количество жидкости, которое перемещается через поперечное сечение трубопровода в единицу времени

$$Q = v \cdot S,$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>.

При движении реальных жидкостей часть механической энергии движения необратимо превращается в тепловую. Эта часть энергии называется потерей энергии  $\Delta E$ . Потери энергии обусловлены существованием сил вязкого трения. С потерями энергии связаны потери давления

$$\Delta p_{\text{пот}} = \rho \cdot \Delta E, \text{ Па}$$

и потери напора

$$\Delta h_{\text{пот}} = \frac{\Delta p_{\text{пот}}}{\rho \cdot g} = \frac{\Delta E}{g}, \text{ м}$$

где  $\rho$  – плотность жидкости либо газа;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

Часть мощности, затрачиваемая нагнетательным устройством на транспортирование по трубопроводу текучих сред с расходом  $Q$ , определяется выражением

$$N = \Delta p_{\text{пот}} \cdot Q, \text{ Вт}$$

Гидравлические потери давления (напора) обычно делят на два вида:

1) **потери давления на трение**  $\Delta p_{\text{тр}}$  при стабилизированном движении жидкости в длинных трубах. Эти потери равномерно распределяются по всей длине трубы.

2) потери второго вида  $\Delta p_{\text{м}}$  называются **местными** и сосредоточены на сравнительно коротких участках трубопроводов, вызываются местными изменениями формы канала. Характерной особенностью движения жидкости через местные сопротивления является образование вихрей в потоке.

Таким образом, полные потери давления или напора определяются выражениями

$$\Delta p_{\text{пот}} = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} \quad \text{или} \quad \Delta h_{\text{пот}} = \Delta h_{\text{тр}} + \Delta h_{\text{м}}.$$

**Потери на трение по длине** – это потери, которые возникают в прямых трубах постоянного сечения, и возрастают пропорционально длине трубы, определяются по формуле Дарси

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \text{ м}$$

где  $l$  – длина трубопровода, см;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода;

$v$  – средняя скорость течения жидкости в трубопроводе;

$\lambda$  – безразмерный коэффициент потерь на трение по длине, или коэффициент Дарси.

Коэффициент потерь на трение в общем случае зависит от режима движения жидкости и от относительной шероховатости стенок канала  $\lambda = f(\text{Re}, \Delta/d)$ . Эта зависимость называется **законом сопротивления**, проявляется в соотношении величины абсолютной шероховатости  $\Delta$  и величины ламинарного подслоя  $\delta$  в потоке жидкости (рис. 1.1).

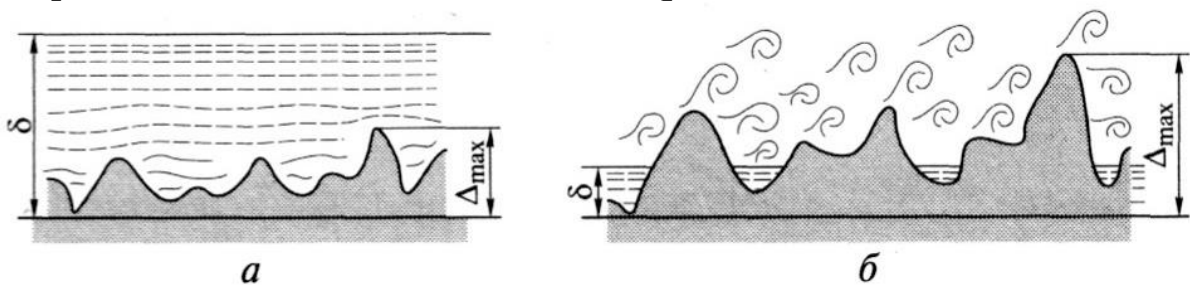


Рисунок 1.1 – Схемы течения жидкости

При  $\text{Re} < 2320$  (область ламинарного течения), коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит только от числа Рейнольдса, т.к. величина ламинарного подслоя  $\delta$  (рис. 1.1, а) значительно больше величины шероховатости стенки, поток жидкости плавно обтекает выступы, не давая образовываться вихревым зонам. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  определяется по формуле Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}.$$

При  $2320 < \text{Re} < \frac{10 \cdot d}{\Delta}$  (область гидравлически гладких труб) выступы шероховатости  $\Delta$  меньше толщины ламинарного подслоя  $\delta$  (рис. 1.1), коэффициент  $\lambda$  зависит только от числа Рейнольдса и определяется по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}.$$

При  $\frac{10 \cdot d}{\Delta} < Re < \frac{500 \cdot d}{\Delta}$  (область доквадратичного течения) коэффициент  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса и от величины шероховатости, т.к. выступы шероховатости  $\Delta$  соизмеримы с толщиной ламинарного подслоя  $\delta$  и начинают оказывать влияние на коэффициент гидравлического трения  $\lambda$ . Коэффициент  $\lambda$  может быть определен по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

При  $\frac{500 \cdot d}{\Delta} < Re$  (область квадратичного сопротивления) ламинарный подслоя почти полностью разрушается, обнажая выступы шероховатости (рис. 1.1, б). В этой области коэффициент сопротивления  $\lambda$  зависит только от относительной шероховатости  $\Delta/d$  и определяется по формуле Никурадзе

$$\lambda = \frac{1}{\left( 1,74 + 2 \cdot \lg \frac{d}{2\Delta} \right)^2}.$$

**Местные сопротивления** — относительно короткие участки русла, в которых происходит значительное изменение эпюры скоростей потока и ее последующее восстановление до формы, соответствующей равномерному движению. К ним относят: расширяющиеся и сужающиеся участки трубопровода — диффузоры и конфузоры, повороты в виде колен и отводов, диафрагмы, задвижки, краны, вентили, дроссельные заслонки, клапаны и т. п. (рис. 1.2.).

На этих участках русла образуются вихревые зоны, увеличивается интенсивность перемешивания жидкости. В результате возрастают вязкостные и инерционные силы сопротивления, препятствующие движению жидкости и, следовательно, увеличивают потери энергии жидкости, переходящие в тепло.

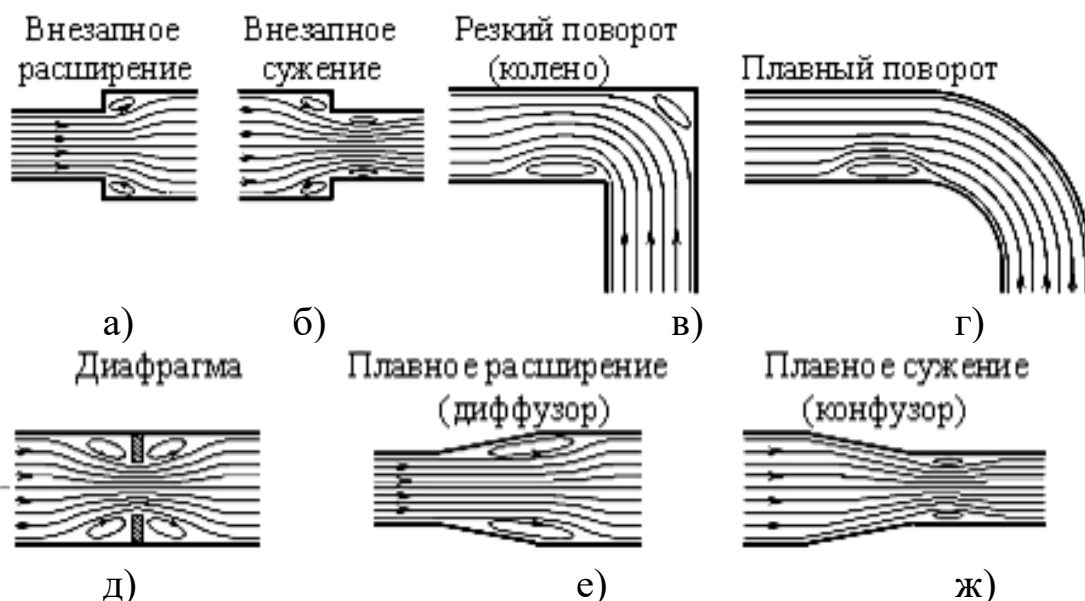


Рисунок. 1.2. - Схема типичных местных гидравлических сопротивлений

Местные потери напора определяются по формуле Вейсбаха

$$\Delta h_{\text{м.с}} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

где  $v$  – средняя скорость по сечению в трубе, в которой установлено местное сопротивление. Если диаметр трубы и скорость в ней изменяются по длине, то для расчёта принимают большую из скоростей.

$\zeta$  – коэффициент местного сопротивления, значение которого постоянно для данной формы местного сопротивления.

Величина  $\zeta$  зависит от формы местного сопротивления, распределения скоростей перед входом в него, условий входа жидкости, числа Рейнольдса и шероховатости стенок.

**Внезапное расширение и сужение**, при которых жидкость не течёт по всему контуру стенок, а движется по плавным линиям токов (рисунок 1.2, а, б). Вблизи стенок при изменении формы трубопровода происходит отрыв потока и образование водоворотных зон, в которых жидкость находится в интенсивном вращательном движении, происходит очень активное трение жидкости о твёрдые стенки трубы и трение внутри вращающихся потоков. Потери энергии определяются по формулам

$$\Delta h_{\text{в.р.}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \zeta_{\text{в.р.}} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g},$$
$$\Delta h_{\text{в.с}} = \zeta_{\text{в.с}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \text{ м.}$$

**Поворот потока** может быть плавным и резким (рис. 1.2, в, г). Резкий поворот потока или колено очень сильно влияет на потери напора. В нём создаются две сложные вихревые зоны, в которых интенсивно теряется энергия. Степень интенсивности существенно зависит от угла поворота.

Потери энергии определяются по формуле

$$h_{\text{к}} = \zeta_{\text{к}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ м.}$$

При плавном повороте на  $90^\circ$  для приблизительных расчетов можно принимать коэффициент сопротивления  $\zeta_{\text{к}} = 0,15$ .

Сравнительный анализ различных гидравлических сопротивлений показывает, что потери энергии значительно возрастают при резком изменении диаметра трубы, при резких поворотах и т.п.

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путём и в обобщённом виде содержатся в справочниках в виде эмпирических формул, таблиц, графиков.

Основные методы снижения потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по сложным трубопроводам: использование труб с гладкой внутренней поверхностью; обеспечение плавных поворотов потока;

устройство более плавного изменения поперечного сечения потока жидкости; устройство плавных входов и выходов из труб; разогрев при перекачивании высоковязких жидкостей; введение полимерных добавок в поток жидкости.

## 1.2 Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 1.3) состоит из резервуара 12, заполненного водой, центробежного насоса 13 с электродвигателем, расходомера 11, всасывающего 3 и напорного трубопроводов 4.

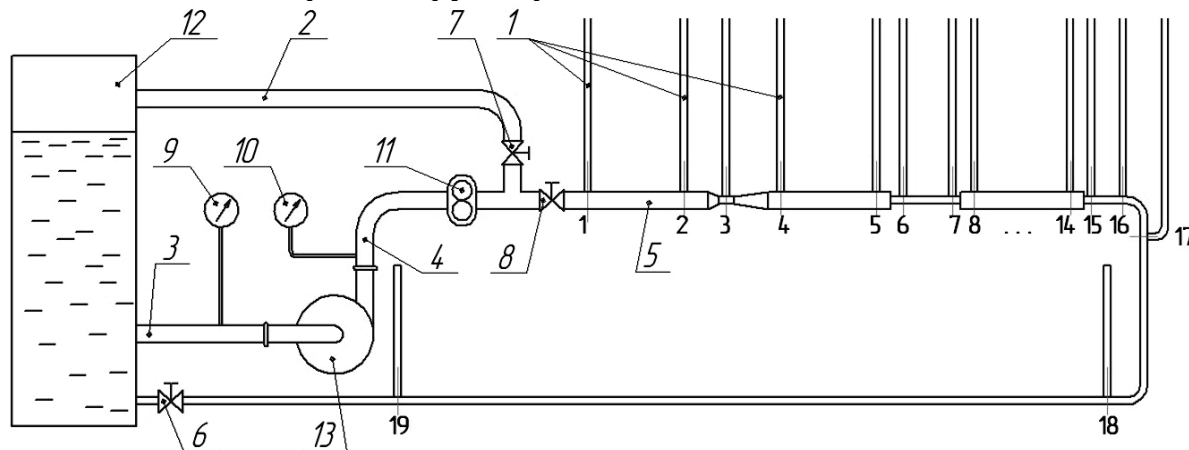


Рисунок 1.3 - Схема опытной установки

Напорная труба 4 после вентиль 8 переходит в трубопровод переменного сечения 5, на характерных участках которого установлены пьезометры 1. Вакуумметр 9 и манометр 10 служат для измерения давления соответственно на входе и на выходе из насоса. Расходомер 11 служит для измерения расхода.

## 1.3 Порядок проведения работы

- 1) Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
- 2) Включить в работу насос 13, подающий воду из водосборного бака 12 в систему.
- 3) Установить уровень жидкости вентилем 8 в пьезометре, соответствующем сечению 1 на максимальном уровне (примерно 1 м).
- 4) Произвести измерения давления в трубопроводах 4 и 5 по манометру 10 и пьезометрам в соответствующих сечениях.
- 5) При помощи расходомерного устройства 11 определить расход.

## 1.4 Обработка опытных данных

- 1) Вычислить расход жидкости по формуле

$$Q = \frac{V}{t} = \text{_____}, \text{ см}^3/\text{с}$$

где  $V$  – объем жидкости прошедший через расходомер ( $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$ );  
 $t$  – время за которое жидкость прошла через расходомер.

Определить среднее значение расхода

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} = \text{_____}, \text{ см}^3/\text{с}.$$

2) Вычислить для каждого поперечного сечения площадь

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \text{_____} \text{ см}^2,$$

где  $d$  – внутренний диаметр сечения.

3) Вычислить для каждого сечения значение средней скорости

$$v = \frac{Q_{\text{ср}}}{S} = \text{_____} \text{ см/с}.$$

4) Вычислить потери напора по формуле

$$\Delta h_{\text{пот}} = h_i - h_{i+1} = \text{_____} \text{ см}.$$

5) Вычислить коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_{\text{пот}} \cdot d}{l \cdot v^2} = \text{_____}.$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=981 \text{ см/с}^2$ ;

$l$  – длина трубопровода между сечениями, где определяется потери на трение, см.

6) Определить теоретическое значение коэффициента гидравлического трения по советующей формуле

$$\lambda_{\text{расч}} = \text{_____}.$$

7) Вычислить для каждого местного сопротивления значения коэффициента местных потерь по опыту

$$\zeta_{\text{оп}} = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h_{\text{пот}}}{v^2} = \text{_____}.$$

Определить коэффициенты местных сопротивлений расчетным путем

$$\zeta_{\text{в.р.расч.}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \text{_____}, \quad \zeta_{\text{в.с.расч.}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 = \text{_____}.$$

8) Определить мощность, затрачиваемую на преодоление каждого из гидравлических сопротивлений по формуле (расчет производить в системе SI)

$$N = \Delta h_{\text{пот}} \cdot Q \cdot \rho \cdot g = \text{_____} \text{ Вт}.$$

Провести сравнительный анализ потерь энергии на каждом из участков сложного трубопровода. Обратит внимание на влияние скорости течения на потери энергии.

Таблица 1.1 - Результаты измерений и расчётов

№ п.п.	Диаметр трубо- провода $d$	Расстояние между се- чениями $l$	Площадь по- перечного сечения тру- бопровода $S$	Показа- ния пье- зометра	Потери напора $\Delta h_{\text{пот}}$	Средняя скорость $v$	Коэф. гидравличе- ского трения $\lambda$	Коэф. месного сопротив- ления $\zeta$	Мощность $N$
	см	см	см <sup>2</sup>	см	см	см/с	—	—	Вт
Потери по длине									
Пьезометр № 1		—						---	
Пьезометр № 2								---	
Потери на внезапном сужении									
Пьезометр № 5		--					---		
Пьезометр № 6		--				---			
Потери на внезапном расширении									
Пьезометр № 7		--					---		
Пьезометр № 8		--				---			
Потери на плавном повороте									
Пьезометр № 16		--					---		
Пьезометр № 17		--					---		
Потери по длине									
Пьезометр № 18		---						---	
Пьезометр № 19								---	



