

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра " Гидравлика и гидромашины "

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к самостоятельной работе студентов
специальности 130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений» по изучению дисциплины
«Гидрогазодинамические расчеты в нефтегазовом деле»

Уфа 2009

Даны программа и методические указания по изучению разделов курса «Гидрогазодинамические расчеты в нефтегазовом деле», задания расчетно-графических работ и правила их оформления, список рекомендуемой литературы.

Составитель Ширгазина Р.З., доц.

Рецензент Чеботарев В.В., доц.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Студенты-заочники специальности 130503 изучают дисциплину «Гидрогазодинамические расчеты в нефтегазовом деле» в процессе 5-го года обучения (весенний семестр). При изучении соблюдается связь с дисциплинами "Высшая математика", "Физика", при гидравлических расчетах происходит знакомство со стержневыми проблемами гидравлики, базовыми положениями расчета потерь энергии при транспортировке жидкостей и газов, навыками и понятиями основ гидравлических расчетов. Целью изучения дисциплины является образование необходимой начальной базы знаний по объектам будущей профессиональной деятельности выпускника (бурение и эксплуатация скважин, разработка нефтяных и газовых месторождений, трубопроводный транспорт и хранение нефти и газа), а также по видам деятельности: проектная, производственно-технологическая, научно-исследовательская.

Изучение курса формирует у студента знания по расчету трубопроводных систем, перекачивающих ньютоновские и неньютоновские жидкости, в том числе жидкости, содержащие твердые взвеси, газы и т.д.

Студенты-заочники самостоятельно осваивают основы курса и выполняют два домашних задания. Из 66 часов трудоемкости дисциплины 8 часов составляют установочные лекции и практические занятия, 58 – самостоятельное изучение теоретического материала и выполнение расчетно-графических работ.

2 ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ УСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения содержания дисциплины студент должен знать:

- основные зависимости и графики расчета простых трубопроводов при транспорте ньютоновских и неньютоновских жидкостей;
- правила расчета сложных трубопроводов с применением лупингов и вставок; с концевой раздачей, кольцевых, разветвленных и т.д.;

- основные зависимости расчета газопроводов;
- основные законы движения двухфазных жидкостей;
- законы движения жидкости в кольцевых цилиндрических каналах.

Студент должен уметь:

- решать задачи расчета простых трубопроводов (аналитически и графически) для транспорта ньютоновских жидкостей;
- рассчитывать сложные трубопроводы;
- рассчитывать трубопроводы для транспорта вязко-пластичных жидкостей;
- выполнять расчеты напорного и безнапорного движения жидкости в плоских и кольцевых зазорах;
- выполнять расчеты неизотермических трубопроводов.

3 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

Раздел 1. Расчет простого трубопровода

Лекция 1. Простой трубопровод. Три задачи расчета простого трубопровода, основные зависимости и уравнения. Гидравлическая характеристика трубопровода. График характеристики. Потребный напор. График потребного напора.

Раздел 2. Расчет сложных трубопроводов

Лекция 2. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов. Лупинги и вставки. Гидравлическая характеристика трубопровода при последовательном соединении, при параллельном соединении. Графическое представление характеристики. Расчет трубопроводов с путевым отбором (притоком). Трубопроводы с концевой раздачей.

Раздел 3. Расчет трубопроводов при течении неьютоновской жидкости

Лекция 3. Аномально-вязкие жидкости. Стационарное течение несжимаемой вязко-пластичной жидкости в трубопроводе. Ламинарный и структурный режимы движения, формула Букингама. Коэффициент гидравлического сопротивления при различных режимах течения вязко-пластичной жидкости.

Примерные темы практических занятий:

1 *Построение характеристики простого трубопровода.*

Построение характеристики трубопровода со вставкой или с лупингом (1ч).

2 *Стационарное течение вязко-пластичной жидкости (1ч).*

4 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ РАЗДЕЛОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Раздел 1. *Расчет сифонных трубопроводов. Всасывающие линии насосных установок. Кавитация в трубопроводах и меры ее предупреждения.*

Раздел 2. *Расчет течения жидкости под действием перепада давления в плоских и кольцевых щелях. Фрикционное безнапорное течение. Движение жидкости в зазоре между поршнем и цилиндром.*

Раздел 3. *Стационарное течение вязко-пластичной жидкости в трубах кольцевого сечения. Ламинарный и структурный режимы течения. Определение коэффициента гидравлических сопротивлений.*

Раздел 5. *Расчет изотермических и неизотермических газопроводов при установившемся движении. Расчет давления в коротких и длинных газопроводах. Уравнение сохранения энергии для неизотермического течения газа. Приближенные решения.*

Раздел 6. *Неустановившееся движение жидкости и газа, примеры. Прямой гидравлический удар в трубопроводах, скорость распространения*

ударной волны. Формула Жуковского. Виды гидравлических ударов. Способы снижения ударного давления.

Раздел 7. Особенности перекачки газожидкостных смесей. Оценка потери напора на трение. Основные законы и особенности расчета трубопроводов, перекачивающих суспензии. Относительное движение жидкости и твердого тела, общие понятия. Осаждение твердых частиц. Критическая скорость. Коэффициент сопротивления.

Предусмотрено выполнение двух расчетно-графических работ на темы:

Расчет простого трубопровода.

Расчет сложного трубопровода.

5 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Страницы текста и приложений должны соответствовать формату А4 (210 x 297). Выполнение РГР осуществляется машинописным способом на одной стороне листа белой бумаги через 1,5 интервала, шрифт 14 Times New Roman, 57-60 знаков в строке, 28-30 строк на странице.

Текст РГР следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: левое - не менее 30 мм, правое - не менее 10 мм, верхнее - не менее 15 мм, нижнее - не менее 20 мм. При выполнении РГР необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения, линии, буквы, цифры и знаки должны быть четкими, одинаково черными по всему тексту. Заголовки структурных элементов РГР и разделов основной части следует располагать в середине строки без точки в конце и печатать прописными буквами, не подчеркивая. От текста заголовки отделяются сверху и снизу тремя интервалами. Заголовки подразделов и пунктов следует начинать с абзацного отступа и печатать с прописной буквы вразрядку, не подчеркивая, без точки в конце. Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Страницы РГР должны быть пронумерованы, при этом на титульном листе номер страницы не ставится.

Страницы РГР должны быть скомпонованы в следующем порядке:

Титульный лист

Оглавление

Задание на РГР

Условие задачи

Решение с пояснениями

Заключение (выводы излагаются в логичной форме)

Список использованной литературы

Приложения (если таковые имеются)

Листы РГР должны быть скреплены надлежащим образом. Допускается брошюровка, скрепление скоросшивателем, использование папок с файлами.

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР №1

Расчет простого трубопровода

Возможные задачи на расчет простого трубопровода следующие.

Задача 1. Исходные данные: расход жидкости, давление в конце трубопровода, свойства жидкости, размеры трубопровода, материал и качество поверхности трубы (шероховатость). *Найти потребный напор.*

Задача 2. Исходные данные: располагаемый напор, свойства жидкости, размеры и шероховатость трубопровода. *Найти расход.*

Задача 3. Исходные данные: расход, располагаемый напор, свойства жидкости, длина трубопровода, шероховатость поверхности трубы. *Найти диаметр трубопровода.*

Решение задачи 1

Пусть простой трубопровод постоянного сечения расположен произвольно в пространстве, имеет участки длиной l_1, l_2, l_3 и диаметр d , содержит ряд местных сопротивлений. В начальном сечении (1-1)

геометрическая высота z_1 и избыточное давление P_1 , а в конечном сечении (2-2) - соответственно z_2 и P_2 (рисунок 1).

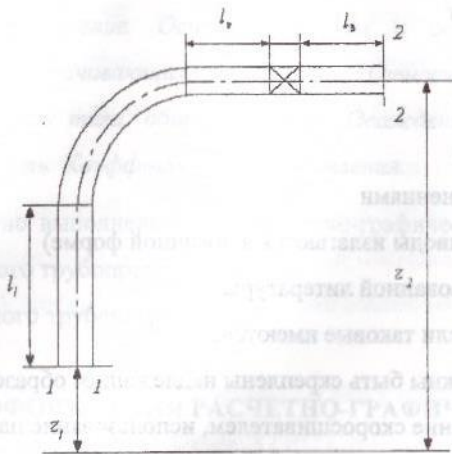


Рисунок 1

Запишем уравнение Бернулли для сечений 1.1 и 2.2:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum h_{1-2} \quad (1)$$

и уравнение неразрывности

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (2)$$

Считая $\alpha_1 = \alpha_2$, исключая скоростные напоры, получим

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h_{1-2} \quad (3)$$

где $\sum h_{1-2}$ - суммарные потери напора, определяемые по формуле Дарси-Вейсбаха.

Потребным напором называют пьезометрическую высоту в начале трубопровода, т.е.

$$H_{\text{потр}} = \frac{P_1}{\rho g} \quad (4)$$

Статическим напором называют сумму

$$H_{\text{ст}} = \Delta z + \frac{P_2}{\rho g}, \quad (5)$$

где $\Delta z = z_2 - z_1$.

Таким образом, потребный напор

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \sum h_{1-2} \quad (6)$$

Для простого трубопровода из уравнения неразрывности следует, что средняя скорость потока в сечениях одинакова, т.е. $v_1 = v_2 = v$.

По формуле Дарси-Вейсбаха потери напора

$$\sum h_{1-2} = \left(\lambda \frac{l_1 + l_2 + l_3}{d} + \sum \xi_i \right) \frac{v^2}{2g} \quad \text{или} \quad (7)$$

$$\sum h_{1-2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right) \frac{v^2}{2g}$$

Подставляя (7) в (6), получим

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_i \right) \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления λ зависит от числа

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad \text{и от относительной шероховатости трубы } \varepsilon = \frac{\Delta_s}{d}$$

Для ламинарного режима, т.е. $Re < 2320$,

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

Для турбулентного режима в зоне гладкого трения, т.е. $Re < \frac{500}{\varepsilon}$,

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

Для турбулентного режима в зоне шероховатого трения, т.е. $Re > \frac{500}{\varepsilon}$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)^{0,25}$$

Можно вычислить λ по обобщенной формуле Альтшуля

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

Уравнением трубопровода или характеристикой трубопровода называют зависимость потребного напора от расхода. Поэтому, выражая среднюю скорость через расход $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$, подставляя в уравнение (8), получим уравнение трубопровода:

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_i\right) \frac{8}{g\pi^2 d^4} Q^2. \quad (9)$$

Можно заменить эквивалентной длиной $l_{\text{экв}} = \frac{d \sum \zeta}{\lambda}$ местные потери и ввести расчетную длину $l_{\text{расч}} = l + l_{\text{экв}}$. При этом уравнение (9) запишется в виде

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \lambda \frac{l_{\text{расч}}}{d} \frac{8}{g\pi^2 d^4} Q^2. \quad (10)$$

График потребного напора строим по зависимости (10) (рисунок 2). Очевидно, что для турбулентного режима в зоне шероховатого трения, т.е. при $Re > \frac{500}{\varepsilon}$, коэффициент Дарси λ не зависит от числа Рейнольдса, график является параболой (рисунок 2).

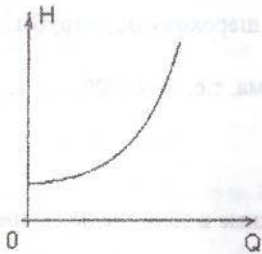


Рисунок 2 - Зависимость потребного напора от расхода при турбулентном автомодельном режиме; $H_{\text{ст}} > 0$, т.е. $z_2 > z_1$

Из графика по заданному расходу определяем потребный напор. Для ламинарного течения, подставляя $\lambda = \frac{64}{Re} = 16 \frac{\pi d v}{Q}$, в уравнение (10), получим линейную зависимость потребного напора от расхода

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + \frac{128\nu l_{\text{расч}}}{g\pi d^4} Q. \quad (11)$$

График потребного напора по зависимости (11) изображен на рисунке 3.

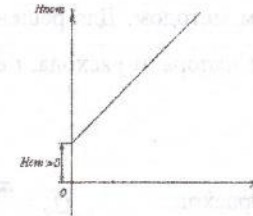


Рисунок 3 - Зависимость потребного напора при ламинарном режиме;

$$H_{\text{ст}} > 0, \text{ т.е. } z_2 > z_1$$

Потребный напор определяется из графика по заданному расходу.

Из уравнения (4) очевидно, что в начале трубопровода давление $P_1 = \rho g H_{\text{потр}}$.

Порядок вычислений:

- вычислить статический напор, зависимость (5);
- вычислить среднюю скорость течения;
- вычислить число Рейнольдса;
- определить режим течения;
- вычислить коэффициент гидравлического сопротивления в соответствии с режимом;
- вычислить потребный напор;
- вычислить давление в начале трубопровода.

Для построения характеристики:

- вычислить потребный напор в таком же порядке, задавая другие значения расходов;

- записать вычисленные значения в таблицу;
- построить график потребного напора в зависимости от расхода.

Решение задачи 2. Задачу 2 можно решить методом последовательных приближений или графическим методом. Для решения графическим способом строят зависимость потребного напора от расхода, т.е. $H_{\text{потр}}(Q)$.

Порядок вычислений:

- вычислить критический расход $Q_{\text{кр}} = \frac{\pi d v \text{Re}_{\text{кр}}}{4}$, соответствующий критическому числу Рейнольдса $\text{Re}_{\text{кр}} = 2320$;
- вычислить критический напор $H_{\text{кр}} = H_{\text{см}} + \frac{128 v l_{\text{расч}}}{g \pi d_{\text{кр}}^4} Q$;
- определить режим течения: если заданный $H_{\text{расп}} < H_{\text{кр}}$, имеет место ламинарный режим, если наоборот – турбулентный;
- вычислить значения скорости течения v , числа Рейнольдса Re , коэффициента гидравлического сопротивления λ и потребного напора $H_{\text{потр}}$, задавая значения $Q < Q_{\text{кр}}$ при ламинарном и $Q > Q_{\text{кр}}$ при турбулентном режимах;
- записать вычисленные значения в таблицу;
- построить график потребного напора в зависимости от расхода, $H_{\text{потр}}(Q)$;
- определить из графика расход по заданному значению потребного напора.

Решение задачи 3. Задачу также можно решить методом последовательных приближений или графическим способом. Для решения графическим способом строят зависимость потребного напора от диаметра, т.е. $H_{\text{потр}}(d)$.

Порядок вычислений:

- вычислить из выражения $\text{Re} = \frac{4Q}{\pi d v}$ значение диаметра, $d_{\text{кр}} = \frac{4Q}{\pi v \text{Re}_{\text{кр}}} = \frac{4Q}{\pi v 2320}$, соответствующее критическому числу Рейнольдса;
- вычислить соответствующее значение напора из уравнения (11), т.е. критический напор $H_{\text{кр}} = H_{\text{см}} + \frac{128 v l_{\text{расч}}}{g \pi d_{\text{кр}}^4} Q$;
- определить режим течения: если располагаемый напор меньше критического напора, т.е., если $H_{\text{расп}} < H_{\text{кр}}$, режим течения ламинарный, если наоборот – турбулентный;
- вычислить диаметр из уравнения (11), если режим ламинарный;
- вычислить значения скорости течения v , числа Рейнольдса Re , коэффициента гидравлического сопротивления λ и потребного напора $H_{\text{потр}}$, задавая значения $d < d_{\text{кр}}$ при турбулентном режиме;
- записать вычисленные значения в таблицу;
- построить график потребного напора в зависимости от диаметра, $H_{\text{потр}}(d)$;
- определить из графика диаметр по заданному значению потребного напора;
- выбрать больший стандартный диаметр;
- вычислить для уточнения $H_{\text{потр}}$ по выбранному стандартному диаметру.

Решение задачи 1 при перекачке вязко-пластичной жидкости (ВПЖ)

Пусть по простому трубопроводу диаметром d , длиной l , шероховатостью Δ перекачивают ВПЖ. Расход жидкости Q , давление в конце трубопровода P_2 , разность геометрических отметок начала и конца трубопровода Δz . Физические свойства жидкости: коэффициент структурной вязкости η , плотность ρ , предельное напряжение сдвига τ_0 . *Найти давление в начале трубопровода.*

Порядок вычислений:

- вычислить среднюю скорость потока;
- вычислить параметр Сен-Венана, $Sen = \frac{\tau_0 d}{\eta v}$;
- вычислить обобщенный параметр Рейнольдса, $Re^* = \frac{Re}{1 + \frac{Sen}{6}}$, где $Re = \frac{\rho d v}{\mu}$;
- определить режим течения;
- вычислить коэффициент гидравлического сопротивления;
- вычислить статический напор, зависимость (5);
- вычислить потребный напор;
- вычислить давление в начале трубопровода.

Некоторые формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления в зависимости от режима течения вязко-пластичной жидкости:

Условие	Режим течения	Формула
$Re^* < 2000$	ламинарный	$\lambda = 64 / Re^*$
$2000 < Re^* < 40000$	турбулентный	$\lambda = 0,08 / \sqrt[3]{Re^*}$ или $\lambda = 0,075 / \sqrt[3]{Re^*}$
$Re^* > 50000$	турбулентный	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,2 \lg(Re^* \sqrt{\lambda}) + 3,0$

Задание на РГР №1. Получить формулы гидравлического расчета простого трубопровода. Выполнить следующие расчеты: 1) вычислить потребный напор (таблица 1), построить график характеристики трубопровода и график потребного напора; 2) вычислить диаметр трубопровода (таблица 2), построить график характеристики трубопровода и график потребного напора;

Таблица 1- Варианты заданий по РГР №1

Номер варианта	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$v, \text{ Ст}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$l, \text{ м}$	$d, \text{ мм}$	$\Delta, \text{ мм}$	$P_2, \text{ МПа}$	$\Delta z, \text{ м}$
1	100	1,11	871	2000	100	0,1	0,10	2
2	120	1,22	872	2200	120	0,2	0,12	2
3	130	1,33	873	2400	130	0,3	0,13	3
4	140	1,44	874	2600	140	0,4	0,14	3
5	150	1,55	875	2800	150	0,5	0,15	4
6	160	1,66	876	3000	160	0,6	0,16	4
7	170	1,77	877	3200	170	0,7	0,17	5
8	180	1,88	878	3400	180	0,8	0,18	5
9	190	1,99	879	3600	190	0,9	0,19	6
10	200	2,0	880	3800	210	1,0	0,10	7
11	210	1,11	881	4000	211	0,11	0,11	7
12	220	1,12	882	4200	212	1,12	0,12	2
13	230	1,13	883	4400	213	0,13	0,13	2
14	240	1,14	884	4600	214	0,14	0,14	3
15	250	1,15	885	4800	215	0,15	0,15	3
16	260	1,16	886	5000	216	0,16	0,06	6
17	270	1,17	887	5100	217	0,17	0,07	7
18	280	1,18	888	5200	218	0,18	0,08	-6
19	150	1,55	875	2800	150	0,5	0,15	4
20	160	1,66	876	3000	160	0,6	0,16	4
21	170	1,77	877	3200	170	0,7	0,17	5
22	180	1,88	878	3400	180	0,8	0,18	5
23	190	1,99	879	3600	190	0,9	0,19	6
24	200	2,00	880	3800	210	1,0	0,10	7

Таблица 2 - Варианты заданий по РГР №1

Номер варианта	Q , м ³ /ч	v , Ст	ρ , кг/м ³	l , м	Δ , мм	P_2 , МПа	Δz , м	$H_{\text{пор}}$, м
1	260	1,16	886	5000	0,16	0,16	4	216
2	270	1,17	887	5200	0,17	0,17	4	227
3	280	1,18	888	5400	0,18	0,18	5	238
4	290	1,19	889	5600	0,19	0,19	5	249
5	320	1,20	890	5800	0,20	0,20	6	220
6	321	1,21	891	6000	0,21	0,21	6	228
7	322	1,22	892	6200	0,22	0,22	-2	222
8	323	1,23	893	6400	0,23	0,23	-3	220
9	324	1,24	894	6600	0,24	0,24	-4	224
10	325	1,25	895	6800	0,25	0,25	-5	225
11	326	1,26	896	7000	0,26	0,26	-6	226
12	327	1,27	897	7200	0,27	0,27	-7	234
13	331	1,28	898	7400	0,28	0,28	-8	236
14	314	1,29	899	7600	0,29	0,29	-9	229
15	335	1,30	900	7800	0,30	0,30	-10	230
16	346	1,29	899	7600	0,29	0,29	-6	226
17	337	1,07	887	7170	0,30	0,27	7	217
18	338	1,08	881	7180	0,18	0,28	8	228
19	321	1,21	891	6000	0,21	0,21	6	228
20	322	1,22	892	6200	0,22	0,22	-2	222
21	323	1,23	893	6400	0,23	0,23	-3	220
22	324	1,24	894	6600	0,24	0,24	-4	224
23	325	1,25	895	6800	0,25	0,25	-5	225
24	326	1,26	896	7000	0,26	0,26	-6	226

7 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР №2

Расчет сложного трубопровода

Рассмотрим пример расчета разветвленного трубопровода.

Задача 1. Резервуары 1, 2 и 3 соединены одинаковыми стальными трубами длиной $l = 8$ м, диаметром $d=20$ мм и шероховатостью $\Delta= 0,1$ мм (рисунок 4). Определить напор воды H_1 в резервуаре 1 и расходы воды, поступающие в резервуары 2 и 3, если разность напоров в этих резервуарах $H_2 = 3$ м и расход в первой трубе $Q_1 = 1,2$ л/с. Построить также график потребного напора для первой трубы. Местными потерями напора пренебречь.

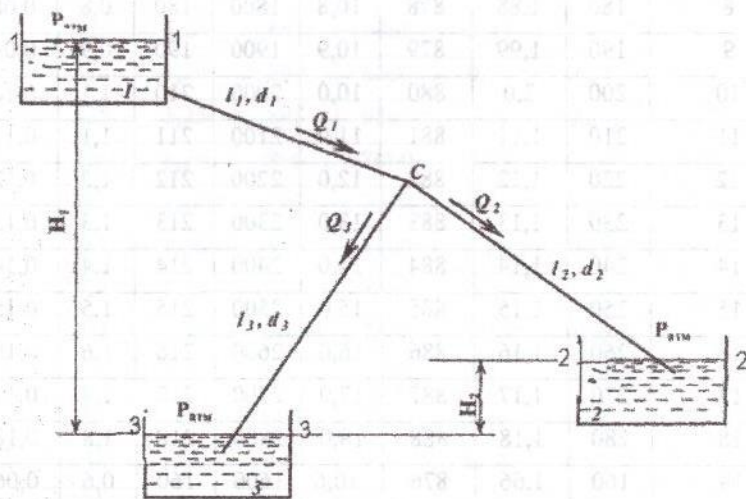


Рисунок 4

Решение. Запишем уравнения Бернулли для сечений 1-1 и С-С; 2-2 и С-С; 3-3 и С-С соответственно

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_c + \frac{P_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + \sum h_{c-1}, \quad (1)$$

$$z_c + \frac{P_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum h_{c-2}, \quad (2)$$

$$z_c + \frac{P_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} = z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + \sum h_{c-3}, \quad (3)$$

где $z_1 = H_1$, $z_2 = H_2 = 3$ м, $z_3 = 0$.

Пренебрегая скоростными напорами и учитывая, что $P_1 = P_2 = P_3 = P_{атм}$, $\sum h_{c-1} = h_{мп1}$, $\sum h_{c-2} = h_{мп2}$, $\sum h_{c-3} = h_{мп3}$, систему уравнений (1) получим в виде:

$$\text{для 1-й трубы} \quad H_c = H_1 - h_{мп1} = H_1 - \lambda_1 \frac{l}{d} \frac{v_1^2}{2g}; \quad (4)$$

$$\text{для 2-й трубы} \quad H_c = H_2 + h_{мп2} = H_2 + \lambda_2 \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g}; \quad (5)$$

$$\text{для 3-й трубы} \quad H_c = h_{мп3} = \lambda_3 \frac{l}{d} \frac{v_3^2}{2g}. \quad (6)$$

Уравнение баланса расходов: $Q_1 = Q_2 + Q_3$.

Статический напор в сечении С-С

$$H_c = z_c + \frac{P_c}{\rho g}, \text{ где } P_c - \text{избыточное давление.}$$

Рассмотрим графическое решение задачи.

Задавая значения расходов, вычисляем ряд значений $H_c(Q)$ для всех труб, т.е. $H(Q_1)$, $H(Q_2)$, $H(Q_3)$.

Результаты вычислений записываем в таблицу, например:

Q, л/с	Q, м³/с	ν, м/с	Re	λ	h _{тр} , м	H(Q ₂), м	H(Q ₁), м
0,1	0,0001	0,318	6366	0,0389	0,08	3,08	13,16
0,2	0,0002	0,636	12732	0,0351	0,29	3,29	12,87
0,3	0,0003	0,955	19099	0,0335	0,62	3,62	12,54
0,4	0,0004	1,273	25465	0,0325	1,08	4,08	12,09
0,5	0,0005	1,592	31831	0,0319	1,65	4,65	11,51
0,6	0,0006	1,910	38197	0,0316	2,35	5,35	10,82
0,7	0,0007	2,228	44563	0,0313	3,16	6,16	10,00
0,8	0,0008	2,546	50930	0,0310	4,10	7,10	9,06
0,9	0,0009	2,865	57296	0,0309	5,16	8,16	8,00
1,0	0,001	3,183	63662	0,0307	6,34	9,34	6,82
1,1	0,0011	3,501	70028	0,0306	7,64	10,64	5,52
1,2	0,0012	3,820	76394	0,0305	9,06	12,06	4,10

Строим графики $H_c(Q)$. Затем, используя уравнение баланса $Q_1 = Q_2 + Q_3$, строим график $H_c(Q_2+Q_3)$ (рисунок 5). На графике $H_c(Q_2+Q_3)$ заданному значению $Q_2 + Q_3 = Q_1 = 1,2$ л соответствует значение $H_c = 4,1$ м. При этом также из графиков очевидно, что $Q_2 = 0,4$ л/с; $Q_3 = 0,8$ л/с. По известному значению H_c из уравнения (4) вычисляем H_1 . По уравнению (4) строим график потребного напора для первой трубы $H_c(Q_1)$.

Формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления в зависимости от режима течения

Условие	Режим течения	Формула
$Re < 2320$	ламинарный	$\lambda = 64 / Re$
$2320 < Re < 10 d / \Delta$	гладкого трения	$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$
$10 d / \Delta < Re < 500 d / \Delta$	переходный	$\lambda = 0,11(68 / Re + 10d / \Delta)^{0,25}$
$Re > 500 d / \Delta$	автомодельный	$\lambda = 0,11 (d / \Delta)^{0,25}$

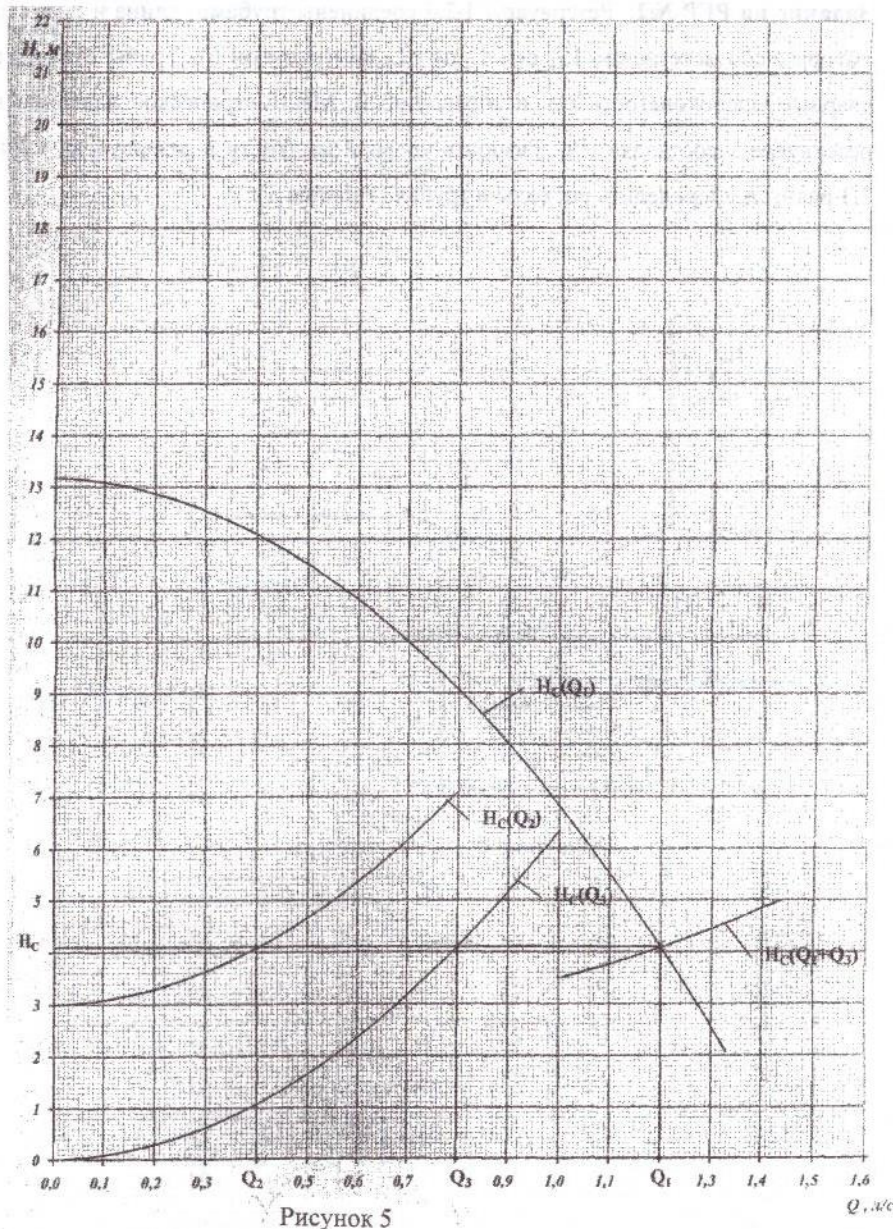


Рисунок 5

Задание на РГР №2. Резервуары 1,2,3 соединены трубами, длина и диаметр которых соответственно L_1, d_1 ; L_2, d_2 ; L_3, d_3 (рисунок 6). Трубы стальные сварные (шероховатость см. в справочнике). Манометрическое давление в резервуаре 1 составляет P_M . Разность уровней жидкости в резервуарах 1,2 и 2,3 равны h . Определить расходы в трубах (таблица 3).

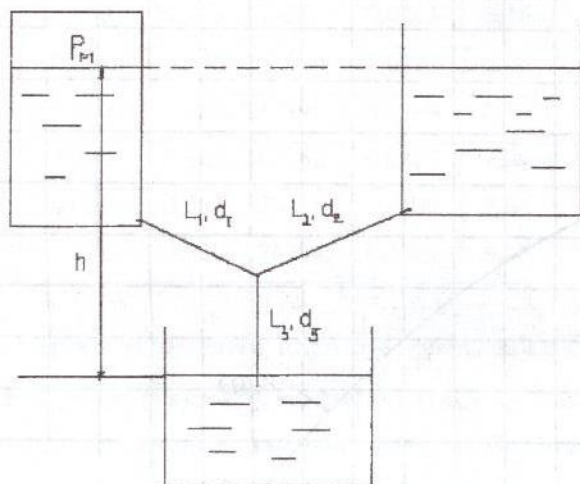


Рисунок 6

Таблица 3 - Варианты заданий по РГР № 2

Номер варианта	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм	P , кПа	h , м	ρ , кг/м ³	ν , Ст
1	12	10	8	30	25	40	51	30	830	0,20
2	14	12	9	40	30	50	52	40	840	0,20
3	16	14	10	50	40	60	53	45	850	0,35
4	18	16	11	60	50	60	54	50	860	0,25
5	16	15	14	35	30	40	55	35	855	0,31
6	14	16	13	30	35	45	56	31	860	0,35
7	11	14	12	35	30	45	57	37	870	0,50
8	15	16	13	40	45	50	58	30	850	0,45
9	14	12	13	35	30	45	59	25	820	0,30
10	13	12	11	50	40	55	50	20	850	0,40
11	14	13	12	50	35	60	51	22	860	0,30
12	12	10	8	30	25	40	52	30	830	0,20
13	14	12	9	40	30	50	53	40	840	0,20
14	16	14	10	50	40	60	54	45	850	0,35
15	18	16	11	60	50	60	55	50	860	0,25
16	16	15	14	35	30	40	56	35	855	0,31
17	14	16	13	30	35	45	57	31	860	0,35
18	11	14	12	35	30	45	58	37	870	0,50
19	15	16	13	40	45	50	59	30	850	0,45
20	14	12	13	35	30	45	50	25	820	0,30
21	13	12	11	50	40	55	51	20	850	0,40
22	14	13	12	50	35	60	52	22	860	0,30
23	12	10	8	30	25	40	53	30	830	0,20
24	14	12	9	40	30	50	54	40	840	0,20

8 ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

Вопросы по разделу 1. Расчет простого трубопровода.

- 1 Простой трубопровод. Гидравлическая характеристика.
- 2 Потребный напор. График потребного напора.
- 3 Три задачи расчета простого трубопровода.
- 4 Сифонный трубопровод. Вычисление максимального значения вакуума.
- 5 Всасывающие линии насосных установок. Вычисление давления.
- 6 Кавитация в трубопроводах и меры ее предупреждения.

Вопросы по разделу 2. Расчет сложных трубопроводов.

- 7 Последовательное соединение трубопроводов. Назначение вставок.
- 8 Построение характеристики при последовательном соединении трубопроводов.
- 9 Параллельное соединение трубопроводов. Назначение лупингов.
- 10 Построение характеристики при параллельном соединении трубопроводов.
- 11 Расчет трубопровода с путевым отбором (притоком).
- 12 Расчет трубопровода с концевой раздачей.
- 13 Кольцевые трубопроводы. Основы расчета.
- 14 Напорное течение жидкости в плоских щелях.
- 15 Напорное течение жидкости в кольцевых щелях.
- 16 Безнапорное течение жидкости в плоских щелях.

Вопросы по разделу 3. Расчет трубопроводов при течении вязко-пластичной жидкости.

- 17 Ламинарный и структурный режимы движения ВПЖ, формула Букингама.
- 18 Коэффициент гидравлического сопротивления при течении ВПЖ.
- 19 Круговое движение вязко-пластичной жидкости между соосными цилиндрами. Пример.

Вопросы по разделу 4. Неизотермическое течение жидкости.

- 20 Основы гидравлического расчета трубопровода при неизотермическом режиме. Формула Шухова.

Вопросы по разделу 5. Расчет газопроводов.

- 21 Расчет газопроводов при малых перепадах давления.
- 22 Расчет длинных газопроводов.
- 23 Измерение параметров газового потока.
- 24 Расчет газопроводов при неизотермическом режиме.
- 25 Измерение скорости в дозвуковых и сверхзвуковых потоках газа.

Вопросы по разделу 6. Неустановившееся движение жидкости и газа в трубопроводах.

- 26 Неустановившееся движение жидкости. Примеры.
- 27 Инерционный напор.
- 28 Гидравлический удар. Формула Жуковского.

Вопросы по разделу 7. Основы гидравлического расчета трубопровода при движении газожидкостных смесей и суспензий.

- 29 Особенности расчета трубопровода при перекачке суспензий. Критическая скорость. Коэффициент сопротивления.
- 30 Режимы движения газожидкостных потоков.
- 31 Оценка потери давления газожидкостной смеси. Формула Чисхолма.

Список литературы

Основная

- 1 Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: учеб. пособие для вузов. –М.: Высшая школа, 2006. -175 с.
- 2 Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. Нефтегазовая гидромеханика. –М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.-544с.

- 3 Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. – М.: Машиностроение, 1987.
- 4 Сборник задач по машиностроительной гидравлике: учеб. пособие для вузов/ ред. И.И. Куколевского, Л.Т. Подвидза.–М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. -448с.
- 5 Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие для вузов. -Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002.-658с.
- 6 Сахаров В.А., Мохов М.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в вертикальных трубах и промысловых подъемниках. -М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ, 2004. -398с.

Дополнительная

- 1 Мирзаджанзаде А.Х., Спивак А.И., Мавлютов М.Р. Гидроаэромеханика в бурении. – Уфа.: Изд. Уфим. нефт. ин-та, 1984. – 230 с.
- 2 Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987.
- 3 Кривошеин Б.Л., Тугунов П.И. Магистральный трубопроводный транспорт. – М.: Наука, 1985. – 236с.
- 4 Тугунов П.И., Новоселов В.Ф. Транспорт вязких нефтей и нефтепродуктов по трубопроводам. – М.: 1973 г.
- 5 Пустовойт Б.В. Механика движения жидкостей в трубах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980 г. – 159 с.

Учебные пособия кафедры

- 1 Тугунов П.И., Глазырина В.М. Необходимые для транспорта свойства газов, нефтей, нефтепродуктов и их определение. – Уфа: Уфим. нефт. ин-т, 1991. – 90с.
- 2 Абрамзон Л.С., Коротков Л.И., Колпаков Л.Г. Гидравлика: в 4 ч.- Уфа, УНИ, 1977, 1978, 1980, 1981.

Содержание

1 Общие методические указания.....	1
2 Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.....	1
3 Содержание разделов дисциплины и виды учебных занятий...	2
4 Перечень тем разделов, рекомендуемых для самостоятельного изучения.....	2
5 Правила оформления расчетно-графических работ.....	3
6 Методические указания к выполнению РГР №1.....	5
7 Методические указания к выполнению РГР №2.....	16
8 Перечень контрольных вопросов.....	22
Список литературы.....	23

Редактор Н.В. Исхакова

Подписано в печать 26.03.09. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура «Таймс». Печать трафаретная. Усл. печ. л.1,5. Уч.- изд. л. 1,3.
Тираж 150. Заказ 77.

Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета
Типография Уфимского государственного нефтяного технического университета
Адрес издательства и типографии:

450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1