

НЕФТЕЮГАНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ  
(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Югорский государственный университет»

**Методические указания  
по выполнению практических работ**

ПМ.02. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования

МДК 02.01. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования

**Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов**

21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Согласовано  
Предметной (цикловой)  
комиссией специальных  
нефтегазовых дисциплин  
Протокол № 1 от 12.09 2019г.  
Председатель ПЦК  
Г.А. Ребенок Г.А. Ребенок

Утверждена  
заседанием методсовета  
протокол № 1 от 17.09 2019г.

Председатель методсовета  
Н.И. Савватеева Н.И. Савватеева

Методические указания по выполнению практических работ по МДК 02.01. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования, тема «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов» разработаны в соответствии с рабочей программой ПМ.02. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования.

Организация-разработчик: Нефтеюганский индустриальный колледж (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет»

Разработчик: Шумскис В.В. – преподаватель НИК (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

## Оглавление

1. Пояснительная записка.....	4
2. Требования к выполнению и оформлению практической работы .....	6
3. Перечень практических работ .....	8
Практическая работа № 1.1 .....	8
Практическая работа № 1.2 .....	11
Практическая работа № 1.3 .....	14
Практическая работа № 1.4. ....	23
Практическая работа № 1.5 .....	26
Практические работы № 1.6, № 1.7. ....	28
Практическая работа № 1.8 .....	31
Практическая работа № 1.9 .....	37
Практическая работа № 1.10 .....	39
4. Список рекомендуемой литературы .....	42

## 1. Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ по МДК 02.01. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования по теме «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов» (далее Методические указания) составлены в соответствии с рабочей программой ПМ.02. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования и предназначены для обучающихся специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Методические указания предназначены для приобретения необходимых практических умений и закрепления теоретических знаний, полученных обучающимися при изучении темы «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов», обобщения и систематизации знаний перед экзаменом.

Тема «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов» входит в цикл профессионального модуля и при ее изучении отводится значительное место выполнению практических работ.

*Целью* выполнения практических работ является: систематизация, расширение освоенных во время обучения знаний по теме «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов»; закрепление полученных знаний и умений обучающихся в результате выполнения гидравлических расчетов, решения практических задач; развитие навыков самостоятельной работы и сформированности общих и профессиональных компетенций, позволяющих решать профессиональные задачи.

Обучающиеся, выполняя практические работы, реализуют следующие *задачи*:

1. обобщить, систематизировать, закрепить полученные теоретические знания по теме «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов»;
2. формировать умения применять полученные знания на практике, реализуя единство интеллектуальной и практической деятельности;
3. развивать аналитические, логические навыки и умения у будущих специалистов;
4. вырабатывать при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

В результате освоения темы междисциплинарного курса обучающийся должен *уметь*:

- определять основные физические свойства жидкостей;
- выполнять гидравлические расчеты трубопроводов.

В результате освоения темы междисциплинарного курса обучающийся должен *знать*:

- основные физические свойства жидкостей;
- общие законы и уравнения гидростатики;
- общие законы и уравнения гидродинамики.

В соответствии с рабочей программой, календарно-тематическим планированием ПМ.02. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования 02.01. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования, Тема «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов» предусматривается проведение практических работ в объеме 32 часов.

### Перечень практических работ

№ п/п	№, название темы	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1	Практическая работа № 1.1 1.1.Физические свойства жидкости	Решение задач на определение физических свойств жидкости	4
2	Практическая работа № 1.2 1.2.Законы гидростатики	Решение задач на законы гидростатики	4
3	Практическая работа № 1.3 1.3.Законы гидродинамики	Решение задач на законы гидродинамики	4
4	Практическая работа № 1.4 1.3.Законы гидродинамики	Решение задач на определение напора и мощности насоса	4
5	Практическая работа № 1.5 1.3.Законы гидродинамики	Решение задач на режимы движения и потери напора	4
6	Практическая работа № 1.6 1.4.Движение жидкости в трубопроводах	Расчет простого трубопровода	2
7	Практическая работа № 1.7 1.4.Движение жидкости в трубопроводах	Расчет сложного трубопровода	4
8	Практическая работа № 1.8 1.4.Движение жидкости в трубопроводах	Решение задач на гидроудар и сифонный трубопровод	2
9	Практическая работа № 1.9 1.4.Движение жидкости в трубопроводах	Решение задач на фильтрацию и определение дебита скважины	2
	Практическая работа №1.10 1.4. Движение жидкости в трубопроводах	Расчет неньютоновских жидкостей	2
<b>Итого</b>			<b>32</b>

## 2. Требования к выполнению и оформлению практической работы

Практические работы выполняются в ученической тетради в клетку, на обложке которой должны быть указаны название МДК 02.01. Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования Тема «Выполнение гидравлических расчетов трубопроводов», индивидуальный вариант по списку в журнале. Не допускается выполнение работы на отдельных листах (за исключением случаев построения графиков, гидравлических характеристик трубопроводов, напорных линий). Работа, выполненная на отдельном листе не принимается и не оценивается.

Задания практической работы переписывать полностью. Текст задания записывается с подстановкой данных индивидуального варианта. При необходимости записи сопровождать схемами, рисунками, таблицами. Записи выполняются чернилами или пастой черного (фиолетового) цвета, четко и разборчиво. При расчетах следует записать формулу, а только затем числовые вычисления. Выполнение расчетов и их запись должны носить последовательный характер. Не допускается подставлять формулу значения какой-либо величины, а ниже производить вычисления этого числа. Каждое значение начинать с новой страницы.

Графическая часть практической работы выполняется аккуратно, с использованием чертежных инструментов. Все рисунки и схемы должны быть пронумерованы в порядке их расположения. По тексту при оформлении каждой из задач необходимо делать ссылку на номер рисунка или схемы. На рисунках (схемах) необходимо нанести известные и искомые параметры.

При оформлении заданий практической работы должна соблюдаться следующая последовательность (каждый пункт выполняется с красной строки):

1. Задание практической работы (включая текст задачи);
2. Исходные данные для решения задачи, (единицы измерения перевести в систему СИ);
3. Рисунок (схема);
4. По центру слово «Решение», ниже изложение хода решения задачи с пояснениями.

Обучающийся допускается к сдаче экзамена по МДК, если все его работы зачтены (имеются отметки о зачете работ в технологической карте или на внутренней стороне обложки тетради для практических работ).

Если в работе допущены ошибки, работа возвращается обучающемуся. Получив прорецензированную практическую работу, обучающийся должен исправить ошибки и дать необходимые дополнения к ответам, если этого требует рецензия. Работу над ошибками следует проводить в этой же тетради.

Если исправлений требуется слишком много, работу следует выполнить заново и сдать ее вместе с ранее выполненной. В случае повторной проверки оценка за работу снижается.

Пропущенные практические занятия обучающийся должен отработать во время, в дни самостоятельных работ обучающегося до сдачи экзамена. Работы обучающийся выполняет **лично**.

### 3. Перечень практических работ

#### Практическая работа № 1.1

#### Решение задач на определение физических свойств жидкости

- Цели: 1. Закрепить знание основных физических свойств жидкостей.  
2. Научиться рассчитать основные физические свойства жидкостей.

#### Методические указания

1. Плотность жидкости при  $t$ :

$$\rho_t = \frac{\rho_{15}}{1 + \beta_t (T - T_{15})}; \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \text{ формула Менделеева} \quad (1)$$

$T$  – абсолютная температура  $[K]$

$$T = t + 273 \text{ } ^\circ C$$

2. Кинематическая вязкость жидкость при  $t$ :

$$\nu = \frac{0,01775}{0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2 + 1}; [Cm] \quad (2)$$

3. Динамическая вязкость при  $t$ :

$$\mu = \frac{0,0179}{1 + 0,0368 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2}; [Пз] \quad (3)$$

$$1Пз = 0,1Па \cdot C$$

Проверка:  $\mu = \nu \cdot \rho$

4. «Условная» вязкость через кинематическую:

$$\nu = 0,0731 \cdot \text{ } ^\circ \text{Э} - \frac{0,0631}{\text{ } ^\circ \text{Э}}; \text{ } ^\circ \text{Э} = \text{ } ^\circ BU \quad (4)$$

5. Удельный вес нефти:

$$\gamma = \rho_t \cdot g; \left[ \frac{H}{\text{м}^3} \right] \quad (5)$$

6. Изменение давления при изменении температуры на  $\Delta t$ :

$$\beta_v = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (6)$$

7. Изменение объема из формулы:

$$\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (7)$$

При определении повышения давления рассмотреть процесс как происходящий в два этапа – первоначальное увеличение объема в следствие температурного расширения и последующее увеличение давления в следствие сжатия жидкости до исходного объема.

При пересчете плотности на заданную температуру обратить внимание на незначительность изменения плотности. Если полученное значение плотности значительно отличается от исходного, то наиболее вероятно, что в расчетах допущена ошибка.

Обратить внимание на необходимость и целесообразность перевода исходных данных в СИ.

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с. 9 - 23**

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что называется идеальной жидкостью?
2. Перечислите основные физические свойства жидкости
3. Какова зависимость плотности и вязкости от температуры

### Задача № 1

Горизонтальный трубопровод диаметром  $d$  и длиной  $L$  наполнен стоячей жидкостью плотностью  $\rho$ . Температура жидкости  $t_1$  °C, давление  $p$ , коэффициент температурного расширения  $\beta_t$ , коэффициент объемного сжатия  $\beta_v$ . Определить: массу жидкости, удельные объемы при температуре  $t_1$  °C и  $t_2$  °C, плотность при температуре  $t_2$  °C, давление в трубе при нагревании жидкости до  $t_2$  °C, модуль объемной упругости.

Исходные данные к задаче № 1

Предпоследняя цифра варианта	Исходные параметры	Единицы измерения	Последняя цифра варианта									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	L	км	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
	d	мм	57	76	89	114	159	219	273	426	530	620
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805
	$t_1$	°C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	p	МПа	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
	$\beta_t \times 10^{-6}$	1/°C	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
	$\beta_v \times 10^{-10}$	Па <sup>-1</sup>	4,7	4,71	4,72	4,73	4,74	4,75	4,76	4,77	4,78	4,79
	$t_2$	°C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	L	км	4	5	6	7	8	9	9	11	12	13
	d	м	0,72	0,83	1,2	1,42	0,62	0,53	0,426	0,62	1,42	1,2
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	0,96	0,965	0,97	0,975	0,98	0,985	0,99	0,995	1	0,74
	$t_1$	°C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	p	МПа	110	121	130	140	150	160	170	180	190	200
	$\beta_t \times 10^{-6}$	1/°C	160	161	162	163	164	165	164	163	162	161
	$\beta_v \times 10^{-10}$	Па <sup>-1</sup>	4,8	4,81	4,82	4,83	4,84	4,85	4,86	4,87	4,88	4,89
	$t_2$	°C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
2	L	м	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
	d	мм	620	530	426	325	219	159	114	89	76	57
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	810	815	820	825	830	840	845	850	855	860
	$t_1$	°C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	p	МПа	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
	$\beta_t \times 10^{-6}$	1/°C	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151
	$\beta_v \times 10^{-10}$	Па <sup>-1</sup>	4,9	4,91	4,92	4,93	4,94	4,95	4,96	4,97	4,98	4,99
	$t_2$	°C	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
3	L	м	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23000
	d	м	1,42	1,2	0,83	0,72	0,62	0,530	1,42	1,2	0,83	0,72
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	0,910	0,915	0,920	0,925	0,930	0,935	0,94	0,945	0,95	0,955
	$t_1$	°C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	p	МПа	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
	$\beta_t \times 10^{-6}$	1/°C	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
	$\beta_v \times 10^{-10}$	Па <sup>-1</sup>	5	5,01	5,02	5,03	5,04	5,05	5,06	5,07	5,08	5,09
	$t_2$	°C	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31

## **Практическая работа № 1.2**

### **Решение задач на законы гидростатики**

- Цели:
1. Уметь определять давление жидкости на стенке.
  2. Уметь применять закон Архимед.

При решении задачи обратить внимание на единицы измерения давления и учесть, что 1 мм.рт.ст. примерно равен 133,33 Па, а 1 атм = 98,1 кПа.

Рекомендуется сделать вспомогательный чертеж к задаче № 2.

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с. 9-23**

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Сформулируйте закон Архимеда для полностью и частично погруженного тела.
2. Сравнить выталкивающую силу, действующую на 1 м<sup>3</sup> древесины, и на 1 м<sup>3</sup> чугуна, при условии, что оба тела погружены в одну и ту же жидкость полностью.
3. Как изменится выталкивающая сила, действующая на погруженные в буровой раствор трубы, если увеличить плотность бурового раствора? Ответ обосновать.

## Задача №2

Прямоугольный бак размерами  $(a \times b \times c)$ , заполняется жидкостью, плотностью  $(\rho)$  на высоту  $h$ , емкость сверху открыта. Определить: полное давление и силу давления на дно и боковую стенку  $(a \times c)$  - **нечетный вариант**; стенку  $(b \times c)$  - **четный вариант**, если атмосферное давление –  $P_0$

Исходные данные к задаче 2

№ вар	Длина а м	Ширина в м	Высота с м	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	h м	$P_0$ атм	$P_0$ мм рт.ст.
1	0,5	0,5	1,5	800	1,0		760
2	0,5	0,6	1,6	810	1,1	0,95	
3	0,6	0,6	1,6	820	1,2		765
4	0,6	0,7	1,7	830	1,3	0,85	
5	0,7	0,7	1,7	840	1,4		770
6	0,7	0,8	1,8	850	1,5	0,85	
7	0,8	0,8	1,8	860	1,6		780
8	0,8	0,9	1,9	870	1,7	0,87	
9	0,9	0,9	1,9	880	1,8		770
10	0,9	1,0	2,0	890	1,9	0,89	
11	1,0	1,0	2,0	900	2,0		760
12	1,0	1,1	2,1	890	2,0	0,91	
13	1,1	1,1	2,1	880	2,0		750
14	1,1	1,2	2,2	870	2,0	0,93	
15	1,2	1,2	2,2	860	2,1		740
16	1,2	1,3	2,3	850	2,2	0,95	
17	1,3	1,3	2,3	840	2,2		730
18	1,3	1,4	2,4	830	2,3	0,97	
19	1,4	1,4	2,4	820	2,3		740
20	1,4	1,5	2,5	210	2,4	0,99	
21	1,5	1,5	2,5	800	2,4		750
22	1,5	1,6	2,6	810	2,3	1,01	
23	1,6	1,6	2,6	820	2,2		760
24	1,6	1,7	2,7	830	2,1	1,03	
25	1,7	1,7	2,7	840	2,0		770
26	1,7	1,8	2,8	850	1,9	1,05	
27	1,8	1,8	2,8	860	2,0		780
28	1,8	1,9	2,9	870	2,1	1,05	
29	2,0	2,0	2,9	880	2,2		790
30	2,0	2,1	3,0	890	2,3	1,03	

### Задача № 3

В скважину, заполненную буровым раствором, на всю глубину  $H$  спущены бурильные трубы. Определить нагрузку, оказываемую на крюк буровой установки, если плотность стали, из которой изготовлены трубы, составляет  $\rho_{cm}$ , 1 метр таких труб в воздухе весит  $G_{y\delta}$ , плотность бурового раствора  $\rho_{\delta p}$ . Как изменится нагрузка, если скважину заполнить не буровым раствором, а нефтью плотностью  $\rho_n$ ? Определить давление на забое в скважине, если при вскрытии скважины нефть фонтанирует на высоту  $h$  метров.

Исходные данные к задаче 3

Предпоследняя цифра варианта	Исходные параметры	Единицы измерения	Последняя цифра варианта									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	$H$	км	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
	$h$	м	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	$\rho_{cm}$	кг/м <sup>3</sup>	7840	7841	7842	7843	7844	7845	7846	7847	7848	7849
	$\rho_{\delta p}$	г/см <sup>3</sup>	1,06	1,07	1,08	1,09	1,1	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
	$\rho_n$	кг/м <sup>3</sup>	760	765	770	775	780	785	790	800	805	810
	$G_{y\delta}$	Н	33,39	54,89	70,66	99,72	138,69	33,41	54,92	70,70	99,78	138,78
1	$H$	м	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1850	1950	2050
	$h$	км	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
	$\rho_{cm}$	кг/м <sup>3</sup>	7850	7860	7870	7880	7890	7885	7875	7842	7818	7840
	$\rho_{\delta p}$	г/см <sup>3</sup>	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,70	1,06
	$\rho_n$	т/м <sup>3</sup>	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,8
	$G_{y\delta}$	Н	33,43	55,02	70,91	100,19	139,50	33,58	55,13	70,66	99,40	138,62
2	$H$	км	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
	$h$	м	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145
	$\rho_{cm}$	кг/м <sup>3</sup>	7830	7831	7832	7833	7834	7835	7836	7837	7838	7839
	$\rho_{\delta p}$	г/см <sup>3</sup>	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
	$\rho_n$	кг/м <sup>3</sup>	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860
	$G_{y\delta}$	Н	33,34	54,82	70,57	99,59	138,51	33,37	54,85	70,61	99,65	138,60
3	$H$	м	2150	2250	2450	2550	2650	2750	2850	295	3050	2350
	$h$	км	0,145	0,135	0,125	0,115	0,105	0,095	0,085	0,075	0,065	0,055
	$\rho_{cm}$	т/м <sup>3</sup>	7,839	7,838	7,837	7,836	7,835	7,834	7,833	7,832	7,831	7,83
	$\rho_{\delta p}$	кг/м <sup>3</sup>	1250	240	1230	1220	121 0	1200	1190	1180	1170	1160
	$\rho_n$	г/см <sup>3</sup>	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9
	$G_{y\delta}$	Н	33,38	54,87	70,61	99,63	138,53	33,36	54,83	70,57	99,56	138,44

## Практическая работа № 1.3

### Решение задач на законы гидродинамики

Цель: Научиться определять гидродинамические элементы потока жидкости.

#### Методические указания

1. Гидравлический радиус сооружения:

$$R_r = \frac{S}{\chi}; \quad (8)$$

$S$  – площадь сечения потока жидкости,  $[м^2]$

$\chi$  – смоченный периметр сооружения,  $[м]$

2. Гидравлический диаметр:

$$d_r = 4R_r = 4\frac{S}{\chi}; \quad [м] \quad (9)$$

Перед решением задачи рекомендуется повторить расчетные формулы для нахождения площадей и периметров некоторых геометрических фигур.

Учесть, что все живые сечения в задаче представлены для кольцевых каналов «труба в трубе», то есть транспортируемая жидкость омывает внешнюю трубу по внутренней стенке, а внутреннюю – по внешней. Рекомендуется на схематическом чертеже заштриховать область живого сечения потока.

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с. 43-46**

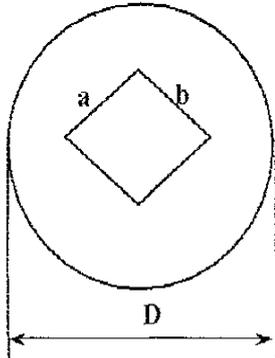
#### Вопросы для самоконтроля

1. Какой радиус больше: линейный или гидравлический? Ответ обосновать.
2. В чем измеряется  $\chi$ ;  $R_r$ ;  $d_r$ ?

### Задача №4

Для нестандартного сечения сооружения определить: смоченный периметр, гидравлический радиус и гидравлический диаметр.

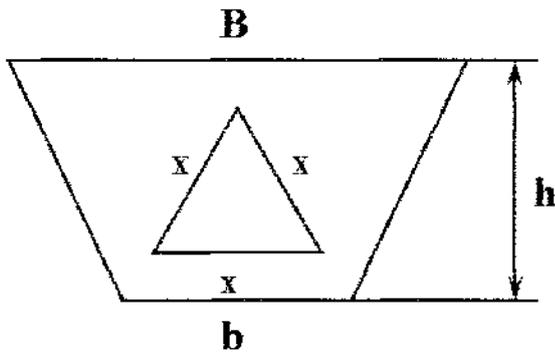
Вариант - 1



$$D = 150 \text{ мм.}$$

$$a = 5 \text{ мм.}$$

$$b = 15 \text{ мм.}$$



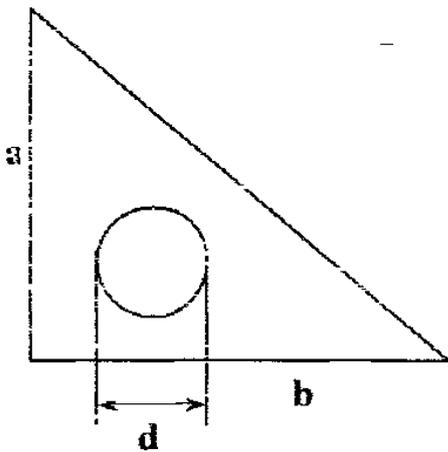
Вариант - 2

$$B = 15 \text{ мм}$$

$$b = 10 \text{ мм}$$

$$h = 8 \text{ мм}$$

$$x = 5 \text{ мм}$$

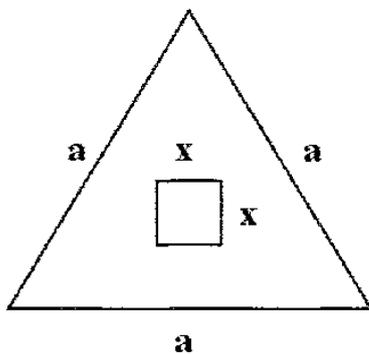


Вариант - 3

$$a = 20 \text{ м}$$

$$b = 30 \text{ см}$$

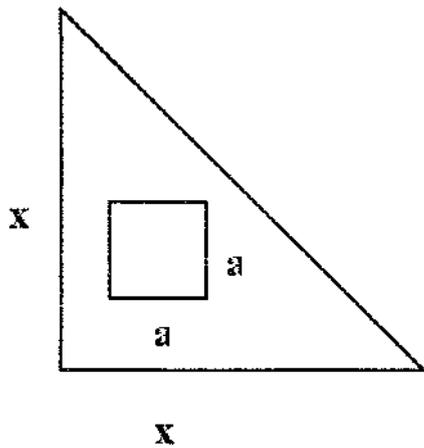
$$d = 5 \text{ см}$$



Вариант - 4

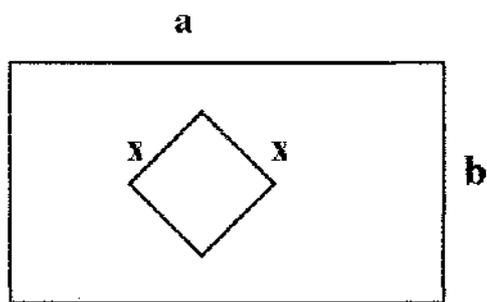
$$a = 20 \text{ см}$$

$$x = 2 \text{ см}$$



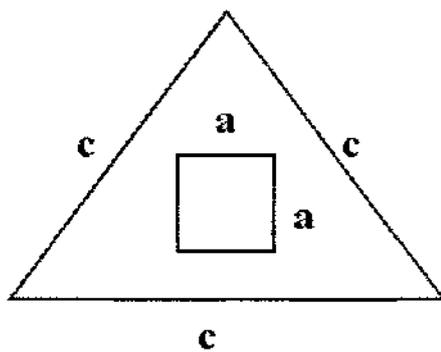
Вариант - 5

$x = 10 \text{ см}$   
 $a = 5 \text{ см}$



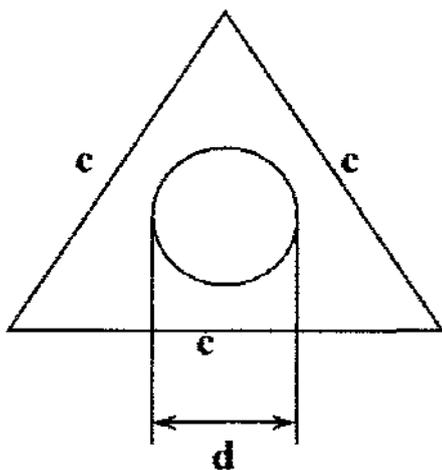
Вариант - 6

$a = 10 \text{ см}$   
 $b = 8 \text{ см}$   
 $x = 5 \text{ см}$



Вариант - 7

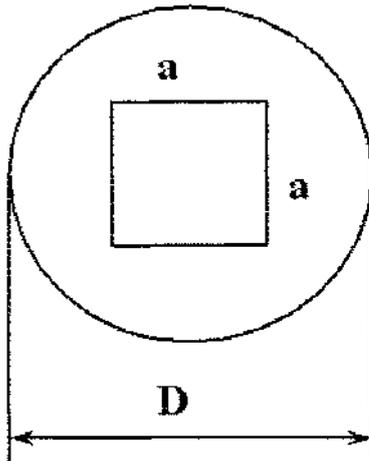
$c = 100 \text{ см}$   
 $a = 5 \text{ см}$



Вариант - 8

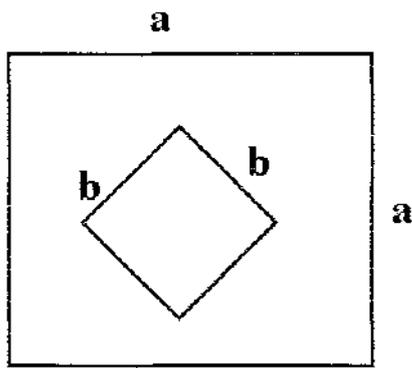
$c = 10 \text{ см}$   
 $d = 5 \text{ см}$

Вариант - 9



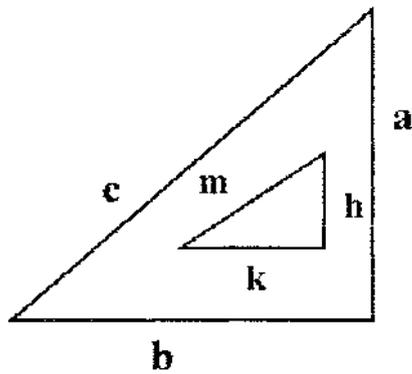
$a = 65 \text{ см}$   
 $D = 100 \text{ см}$

Вариант - 10



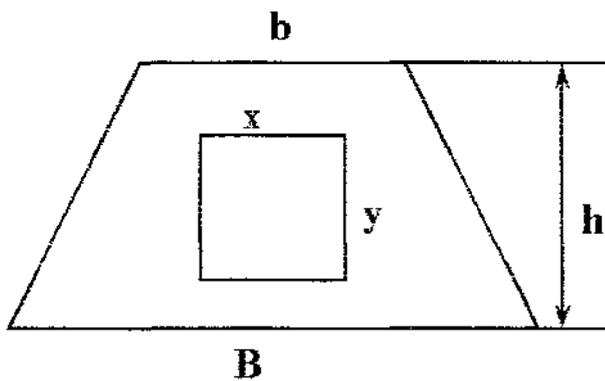
$a = 15 \text{ мм}$   
 $b = 10 \text{ мм}$

Вариант - 11



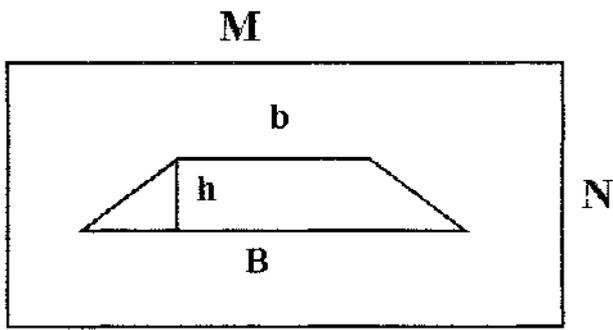
$c = 20 \text{ см}$   
 $a = 10 \text{ см}$   
 $m = 5 \text{ см}$   
 $h = 2 \text{ см}$

Вариант - 12



$b = 1 \text{ м}$   
 $B = 4 \text{ м}$   
 $x = 0,5 \text{ м}$   
 $y = 0,15 \text{ м}$   
 $h = 0,2 \text{ м}$

Вариант - 13



$$M = 200 \text{ мм}$$

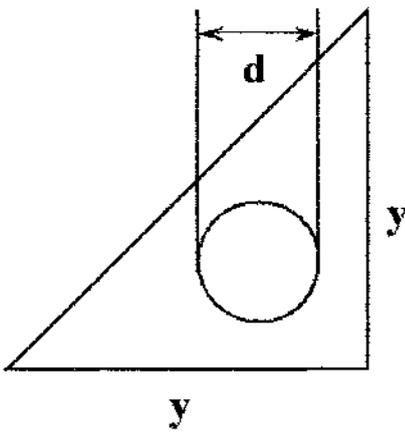
$$N = 150 \text{ мм}$$

$$B = 10 \text{ мм}$$

$$b = 120 \text{ мм}$$

$$h = 5 \text{ мм}$$

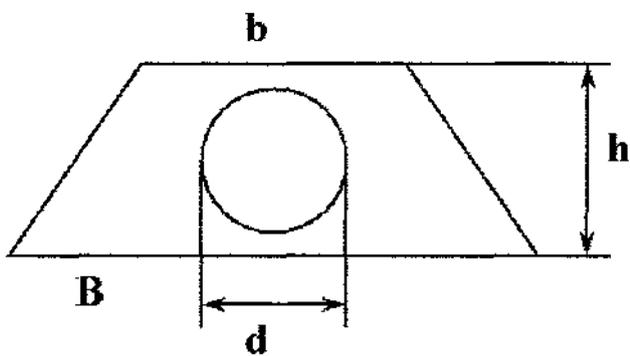
Вариант - 14



$$y = 10 \text{ мм}$$

$$d = 5 \text{ мм}$$

Вариант - 15

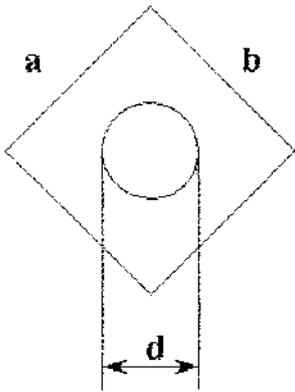


$$B = 5 \text{ м}$$

$$b = 2 \text{ м}$$

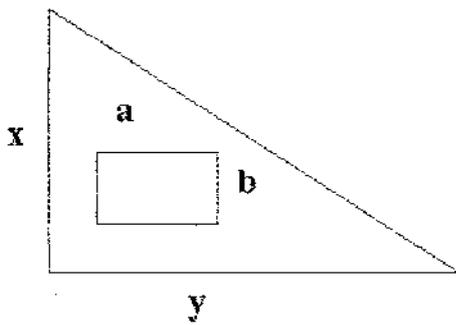
$$h = 1 \text{ м}$$

$$d = 0,5 \text{ м}$$



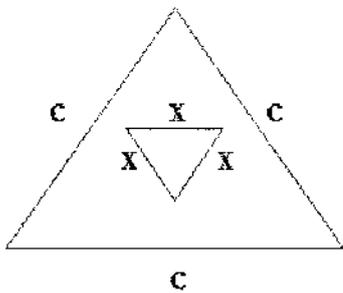
Вариант № 16

- $a = 16 \text{ см}$
- $b = 20 \text{ см}$
- $d = 10 \text{ см}$



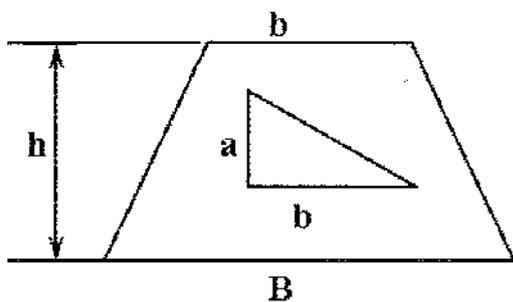
Вариант № 17

- $x = 10 \text{ см}$
- $y = 20 \text{ см}$
- $a = 5 \text{ см}$
- $b = 3 \text{ см}$



Вариант № 18

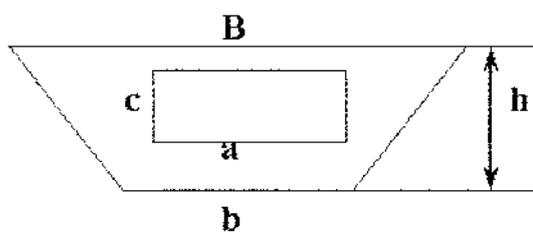
- $c = 100 \text{ мм}$
- $x = 10 \text{ мм}$



Вариант № 19

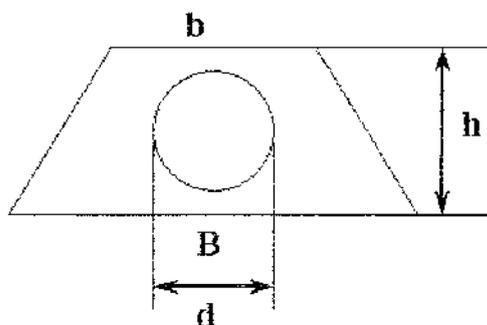
- $B = 10 \text{ см}$
- $b = 5 \text{ см}$
- $h = 3 \text{ см}$
- $a = 2 \text{ см}$
- $b = 3 \text{ см}$

Вариант № 20



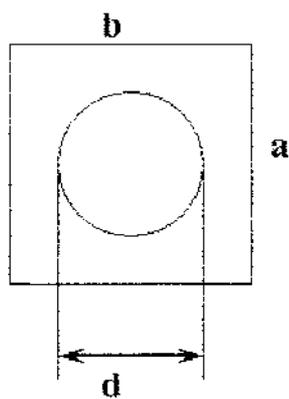
$a = 100 \text{ см}$   
 $c = 50 \text{ см}$   
 $B = 500 \text{ см}$   
 $b = 200 \text{ см}$   
 $h = 70 \text{ см}$

Вариант № 21



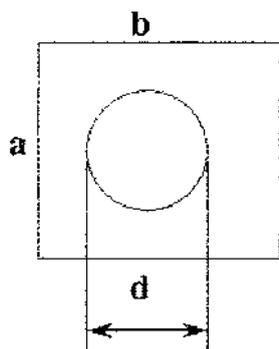
$B = 60 \text{ мм}$   
 $b = 20 \text{ мм}$   
 $d = 10 \text{ мм}$   
 $h = 10 \text{ мм}$

Вариант № 22



$a = 100 \text{ мм}$   
 $b = 150 \text{ мм}$   
 $d = 75 \text{ мм}$

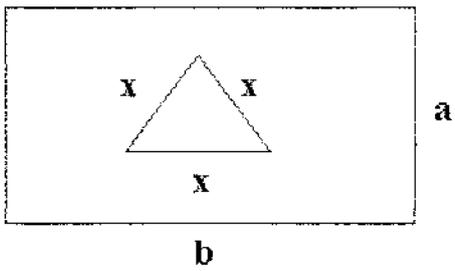
Вариант № 23



$a = 10 \text{ см}$   
 $b = 12 \text{ см}$   
 $d = 5 \text{ см}$

Вариант № 24

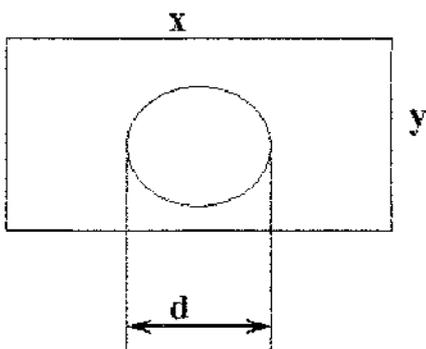
$$\begin{aligned} x &= 10 \text{ мм} \\ a &= 20 \text{ мм} \\ b &= 30 \text{ мм} \end{aligned}$$



Вариант № 25

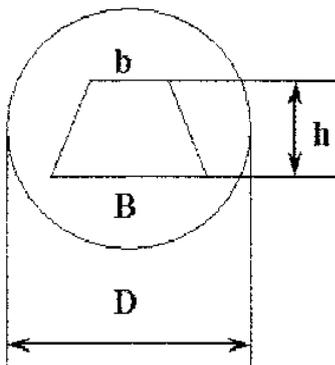
1

$$\begin{aligned} x &= 15 \text{ мм} \\ y &= 5 \text{ мм} \\ d &= 2 \text{ мм} \end{aligned}$$



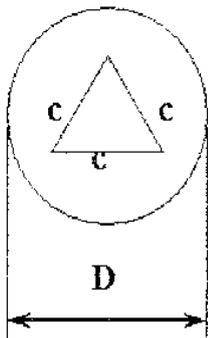
Вариант № 26

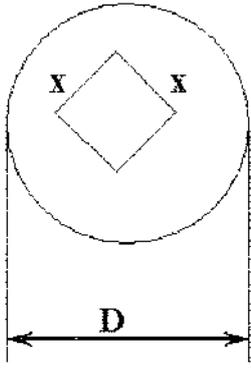
$$\begin{aligned} B &= 10 \text{ см} \\ D &= 15 \text{ см} \\ b &= 5 \text{ см} \\ h &= 5 \text{ см} \end{aligned}$$



Вариант № 27

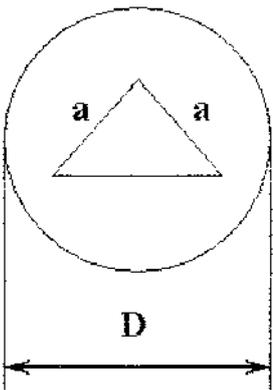
$$\begin{aligned} D &= 20 \text{ см} \\ c &= 10 \text{ см} \end{aligned}$$





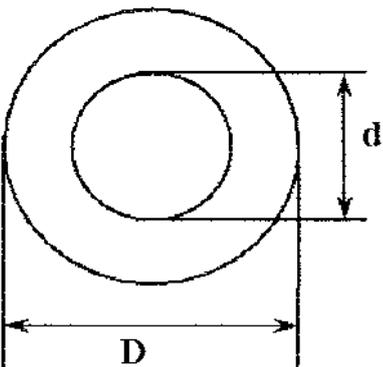
Вариант № 28

$$D = 250 \text{ мм}$$
$$x = 10 \text{ мм}$$



Вариант № 29

$$D = 15 \text{ мм}$$
$$a = 1 \text{ мм}$$



Вариант № 30

$$D = 120 \text{ см}$$
$$d = 12 \text{ см}$$

## Практическая работа № 1.4.

### Решение задач на определение напора и мощности насоса

- Цели: 1. Научиться определять режимы движения жидкости;  
2. Выполнять расчет потерь напора на трение по длине потока.

#### Методические указания

1. Режим движения жидкости определяется числом Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d}{\nu}; \quad (10)$$

если  $\text{Re} > 2320$ , режим турбулентный;

если  $\text{Re} < 2320$ , режим ламинарный.

2. Общие потери напора в трубопроводе:

$$h = h_l + \Sigma h_{m,c}; \quad (11)$$

$h_l$  - потери на трение

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}; \quad (12)$$

$\lambda$  - коэффициент трения

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \text{ - для ламинарного режима}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \text{ - при турбулентном режиме для области гидравлически гладких труб}$$

(формула Блазиуса)

$$\lambda = 0,11 \times 4 \sqrt{\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}}} \text{ - при турбулентном режиме для докватратичной области}$$

(формула Альтшуля)

$$\lambda = 0,11 \times 4 \sqrt{\frac{\Delta}{d}} \text{ - при турбулентном режиме для квадратичной области (формула}$$

Шифринсона)

Для определения области рассчитать  $\frac{10d}{\Delta}$  и  $\frac{500d}{\Delta}$  и сравнить с  $\text{Re}$  [1, стр. 71-72]

$h_{m,c}$  - потери на местные сопротивления

$$h_{\text{м.с}} = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Почему возникают потери напора?
2. Что относится к местным сопротивлениям?
3. Назовите способы снижения потерь напора.

## Задача № 5

Определить режим движения жидкости и общие потери напора в трубопроводе длиной 1000м.

**Четные варианты** – в канале прямоугольного сечения размером  $b, h$ .

**Нечетные варианты** – в трубе диаметром  $d$ .

### Исходные данные к задаче 5

№ вар.	d мм	b см	h см	Q $m^3 \setminus c$	$Q_m$ $кг \setminus c$	$\rho$ $кг \setminus m^3$	$\nu$ Ст	$\Delta$ , мм	$\xi_{\phi}$	$\xi_{кл}$
1	25				0,42	850	0,02	0,001	2	0,1
2		50	10	0,096		860	0,017	0,002	3	0,5
3	40				0,31	870	0,022	0,003	2	0,2
4		60	20	0,03		820	0,035	0,004	3	0,6
5	65				0,22	890	0,15	0,005	2	0,4
6		70	30	0,16		900	0,20	0,009	3	0,5
7	100				7,15	910	0,25	0,010	2,2	0,6
8		80	40	0,08		920	0,30	0,011	2,4	0,7
9	200				8,50	930	0,35	0,008	2	0,3
10		90	50	0,07		940	0,10	0,005	3	0,1
11	200				6,33	950	0,01	0,004	2,5	0,4
12		100	50	0,06		960	0,02	0,003	2,5	0,5
13	150				7,50	970	0,03	0,015	2,4	0,4
14		110	60	0,05		980	0,04	0,016	2,3	0,3
15	100				6,50	990	0,05	0,017	2	0,1
16		120	70	0,055		1000	0,06	0,001	2	0,2
17	80				2,5	1000	0,018	0,004	2	0,3
18		130	80	0,081		990	0,020	0,001	2	0,4
19	65				0,36	980	0,022	0,2	2	0,15
20		120	60	0,077		970	0,024	0,15	2	0,20
21	50				0,44	960	0,011	0,11	2	0,15
22		110	50	0,066		950	0,012	0,15	2	0,20
23	40				0,51	940	0,013	0,10	2	0,4
24		100	40	0,015		930	0,014	0,005	2	0,5
25	32				0,65	920	0,015	0,015	2	0,5
26		90	50	0,018		910	0,020	0,18	2	0,4
27	25				0,44	900	0,025	0,2	1,5	0,5
28		80	45	0,020		890	0,030	0,03	2,0	0,6
29	32				0,25	880	0,018	0,02	1,5	0,5
30		75	35	0,080		870	0,010	0,03	2,0	0,6

## Практическая работа № 1.5

### Решение задач на режимы движения и потери напора

Цель: уметь определять полезную и потребляемую мощность насоса

#### Методические указания

1. Полезная мощность насоса:

$$N_{пол} = Q_{нас} \cdot H_{нас} \cdot \rho \cdot g ; [Вт] \quad (14)$$

$H_{нас}$  - полный напор насоса

$$H_{нас} = h_{вс} + h_{н} + \Sigma h ; [м] \quad (15)$$

$h_{вс}, h_{н}$  - высота всасывания и нагнетания насоса, [м]

либо

$$N_{пол} = Q_{нас} \times (p_m + p_v) \quad (16)$$

(если на входе в насос давление ниже атмосферного, а на выходе выше атмосферного)

2. Потребляемая мощность насоса:

$$N_{потр} = \frac{N_{пол}}{\eta} \quad (17)$$

$\eta$  - КПД насоса

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с.57-80**

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Почему потребляемая мощность насоса больше полезной?
2. Что такое потребный напор и располагаемый напор?

## Задача № 6

Насос подает жидкость из открытого резервуара в нагнетательный трубопровод. Расход жидкости  $Q$ , высота всасывания  $h_{вс}$ , показания манометра  $p_m$ , диаметры труб: всасывающей  $d_{вс}$ , нагнетательной -  $d_n$ . Определить какова полезная и действительная мощности насоса, если КПД насоса составляет  $\eta = 0,75$ , во всасывающем трубопроводе имеются вход во всасывающую коробку с обратным клапаном, фильтр для нефтепродуктов. Трубы стальные. Кинематическую вязкость жидкости принять равной  $\nu$ . Чему будет равна динамическая вязкость при тех же условиях?  $\xi_{o.кл} = 5$ ,  $\xi_{\phi} = 2$ .

Исходные данные задаче 6

Предпоследняя цифра варианта	Исходные параметры	Единицы измерения	Последняя цифра варианта									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	$d_{вс}$	м	0,057	0,076	0,089	0,114	0,125	0,159	0,219	0,273	0,325	0,426
	$d_n$	мм	40	57	76	89	114	125	159	219	273	325
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805
	$h_{вс}$	м	1	1,2	1,5	2	2,2	3	3,5	4	4,5	5
	$p_m$	МПа	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
	$\nu$	стокс	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
	$Q$	л/с	5,2	9	12	20	24	40	74	116	166	284
	$\Delta$	мм	0,001	0,002	0,003	0,004	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019
1	$d_{вс}$	мм	325	273	219	159	125	114	89	76	57	40
	$d_n$	м	0,273	0,219	0,159	0,125	0,114	0,089	0,076	0,057	0,04	0,032
	$\rho$	т/м <sup>3</sup>	0,96	0,965	0,97	0,975	0,98	0,985	0,99	0,995	1	0,74
	$h_{вс}$	см	100	300	200	400	500	100	200	300	400	500
	$p_m$	МПа	110	121	130	140	150	160	170	180	190	200
	$\nu$	стокс	6	5	4	3	2	1	0,9	0,8	0,7	0,6
	$Q$	л/с	17	12	8	4	24	2	1	1,1	5,5	3,3
	$\Delta$	мм	0,02	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,009	0,008	0,005	0,002
2	$d_{вс}$	м	0,04	0,057	0,076	0,089	0,114	0,125	0,159	0,219	0,273	0,325
	$d_n$	мм	32	40	57	76	89	114	125	159	219	273
	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	810	815	820	825	830	840	845	850	855	860
	$h_{вс}$	м	1,5	1	2,5	2	3,5	3	3,5	4,5	4	5
	$p_m$	МПа	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
	$\nu \times 10^{-6}$	м <sup>2</sup> /с	1	1,1	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18
	$Q$	л/с	2	3	5	9	11	19	23	38	70	110
	$\Delta$	мм	0,003	0,004	0,001	0,005	0,007	0,009	0,01	0,05	0,06	0,07
3	$d_{вс}$	мм	273	325	426	40	57	76	89	114	159	219
	$d_n$	м	0,219	0,273	0,325	0,032	0,04	0,057	0,076	0,089	0,114	0,159
	$\rho$	т/м <sup>3</sup>	0,910	0,915	0,920	0,925	0,930	0,935	0,94	0,945	0,95	0,955
	$h_{вс}$	дм	15	12	13	17	19	11	14	16	18	20
	$p_m$	МПа	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
	$\nu$	стокс	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	$Q$	л/с	1	2	3	3,3	5,5	1,6	12	2,4	5,7	6,4
	$\Delta$	мм	0,08	0,09	0,1	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,009	0,007

## Практические работы № 1.6, № 1.7.

### Расчет простого трубопровода Расчет сложного трубопровода

Цель: научиться строить гидравлическую характеристику отдельного трубопровода (6), а затем суммарную для 2-х участков, соединенных параллельно или последовательно (7).

#### Методические указания

Для построения  $h_1 = f(Q)$  потери напора определяются по формуле:

$$h_1 = \lambda \frac{l}{d} \frac{\omega^2}{2g}; [м] \quad (18)$$

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (19)$$

Задаваясь рядом значений  $Q = 0,01; 0,02; 0,04$  и т.д. Найти  $h_1$ .  
Для этого последовательно для каждого значения объемного расхода найти скорость движения жидкости,  $Re$ ,  $\lambda$ ,  $h_1$

Потери напора рассчитываются аналогично практическим работам 4 и 5.

По результатам строится гидравлическая характеристика 1-го и 2-го участка (на одной координатной сетке и в одинаковом масштабе), а затем суммарная, учитывая, что при последовательном соединении складываются потери напора, а при параллельном-объемные расходы.

Построение рекомендуется выполнять на формате А4 или на отдельном двойном тетрадном листе в клетку.

Гидравлическую характеристику удобно строить, предварительно составив таблицу, в одну из строк которой заносится объемный расход, а в другую-потери напора, соответствующие этому объемному расходу.

Последовательное соединение:



Параллельное соединение:



**Рекомендуемая литература: ОИ1, с.80-86**

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какой трубопровод называется простой, сложный, длинный, короткий?
2. Что называется гидравлической характеристикой трубопровода?
3. Какой вид имеет гидравлическая характеристика для ламинарного и турбулентного режимов?

### Задача №7

Построить характеристики 2-х отдельных участков труб и найти их суммарную характеристику: для **нечетных вариантов** – участки соединяются последовательно; для **четных** – параллельно, при условии что по трубопроводу транспортируется вода при температуре 20 °С (кинематическая вязкость воды при этой температуре составляет  $1,004 \times 10^{-6} \frac{м^2}{с}$ );

Исходные данные к задаче 7

№ вар.	$d_1$ <i>мм</i>	$d_2$ <i>мм</i>	$l_1$ <i>м</i>	$l_2$ <i>м</i>	$\delta_1$ , мм	$\delta_2$ , мм
1	200	400	20	15	0,15	0,30
2	100	200	20	10	0,15	0,25
3	150	300	30	20	0,10	0,10
4	200	300	40	30	0,15	0,20
5	400	500	50	30	0,25	0,35
6	500	750	70	40	0,35	0,40
7	100	200	100	80	0,35	0,30
8	50	150	70	60	0,30	0,25
9	125	250	150	100	0,40	0,35
10	100	150	125	100	0,35	0,25
11	200	250	80	70	0,25	0,20
12	300	400	60	40	0,25	0,30
13	400	750	40	30	0,35	0,40
14	100	300	50	60	0,45	0,40
15	200	300	30	40	0,20	0,30
16	300	500	40	60	0,30	0,35
17	400	500	40	60	0,40	0,45
18	350	450	50	30	0,20	0,15
19	400	500	20	10	0,10	0,15
20	500	700	30	20	0,15	0,20
21	100	125	40	30	0,25	0,30
22	150	175	30	20	0,35	0,40
23	200	250	40	40	0,45	0,50
24	250	300	50	50	0,50	0,60
25	30	400	30	20	0,10	0,20
26	450	500	30	30	0,30	0,40
27	500	600	40	45	0,35	0,40
28	300	500	50	60	0,40	0,30
29	200	400	70	80	0,25	0,80
30	150	300	100	110	0,30	0,40
31	200	300	20	30	0,20	0,25
32	250	350	30	40	0,30	0,40

## Практическая работа № 1.8

### Решение задач на гидроудар и сифонный трубопровод

Цели: 1. Знать формулы Жуковского для прямого и непрямого гидроудара.

2. Уметь определять вид гидроудара и повышения давления при нем.

#### Методические указания

1. Из уравнения неразрывности потока несжимаемой жидкости определить скорость движения жидкости;

2. Вычислить скорость распространения ударной волны, рассчитав предварительно модуль объемной упругости жидкости:

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{Kd}{E\delta}}}, \text{ м/с} \quad (20)$$

3. Рассчитать фазу гидравлического удара:

$$T = \frac{2 \cdot l}{C}, \text{ с} \quad (21)$$

4. Сравнить фазу гидравлического удара и время закрытия задвижки. Сделать вывод о характере гидроудара.

5. Найти повышение давления в зависимости от характера гидроудара:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v \quad (\text{для прямого гидроудара}) \quad (22)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $v$  - начальная скорость движения жидкости.

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v \cdot \frac{T}{t_3} \quad (\text{для непрямого гидроудара}) \quad (23)$$

Справочная информация: кинематическая вязкость воды при температуре 20 °С составляет  $1,004 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ , модуль упругости чугуна

120 ГПа, модуль упругости стали 200 ГПа, коэффициент объемного сжатия воды  $4,75 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ , коэффициент объемного сжатия нефти  $7,4 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ , кинематическая вязкость нефти при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  составляет  $55 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$ .

Далее, решаем задачу на расчет сифонного трубопровода.

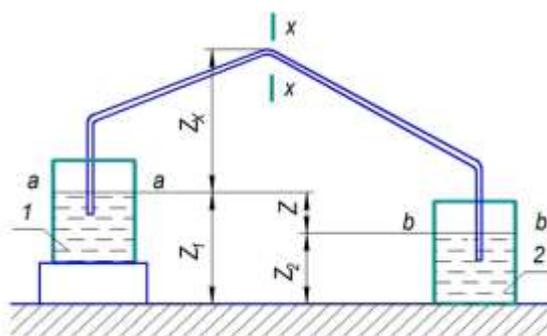


Рис.1. Схема устройства сифонного трубопровода

Сифонный трубопровод представляет собой короткий трубопровод, соединяющий питающий резервуар (а) и приемный резервуар (б), часть которого располагается выше уровня жидкости в резервуаре (а) (рис 1). Разность уровней жидкости в резервуарах равна  $Z$ . При возникновении в верхней части трубопровода давления меньше атмосферного создается разность давлений между атмосферным на поверхности жидкости питающего резервуара и вакуумметрическим давлением в верхней части сифона. За счет разности давлений при полном заполнении трубопровода сифона жидкость поднимается на высоту  $Z_x$  над уровнем в резервуаре (а), а затем перетекает в приемный резервуар. Для заполнения сифона применяют вакуумные насосы. Расчет осуществляется аналогично обычным трубопроводам с использованием уравнений гидродинамики. Сифонный трубопровод будет работать при условии неразрывности потока, то есть при условии, что минимальное давление в жидкости не будет ниже или равным давлению

насыщенных паров этой жидкости. В противном случае возникает кавитация – в жидкости образуются полости, заполненные парами этой жидкости и газами, растворенными в ней, жидкость «закипает», однородность нарушается.

Расход жидкости через сифон определяется по формуле

$$Q = \mu_c S \sqrt{2gH}, \quad (24)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $H$  – разность напоров в начальном и конечном сечении трубопровода (сечение **a-a** и **b-b** рис.1 соответственно),

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{\ell}{d} + \Sigma \zeta}}. \quad (25)$$

Разность напоров определяется с того, что давление в сечениях **a-a** и **b-b** равны атмосферному, а также с учетом потерь напора в трубопроводе и разности геометрических уровней сечений **a-a** и **b-b**. Вакуумметрический напор в сечении **x-x** находят по формуле

$$H_{\text{вак}} = Z_x + \frac{v^2}{2g} \left( 1 + \lambda \frac{\ell_x}{d} + \Sigma \zeta_x \right), \quad (26)$$

где  $\ell_x$  – расстояние между сечениями.

Тогда, с учетом того, что  $H_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{вак}}}{2g}$  можно найти давление вакуума в сечении **x-x**. Если абсолютное давление в сечении **x-x** окажется ниже или равно давлению насыщенных паров, жидкость начнет выделять растворенный в ней газ и пузырьки пара, расход резко уменьшится, и работа трубопровода нарушится.

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с. 154 – 159**

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Чем отличается прямой гидроудар от непрямого?
2. Что называется фазой гидроудара?
3. Назовите способы уменьшения гидроудара?

## Задача № 8

Определить вид гидроудара и максимальное повышение давления при нем, если: (четный вариант) в стальной трубе движется нефть; (нечетный вариант) в чугунной трубе движется пресная вода. Задвижка расположена на расстоянии 6,5 км (**четный вариант**) и 7,3 км (**нечетный вариант**) от начала трубопровода. Жидкости перемещаются при температуре 20 °С.

Исходные данные к задаче 8

Вариант	d мм	Q л/с	Δ мм	τ <sub>закр</sub> сек	ρ кг/м <sup>3</sup>	l, км
1	50	2	3	8	1000	100
2	219	30	4	9	900	110
3	65	2,2	5	10	1000	20
4	273	33	6	11	910	130
5	75	2,4	3	12	1000	140
6	325	35	8	13	920	145
7	100	3	6	14	1000	150
8	377	40	4	15	930	155
9	125	3	7	10	1000	150
10	426	45	8	11	940	145
11	150	4	7	12	1000	140
12	539	50	4	13	950	135
13	175	10	7	14	1000	130
14	630	54	9	15	960	125
15	200	20	7	20	1000	120
16	720	55	10	18	950	115
17	50	2,5	4	17	1000	110
18	630	50	5	16	940	105
19	65	2,7	3	15	1000	100
20	525	45	10	14	930	95
21	75	3	5	13	1000	90
22	426	48	6	12	920	85
23	100	5	7	11	1000	80
24	377	45	7	10	910	75
25	125	6	6	9	1000	70
26	325	40	5	8	900	65
27	150	8	6	7	1000	100
28	273	30	4	6	890	105
29	200	15,0	6	5	1000	110
30	219	38	7	4	880	115

### Задача №9.

Сифонная труба обеспечивает перекачку жидкости из резервуара 1 в резервуар 2 (рис. 1). Длина трубы от сечения а-а до сечения b-b L. Длина отрезка трубы от сечения **а-а** до сечения **х-х**  $l_x$ , диаметр трубы D. Расстояния от плоскости сравнения и от уровня свободной поверхности жидкости в питающем резервуаре до центра живого сечения **х-х** согласно рис. 1 -  $Z_x$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  соответственно, разность уровней поверхностей в питающем и приемном резервуарах Z. Определить будет ли данный сифонный трубопровод работоспособен, если давление насыщенных паров жидкости плотностью  $\rho$  составляет p. Коэффициенты местных сопротивлений принять равными: для закруглений над сечениями **а-а** и **б-б** – 0,16; для закругления в сечении **х-х** – 0,29, для входа с острыми краями - 0,5; для выхода под уровень – 1,0; коэффициент гидравлического сопротивления принять равным 0,0225. Режим движения считать турбулентным ( $\alpha_a = \alpha_b = 1$ ). Атмосферное давление принять равным 760 мм.рт.ст. Указание: скорость в сечении **а-а** много меньше скорости в течении **х-х**

Данные к задаче 9

№ вар.	L, м	$\ell_x$ , м	D, см	Z <sub>x</sub> см	Z <sub>1</sub> см	Z <sub>2</sub> см	Z см	$\delta$ мм	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	p, бар
1.	200	20	10	300	1000	500	500	0,001	0,76	0,9
2.	190	15	11	250	900	350	550	0,03	0,998	0,91
3.	180	15	12	240	800	230	570	0,04	1,2	0,92
4.	170	28	9	270	700	120	580	0,09	1,12	0,93
5.	160	20	8	390	950	360	590	0,08	1,1	0,94
6.	150	10	7	380	750	190	560	0,1	0,76	0,95
7.	140	30	10	300	850	310	540	0,12	0,775	0,96
8.	130	20	11	250	650	160	490	0,14	0,92	0,97
9.	120	10	12	240	686	246	440	0,16	0,88	0,98
10.	110	0	9	270	700	270	430	0,18	0,936	0,99
11.	100	30	8	390	950	480	470	0,2	0,885	1
12.	195	14	7	380	750	250	500	0,22	0,998	1,01
13.	185	20	10	300	850	300	550	0,24	1	1,02
14.	175	35	11	250	650	80	570	0,26	1,1	1,03
15.	165	25	12	240	686	106	580	0,28	1,12	1,04
16.	155	25	9	270	700	110	590	0,3	0,76	1,05
17.	145	5	8	390	950	390	560	0,08	0,998	1,02
18.	135	25	7	380	750	210	540	0,1	1,2	1,03
19.	125	15	10	300	850	360	490	0,12	1,12	1,02
20.	115	5	11	250	650	210	440	0,14	1,1	1,03
21.	105	20	12	240	686	256	430	0,16	0,76	0,91
22.	130	20	9	270	700	230	470	0,18	0,775	0,92
23.	120	20	8	390	950	450	500	0,2	0,92	0,93
24.	110	9	7	380	750	200	550	0,22	0,88	0,94
25.	100	9	10	300	850	280	570	0,24	0,936	0,95
26.	195	25	11	250	650	70	580	0,26	0,885	0,96
27.	185	35	12	240	686	96	590	0,28	0,998	0,97
28.	175	10	9	270	700	140	560	0,3	1	0,98
29.	165	25	8	390	950	410	540	0,08	1,1	0,99
30.	155	15	7	380	750	260	490	0,1	1,12	1

## Практическая работа № 1.9

### Решение задач на фильтрации и определения дебита скважины

- Цели: 1. Знать основной закон фильтрации – закон Дарси  
2. Определить дебит скважины по формуле Дюпюи.

#### Методические указания

1. Объемный дебит скважины:

$$Q = \frac{2\pi Kh}{\mu} \cdot \frac{P_{пл} - P_z}{\ln \frac{R_k}{R_c}}, \frac{м^3}{с} \quad (27)$$

Где  $K$  – проницаемость грунта,  $м^2$

$\mu$  – динамическая вязкость,  $Па \cdot с$

$R_c$  - радиус скважины,  $м$

$P_{пл}, P_z$  - пластовое и забойное давление,  $Па$

$h$  – мощность пласта,  $м$

2. Массовый дебит скважины:

$$Q_m = Q \cdot \rho, \frac{кг}{с} \quad (28)$$

Рекомендуемая литература: ОИ1, с. 205 – 209

#### Вопросы для самоконтроля

1. В чем различия между напорной и безнапорной фильтрацией?
2. Запишите основной закон фильтрации – закон Дарси?
3. Как определить суточный дебит скважины?

## Задача № 10

Определить насосный дебит скважин, если мощность пласта ( $h$ ), проницаемость пласта ( $K$ ), диаметр скважины ( $d$ ), радиус контура питания ( $R_k$ ), пластовое давление ( $P_{пл}$ ), забойное давление ( $P_z$ ), при плотности нефти ( $\rho$ ) и динамической вязкости ( $\mu$ )

### Исходные данные к задаче 10

Вариант	$d$ мм	$h$ м	$R_k$ м	$K$ мД	$P_{пл}$ атм	$P_z$ атм	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	$\mu$ сПз
1	168	2,6	320	94	120	78	845	2,8
2	172	2,5	310	90	110	70	850	2,9
3	150	2,6	305	89	100	75	860	3,0
4	152	2,7	300	88	110	70	870	3,1
5	156	2,8	290	87	120	80	880	3,2
6	160	2,9	300	86	130	90	890	3,3
7	170	3,0	310	85	140	100	900	3,4
8	172	3,1	320	86	150	110	910	3,5
9	174	3,2	330	87	160	105	920	3,6
10	176	3,3	340	88	150	110	930	3,7
11	178	3,4	350	89	140	100	940	3,8
12	180	3,5	360	90	130	90	930	3,7
13	160	3,6	370	91	120	80	920	3,6
14	164	3,7	380	92	110	70	910	3,5
15	166	3,8	390	93	100	60	900	3,4
16	168	4,0	400	94	90	50	890	3,3
17	170	3,9	410	95	80	60	880	3,2
18	172	3,7	420	96	70	50	870	3,1
19	174	3,5	430	97	90	60	860	3,0
20	176	3,3	420	98	100	70	850	2,9
21	178	3,1	410	99	110	80	840	3,0
22	180	2,9	400	100	120	90	830	2,9
23	142	2,7	405	99	100	70	820	2,8
24	144	2,5	410	98	90	50	810	2,7
25	146	2,3	415	97	80	40	800	2,6
26	148	2,5	400	96	70	30	790	2,5
27	150	2,6	390	95	80	50	780	2,4
28	156	2,7	380	94	90	60	770	2,3
29	158	2,8	370	93	100	70	760	2,4
30	160	2,9	360	92	110	80	750	2,5

## Практическая работа № 1.10

### Расчет неньютоновских жидкостей

- Цели: 1. Знать режимы движения неньютоновских жидкостей  
2. Уметь определять обобщенное число Re

#### Методические указания

1. Необходимый перепад давления:

$$\Delta P_0 = 4\tau_0 \frac{l}{d}, \text{ Па} \quad (29)$$

2. Обобщенное число Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{1}{\frac{\mu}{\rho \cdot u \cdot d} + \frac{\tau_0}{6 \cdot \rho \cdot u^2}} \quad (30)$$

(где  $u$  – средняя скорость потока)

3. Если  $Re^* < 80$ , – режим ламинарный,  
Если  $Re^* > 1000$ , – турбулентный,  
Если  $80 < Re^* < 1000$ , – структурный.

**Рекомендуемая литература: ОИ1, с.214-220**

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Приведите примеры неньютоновских жидкостей.
2. Что называется центральным ядром жидкости ?
3. Как определить расход при движении вязкой жидкости ?

#### Задача № 10

1. Определить необходимый перепад давления для приведения в движение глинистого раствора, заполняющего трубу ( $d$ ) и длиной ( $l$ ), плотностью ( $\rho$ ), начальное напряжение сдвига ( $\tau_0$ ), отметка конечной точки ( $Z_k$ ), начальное ( $Z_n$ ), расход ( $Q$ ).
2. Найти обобщенное число Re.

№ вар	d, мм	l, м	P кг/м <sup>3</sup>	$\tau_0$ Па	$\Delta Z$	$\mu$			Q		
						сПз	Пз	Па·с	л/мин	дм <sup>3</sup> /с	л/с
1	75	180	1400	22	26	6			240		
2	80	150	1325	13.5	6		0,7			3,5	
3	100	600	1200	16	15			0,015			3,7
4	125	700	1440	20	10	7			300		
5	1500	1000	1200	18	12		0,8			3,6	
6	200	900	1150	20	10			0,016	200		
7	250	800	1140	19	8	4,5					4,0
8	300	700	1130	20	6		0,75			5,0	
9	350	600	1145	19	4	5,0			220		
10	250	500	1250	18	2		0,80				3,8
11	200	400	1300	17	3			0,017		4,5	
12	150	300	1400	16	5		0,85		210		
13	125	200	1385	15	7	6,0					3,3
14	100	150	1390	14	9		0,75			4,4	
15	85	100	1400	13	10		0,70		230		
16	75	150	1390	12	8	7,0					3,5
17	75	175	1380	10	6		0,65			4,2	
18	85	200	1375	12	4			0,016	200		
19	100	220	1360	13	2	4,5					3,3
20	125	240	1350	14	0		0,7			4,0	
21	150	260	1345	15	3			0,015	260		
22	200	280	1350	16	5	4,0					4,0
23	250	300	1300	17	7		0,75			3,6	
24	300	320	1200	18	9			0,016	250		
25	300	340	1250	19	11	3,5					4,2
26	250	360	1270	20	12		0,8			3,4	

27	200	380	1280	19	10		0,85		240		
28	175	400	1300	19	8	4,0					4,1

## **4. Список рекомендуемой литературы**

### **Основные источники (ОИ)**

**ОИ 1.** Брюханов, О.Н. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики [Электронный ресурс]: учебник / О.Н. Брюханов, В.И. Коробко, А.Т. Мелик-Аракелян. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 254с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1004670> (ЭБС Znanium)

### **Дополнительные источники (ДИ)**

**ДИ 1.** Гидравлика, пневматика и термодинамика [Электронный ресурс]: курс лекций /под ред. В.М. Филина. – Москва: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2018- 318 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/957143> (ЭБС Znanium)

### **Интернет-ресурсы (И-Р)**

**И-Р 1.** <http://mosgruz.net>

**И-Р 2.** <http://gidrav1.com>

**И-Р 3.** <http://stringer46.narod.ru/>

**И-Р 4.** <http://works.tarefer.ru/81/100019/index.html>

**И-Р 5.** <http://znanium.com>(ЭБС Znanium)

**И-Р 6.** <http://e.lanbook.com>(ЭБС Лань)