

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Владимира Даля  
Кафедра «Гидрогазодинамика»

**Методические указания  
к самостоятельной работе по дисциплине  
«Гидравлика и гидравлические машины»  
для студентов  
специальностей «Транспортные системы»,  
«Организация перевозок и управление на транспорте» и  
«Подвижной состав и специальная техника железнодорожного  
транспорта»**

УТВЕРЖДЕНО  
на заседании кафедры  
«Гидрогазодинамика»  
Протокол №... от.....2004 г.

Луганск 2004

УДК.62.85

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Гидравлика и гидравлические машины» для студентов специальностей «Транспортные системы». «Организация перевозок и управление на транспорте» и «Подвижной состав и специальная техника железнодорожного транспорта» -Луганск, Изд-во Восточноукр. Нац. Ун-та, 2004 г.- с. 23.

Содержат рекомендации по выполнению индивидуальных заданий, их варианты и краткий справочный материал по дисциплине «Гидравлика и гидравлические машины» для студентов дневной и заочной форм обучения

Составители:

В.И. Ремень, к.т.н., доц.  
И.И. Соснов, к.т.н., ст. преп.

Отв. за выпуск

Ю.И. Осенин, д.т.н., проф.

Рецензент

Н.Б. Чернецкая, к.т.н., доц.

**Цель преподавания дисциплины:** изучение студентами законов движения и равновесия капельных и газообразных жидкостей и способов их применения для решения конкретных технических задач.

**Задачи изучения дисциплины:**

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** основные законы движения и равновесия жидкостей, методы расчета их характеристик, принцип работы и конструкции гидравлических машин.

**Уметь:** проводить гидравлические расчеты различных технических устройств в статике и динамике, рассчитать давление и силы давления в покоящейся жидкости, произвести гидравлический расчет простых и сложных трубопроводов.

**Иметь представление:** о методах расчета гидравлических машин и их характеристик.

В основу данных методических указаний положена типовая программа рабочая учебная программа курса «Гидравлика и гидравлические машины», разработанные кафедрой «Гидрогазодинамика» Восточнoукраинского национального университета.

Изучение дисциплины «Гидравлика и гидравлические машины» базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика».

Основным методом изучения данной дисциплины студентами заочной формы обучения является самостоятельная работа, включающая следующие элементы:

- изучение материала по учебникам, учебным пособиям, специальной технической литературе;
- подготовка и выполнение лабораторных работ и практических занятий, проводимых в соответствии с учебным графиком;
- выполнение индивидуального контрольного задания.

Во время изучения дисциплины студент должен знать следующие вопросы:

- Физические свойства жидкости. Давление, его свойства. Основное уравнение гидростатики. Силы давления на плоские и криволинейные поверхности. Относительный покой.
- Основы гидродинамики жидкости. Уравнение Бернулли. Режимы движения жидкости. Понятие о потерях энергии. Гидравлический расчет простых и сложных трубопроводов.
- Истечение жидкости через отверстия и насадки. Взаимодействие струи с преградой. Гидравлический удар.
- Гидравлические машины. Центробежные, осевые насосы и турбины. Вентиляторы. Гидродинамические передачи.
- Объемные гидравлические машины. Конструкции и принцип работы. Основные характеристики. Гидростатический привод.

Цель самостоятельной работы – закрепление лекционного материала, подготовка к лекциям, практическим и лабораторным занятиям, приобретение навыков в решении конкретных инженерных задач.

Цель выполнения индивидуального контрольного задания – приобретение навыков в практических расчетах по гидравлике путем решения конкретной гидравлической задачи.

Содержание индивидуального контрольного задания:

По заданной гидравлической схеме необходимо определить давления и силы давления, действующие на отдельные ее элементы, рассчитать кинематические характеристики при движении жидкости по трубопроводам.

Контрольные задания составлены в виде комплексной задачи, для решения которой требуется предварительное изучение большинства разделов курса. В то же время содержание задания позволяет приступить к выполнению этапов контрольной работы по мере изучения отдельных разделов дисциплины. *Вариант задания выдается преподавателем в зависимости от номера группы и порядкового номера студента в журнале. Контрольная работа выполняется на листах писчей бумаги формата А4. Пример оформления титульного листа приведен в конце методических указаний. В конце работы приводится список использованной литературы.*

## Варианты заданий

### Задача № 1

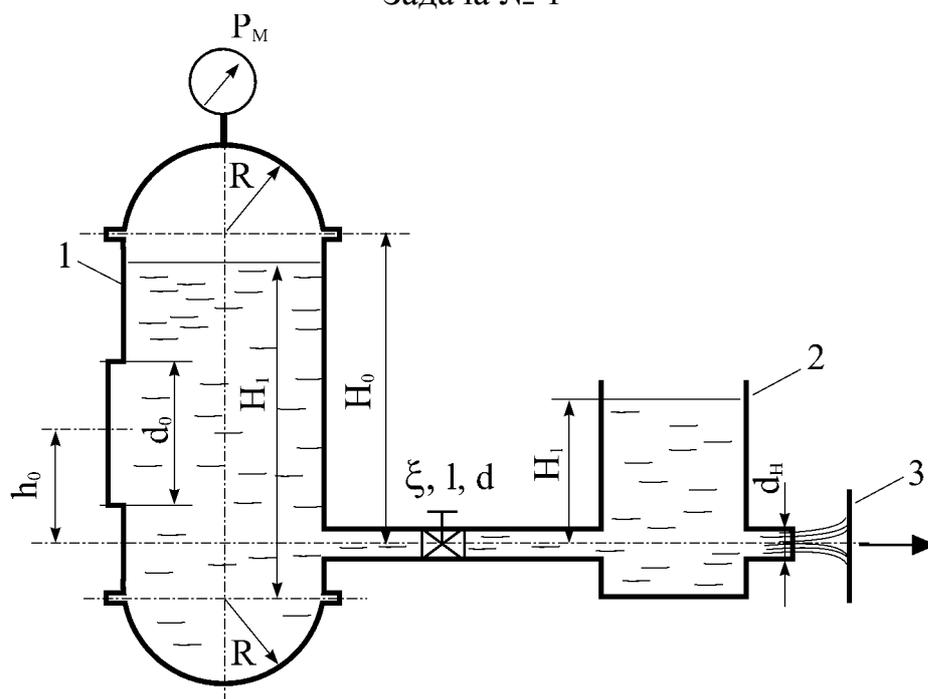


Рис. 1. Схема к задаче № 1

Цилиндрический резервуар 1 с полусферическими верхней и нижней крышками радиусом  $R$ , имеющий боковой люк диаметром  $d_0$  и находящийся на расстоянии от оси трубопровода  $h_0$ , закрытый плоской крышкой, соединен с резервуаром 2 трубопроводом, изготовленным из старой стальной трубы длиной  $l$ , диаметром  $d$  и коэффициентом сопротивления задвижки  $\xi$ . Вода под напором  $H_1$  и давлением воздуха на свободной поверхности  $P_m$  (избыточное давление) перетекает из резервуара 1 в резервуар 2, а из него при постоянном напоре  $H_1$ , через цилиндрический насадок диаметром  $d_n$  вытекает в атмосферу, ударяясь о плоскую преграду 3.

Используя данные таблицы 1,  
определить:

1. Силы давления на верхнюю, нижнюю и боковую крышки резервуара 1.
2. Давление на входе в трубопровод при закрытой задвижке.
3. Построить эпюры гидростатического давления на внутренние поверхности резервуара 1.
4. Величину расхода воды, поступающей в резервуар 2.
5. Диаметр насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2.
6. Силу взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3.
7. Повышение давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки, приняв толщину стенок трубопровода  $\delta = 0,05d$ .

Таблица 1

## Исходные данные к задаче 1

№ варианта	$P_m$ , МПа	$H_1$ , м	$H_0$ , м	$h_0$ , м	$R$ , м	$d_0$ , м	$l$ , м	$d$ , мм	$\zeta$
1	0,1	6,0	5,0	4,0	2,8	0,50	20	50	7,5
2	0,2	5,5	4,5	3,5	2,6	0,55	18	50	7,0
3	0,3	5,0	4,0	3,0	2,4	0,60	16	45	6,5
4	0,4	4,5	3,5	2,5	2,2	0,65	14	45	6,0
5	0,5	4,0	3,0	2,0	2,0	0,70	12	40	5,5
6	0,6	3,5	2,5	1,5	1,8	0,65	10	40	5,0
7	0,7	3,0	2,0	1,0	1,6	0,60	8	30	4,5
8	0,8	3,5	2,0	1,0	1,4	0,55	7	30	4,0
9	0,9	4,0	2,0	1,0	1,2	0,50	6	20	3,5
10	1,0	4,5	1,5	0,5	1,0	0,45	5	20	3,0
11	0,5	6,0	2,5	1,5	2,4	0,65	18	40	6,0
12	0,6	5,5	2,0	1,0	2,2	0,60	16	40	5,5
13	0,7	5,0	2,0	1,0	2,0	0,55	14	30	5,0
14	0,8	4,5	2,0	1,0	1,8	0,50	12	30	4,5
15	0,9	3,0	1,5	0,5	1,6	0,45	10	20	4,0
16	0,4	4,5	2,0	1,5	2,0	0,5	12	30	5,0
17	0,3	4,0	3,5	2,5	2,2	0,55	14	40	7,0
18	0,2	5,0	4,5	2,5	2,4	0,6	16	45	6,5
19	0,7	3,5	2,5	1,5	1,8	0,7	10	30	5,5
20	0,8	4,0	2,0	1,0	1,2	0,6	8	20	4,0
21	0,7	4,0	2,5	1,2	2,0	0,55	14	35	5,0
22	1,0	4,5	2,0	1,0	1,0	0,40	6	20	3,0
23	0,2	5,5	4,5	2,0	2,6	0,5	14	45	6,5
24	0,7	3,5	2,0	1,0	2,0	0,8	10	30	5,5
25	0,8	3,0	1,5	1,5	1,4	0,55	8	30	5,0
26	0,9	5,0	2,5	1,5	1,4	0,55	8	20	3,5

## Задача № 2

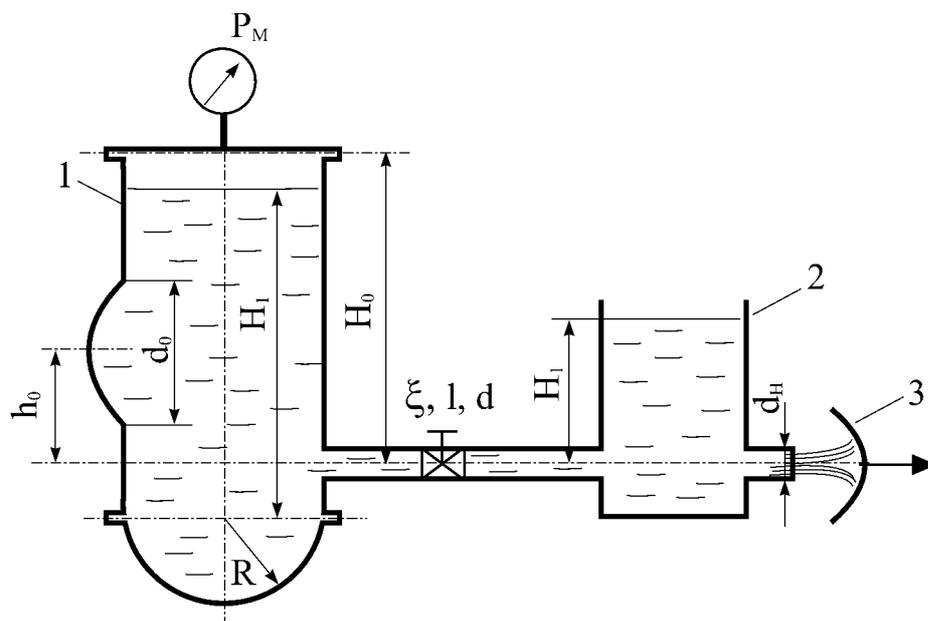


Рис. 2. Схема к задаче № 2

Цилиндрический резервуар 1 с плоской верхней и полусферической нижней крышками радиусом  $R$ , имеющий боковой люк диаметром  $d_0$  и находящийся на расстоянии  $h_0$  от оси трубопровода, закрытый полусферической крышкой, соединен с резервуаром 2 трубопроводом, который изготовлен из новой стальной трубы длиной  $l$ , диаметром  $d$  и коэффициентом сопротивления задвижки  $\xi$ . Вода под напором  $H_0$  и давлением воздуха на свободной поверхности  $P_m$  (избыточное давление) перетекает из резервуара 1 в резервуар 2, а из него, при постоянном напоре  $H_1$ , через цилиндрический насадок диаметром  $d_n$  вытекает в атмосферу, ударяясь о полусферическую преграду 3.

Используя данные таблицы 2,  
определить:

1. Силы давления на верхнюю, нижнюю и боковую крышки резервуара 1.
2. Давление на входе в трубопровод при закрытой задвижке.
3. Построить эпюры гидростатического давления на внутренние поверхности резервуара 1.
4. Величину расхода воды, поступающей в резервуар 2.
5. Диаметр насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2.
6. Силу взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3.
7. Повышение давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки, приняв толщину стенок трубопровода  $\delta = 0,05d$ .

Таблица 2

Исходные данные к задаче 2

№ варианта	$P_m$ , МПа	$H_1$ , м	$H_0$ , м	$h_0$ , м	$R$ , м	$d_0$ , м	$l$ , м	$d$ , мм	$\zeta$
1	0,12	6,5	5,5	3,5	2,8	0,45	20	50	7,5
2	0,22	6,0	4,5	3,5	2,6	0,50	18	50	7,0
3	0,32	5,5	4,0	3,0	2,4	0,55	16	45	6,5
4	0,42	5,0	3,5	3,0	2,2	0,70	14	45	6,0
5	0,52	4,5	3,0	2,5	2,0	0,65	12	40	5,5
6	0,62	4,0	2,5	2,0	1,8	0,60	10	40	5,0
7	0,72	3,5	2,0	1,5	1,6	0,55	8	30	4,5
8	0,82	3,0	2,0	1,5	1,4	0,50	7	30	4,0
9	0,92	4,5	2,0	1,0	1,2	0,45	6	20	3,5
10	1,2	5,5	1,5	0,5	1,0	0,40	5	20	3,0
11	1,0	4,5	1,5	0,5	1,0	0,45	5	20	3,0
12	0,32	7,0	4,5	1,5	2,0	0,65	18	40	6,0
13	0,42	6,5	4,0	1,0	1,8	0,60	16	40	5,5
14	0,52	6,0	3,5	1,0	1,6	0,55	14	30	5,0
15	0,62	5,5	3,0	1,0	1,4	0,50	12	30	4,5
16	0,72	4,0	2,5	0,5	1,2	0,45	10	20	4,0
17	0,82	4,0	2,0	1,0	1,3	0,40	8	40	3,0
18	0,92	3,5	2,5	1,5	1,4	0,50	10	30	4,5
19	1,1	5,5	1,5	0,5	1,0	0,40	5	20	3,0
20	1,0	5,5	3,0	1,0	1,0	0,45	5	20	3,0
21	0,90	5,5	1,5	0,5	1,3	0,40	8	40	3,0
22	1,2	5,0	2,5	0,5	1,0	0,50	5	30	3,0
23	1,0	4,5	2,0	1,0	1,0	0,50	5	30	3,0
24	1,2	5,0	2,0	0,5	1,0	0,50	5	30	4,0
25	1,0	3,5	1,0	0,5	1,0	0,45	5	30	2,0
26	0,32	6,0	4,5	2,5	2,0	0,55	18	40	6,0

## Задача № 3

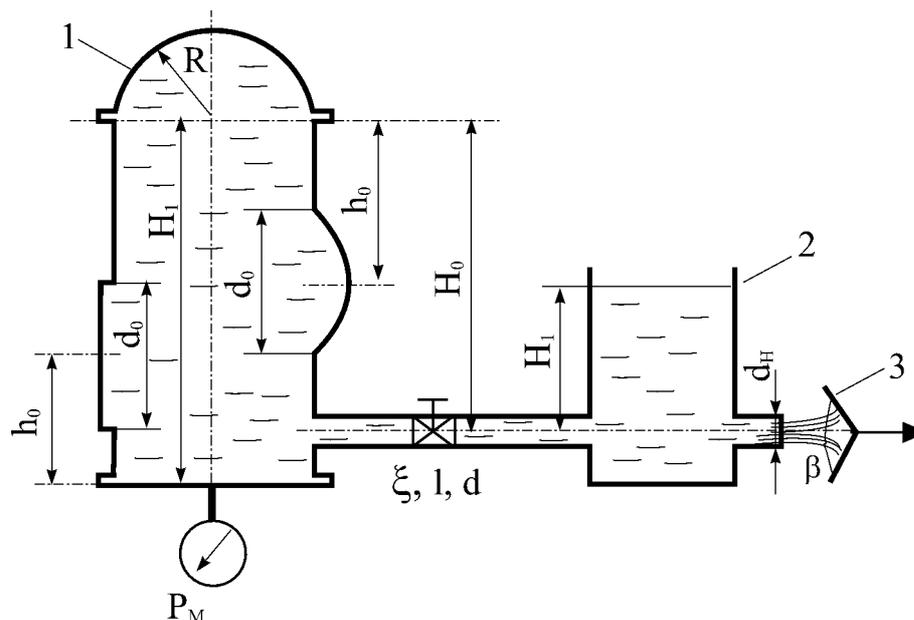


Рис. 3. Схема к задаче № 3

Цилиндрический резервуар 1 с полусферической верхней и плоской нижней крышками радиусом  $R$ , имеющий боковые люки диаметром  $d_0$  и находящиеся на расстоянии  $h_0$ , от дна и крышки резервуара 1, закрытые плоской и полусферическими крышками, соединен с резервуаром 2 трубопроводом, изготовленным из новой чугунной трубы длиной  $l$ , диаметром  $d$  и коэффициентом сопротивления задвижки  $\xi$ . К днищу резервуара 1, полностью заполненного водой, подсоединен манометр, показывающий давление  $P_m$  (избыточное давление). Вода перетекает из резервуара 1 в резервуар 2, а из него при постоянном напоре  $H_1$  через цилиндрический насадок диаметром  $d_n$  вытекает в атмосферу, ударяясь о преграду 3 с углом раскрытия  $\beta$ .

Используя данные таблицы 3,  
определить:

1. Силы давления на верхнюю, нижнюю и боковые крышки резервуара 1.
2. Давление на входе в трубопровод при закрытой задвижке.
3. Построить эпюры гидростатического давления на внутренние поверхности резервуара 1.
4. Величину расхода воды, поступающей в резервуар 2
5. Диаметр насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2.
6. Силу взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3.
7. Повышение давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки, приняв толщину стенок трубопровода  $\delta = 0,05d$ .

Таблица 3

## Исходные данные к задаче 3

№ варианта	$P_m$ , МПа	$H_1$ , м	$H_0$ , м	$h_o$ , м	$R$ , м	$d_0$ , м	$l$ , м	$d$ , мм	$\zeta$	$\beta$ , <sup>0</sup>
1	0,22	6,0	5,0	3,0	2,8	0,50	20	50	7,5	120
2	0,24	5,5	4,5	2,5	2,6	0,55	18	50	7,0	100
3	0,26	5,0	4,0	2,0	2,4	0,60	16	45	6,5	80
4	0,28	4,5	3,5	1,5	2,2	0,65	14	45	6,0	60
5	0,30	4,0	3,0	1,0	2,0	0,70	12	40	5,5	40
6	0,32	3,5	2,5	1,5	1,8	0,65	10	40	5,0	45
7	0,34	3,0	2,0	1,0	1,6	0,60	8	30	4,5	60
8	0,36	3,5	2,0	1,0	1,4	0,55	7	30	4,0	30
9	0,38	4,0	2,0	1,0	1,2	0,50	6	35	3,5	90
10	0,40	4,5	1,5	0,5	1,0	0,45	5	35	3,0	75
11	0,42	7,0	5,0	3,5	2,2	0,50	16	50	8,5	120
12	0,52	6,5	4,5	3,0	2,0	0,55	14	50	9,0	100
13	0,62	6,0	4,0	2,5	1,8	0,50	12	45	9,5	90
14	0,72	5,5	3,5	2,0	1,6	0,45	10	45	9,0	60
15	0,82	4,0	3,0	1,5	1,4	0,40	8	40	8,5	45
16	0,26	4,0	3,0	2,5	2,6	0,65	15	45	6,0	80
17	0,28	3,5	2,5	1,8	2,3	0,70	13	45	6,5	60
18	0,30	3,0	2,0	1,2	2,2	0,65	11	40	5,0	40
19	0,32	2,5	1,5	1,7	1,9	0,70	9	40	5,5	45
20	0,34	3,0	1,0	1,1	1,7	0,65	9	30	4,5	60
21	0,52	5,5	4,0	3,0	2,0	0,50	13	50	9,0	100
22	0,62	5,0	3,5	2,5	1,8	0,55	11	45	9,5	90
23	0,26	3,0	2,0	2,5	2,6	0,60	14	45	6,0	80
24	0,28	4,5	2,0	1,8	2,3	0,65	12	45	6,5	60
25	0,32	3,5	1,0	1,7	1,9	0,65	5	40	4,5	45
26	0,34	4,2	0,5	1,1	1,7	0,70	5	30	4,5	60

## Задача № 4

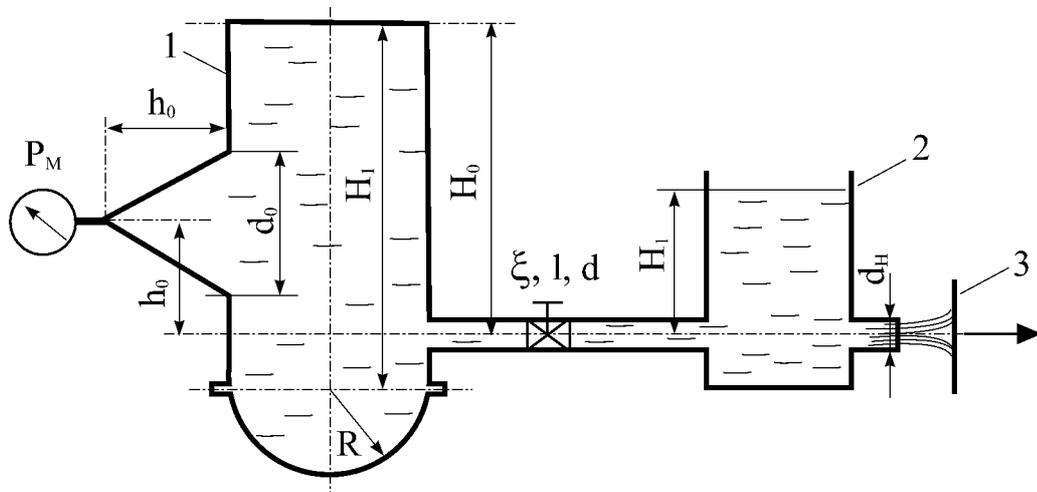


Рис. 4. Схема к задаче № 4

Цилиндрический резервуар 1 с полусферической нижней крышкой радиуса  $R$ , имеющий боковую коническую крышку с диаметром основания  $d_0$ , находящийся на расстоянии  $h_0$  от оси трубопровода, соединен с резервуаром 2 трубопроводом, изготовленным из чугунной трубы длиной  $L$ , диаметром  $d$  и коэффициентом сопротивления задвижки  $\xi$ . Давление на уровне центра симметрии конического бокового люка равно  $P_M$  (избыточное давление). Вода перетекает из резервуара 1 в резервуар 2, а из него при постоянном напоре  $H_1$ , через цилиндрический насадок диаметром  $d_n$  вытекает в атмосферу, ударяясь о плоскую преграду 3.

Используя данные таблицы 4,  
определить:

1. Силы давления на верхнюю, нижнюю и боковую крышки резервуара 1.
2. Давление на входе в трубопровод при закрытой задвижке.
3. Построить эпюры гидростатического давления на внутренние поверхности резервуара 1.
4. Величину расхода воды, поступающей в резервуар 2.
5. Диаметр насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2.
6. Силу взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3.
7. Повышение давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки, приняв толщину стенок трубопровода  $\delta = 0,05d$ .

Таблица 4

## Исходные данные к задаче 4

№ варианта	$P_m$ , МПа	$H_1$ , м	$H_0$ , м	$h_0$ , м	$R$ , м	$d_0$ , м	$l$ , м	$d$ , мм	$\zeta$
1	0,1	4,0	3,0	2,0	2,8	0,50	20	50	7,5
2	0,2	3,5	3,2	1,5	2,6	0,55	18	50	7,0
3	0,3	3,0	3,0	1,7	2,4	0,60	16	45	6,5
4	0,4	3,5	2,5	2,0	2,2	0,65	14	45	6,0
5	0,5	3,6	2,0	1,3	2,0	0,70	12	40	5,5
6	0,6	3,7	2,5	1,5	1,8	0,65	10	40	5,0
7	0,7	3,5	2,0	1,0	1,6	0,60	8	30	4,5
8	0,8	4,0	3,0	1,0	1,4	0,55	7	30	4,0
9	0,9	4,1	2,0	1,0	1,2	0,50	6	20	3,5
10	1,0	4,2	3,5	0,5	1,0	0,45	5	20	3,0
11	0,5	4,0	2,0	1,5	2,4	0,65	18	40	6,0
12	0,6	4,1	2,5	1,0	2,2	0,60	16	40	5,5
13	0,7	4,5	3,5	1,0	2,0	0,55	14	30	5,0
14	0,8	4,6	4,5	1,0	1,8	0,50	12	30	4,5
15	0,9	4,5	2,0	0,5	1,6	0,45	10	20	4,0
16	0,4	4,7	2,0	1,5	2,0	0,5	12	30	5,0
17	0,3	4,5	3,0	2,5	2,2	0,55	14	40	7,0
18	0,2	5,1	4,0	2,5	2,4	0,6	16	45	6,5
19	0,7	5,0	2,0	1,5	1,8	0,7	10	30	5,5
20	0,8	5,3	4,5	1,0	1,2	0,6	8	20	4,0
21	0,7	5,0	2,5	1,2	2,0	0,55	14	35	5,0
22	1,0	5,5	4,5	1,0	1,0	0,40	6	20	3,0
23	0,2	5,2	2,0	1,1	2,6	0,5	14	45	6,5
24	0,7	5,5	4,5	1,0	2,0	0,8	10	30	5,5
25	0,8	6,0	5,0	1,5	1,4	0,55	8	30	5,0
26	0,9	6,1	2,5	1,5	1,4	0,55	8	20	3,5

## Краткие методические указания к решению задач

1. Давление в любой точке покоящейся жидкости можно определить по основному уравнению гидростатики:

$$p = p_0 + \rho gh$$

где  $p$  - давление в искомой точке жидкости, [Па];

$p_0$  - давление на свободной поверхности [Па];

$\rho$  - плотность жидкости, [кг/м<sup>3</sup>]; (плотность воды при нормальных условиях  $\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

$g$  - ускорение свободного падения [м/с<sup>2</sup>];

$h$  - глубина погружения точки от свободной поверхности, [м].

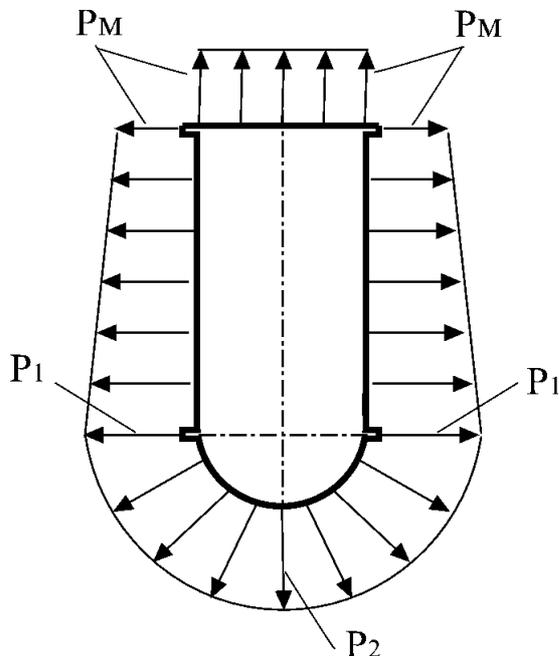


Рис. 5. Пример эпюры гидростатического давления

Зная закон изменения давления по глубине, можно построить эпюры давления на поверхности резервуара. Для этого находят давление в различных точках поверхностей, откладывают его величину в масштабе (нормально к поверхности) и соединяют линиями (см. рис. 5).

2. Силу давления  $P$  на любую плоскую поверхность можно определить как:

$$P = p_c S,$$

где  $p_c$  - давление в центре тяжести плоской поверхности, [Па];

$S$  - площадь плоской поверхности, [м<sup>2</sup>].

3. Силу давления на криволинейную поверхность можно рассчитать, предварительно разложив ее на составляющие - горизонтальную  $P_H$  и вертикальную  $P_B$ , а затем определить результирующую силу, как:

$$P = \sqrt{P_H^2 + P_B^2},$$

Горизонтальная составляющая:

$$P_H = p_c S_{\text{пр } y},$$

где  $p_c$  - давление в центре тяжести поверхности, [Па];

$S_{пр\ y}$  - площадь проекции криволинейной поверхности на вертикальную плоскость, [м<sup>2</sup>].

Так например, если криволинейная поверхность представляет собой полусферу или конус (ориентированных так, что ось симметрии перпендикулярна вертикальной плоскости), то их проекции будут представлять собой просто круг и площадь проекции будет равна площади круга. Для полуцилиндрического люка - его проекцией на вертикальную плоскость будет прямоугольник.

Вертикальная составляющая силы давления:

$$P_B = \rho g W_{тд},$$

где  $W_{тд}$  - объем тела давления, [м<sup>3</sup>];

Телом давления называется тело, заключенное между самой криволинейной поверхностью, пьезометрической плоскостью и вертикальными образующими, полученными при проецировании криволинейной поверхности на пьезометрическую плоскость (т.е. для построения тела давления необходимо от криволинейной поверхности восстановить перпендикуляры до пьезометрической плоскости). Пьезометрической называется плоскость равного давления, величина которого равняется атмосферному.

Для криволинейных поверхностей, расположенных на боковых гранях резервуаров, объемом тела давления будет являться объем этого геометрического тела. *Так например, если на боковой поверхности резервуара расположен конический или полусферический люк, то объем тела давления - это объем конуса или полусферы.*

4. Расход жидкости, перетекающий из бака 1 в бак 2 можно определить графоаналитическим способом, построив график зависимости потребного напора  $H_{потр}$  от расхода  $Q$  и по располагаемому напору  $H_p$  найти искомый расход.

$H_p$  - напор, который соответствует давлению на входе в трубопровод, т.е., если давление (избыточное давление) на входе в трубопровод равно  $P_T$ , то

$$H_p = P_T / (\rho \cdot g),$$

Уравнение потребного напора имеет вид:

$$H_{потр} = H_{ст} + 0,0827 \left( \lambda \frac{L}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{Q^2}{d^4}, [м]$$

При  $H_{ст} = 0$  уравнение потребного напора превращается в характеристику сети и представляет собой зависимость потерь удельной энергии (напора) от расхода (см. пункт 4.5).

Для графического построения этого уравнения, т.е. графика вида  $H_{потр} = f(Q)$ , задаются несколькими значениями расходов и определяют все величины, входящие в уравнение.

Поскольку величина напора  $H_{потр}$  пропорциональна квадрату величины расхода  $Q$ , то график зависимости  $H_{потр} = f(Q)$  представляет собой параболу, для построения которой необходимо, как минимум, три точки. Т.е. задаются несколькими значениями текущих расходов  $Q$  (минимум тремя) и определяют остальные величины в следующей последовательности:

**4.1.** Рассчитываются текущие значения скорости жидкости (средней) в трубопроводе с внутренним диаметром  $d$ :

$$V = \frac{Q}{f} = \frac{4Q}{\pi d^2}, \text{ [м/с];}$$

**4.2.** Подсчитывают критерий Рейнольдса  $Re$  и определяют режим движения жидкости:

$$Re = \frac{Vd}{\nu},$$

где  $V$  - скорость жидкости в трубопроводе, м/с,

$d$  - внутренний диаметр трубопровода, м,

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости жидкости, для воды  $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

Критическое число Рейнольдса для круглых цилиндрических труб:

$$Re_{кр} = 2320,$$

При  $Re < Re_{кр}$  - режим ламинарный,

$Re > Re_{кр}$  - режим турбулентный.

**4.3.** Определив режим движения жидкости, рассчитывают величину коэффициента сопротивления трения  $\lambda$ .

В общем случае коэффициент сопротивления трения  $\lambda$  является функцией двух параметров - числа Рейнольдса  $Re$  и относительной шероховатости  $\Delta_{эКВ}/d$ , здесь  $\Delta_{эКВ}$  - эквивалентная шероховатость (высота микронеровностей), зависящая от материала трубопровода,  $d$  - внутренний диаметр трубопровода, м,

Средние значения величины  $\Delta_{эКВ}$  для некоторых материалов приведены ниже:

- Трубы, тянутые из латуни, свинца, меди - 0,001 мм;
- Стальные новые цельнотянутые трубы - 0,1 мм;
- Стальные старые трубы - 0,5 мм;
- Чугунные трубы - 1,0 мм.

Зная значения числа Рейнольдса  $Re$  и относительную шероховатость  $\Delta_{\text{ЭКВ}}/d$ , можно определить значение коэффициента трения  $\lambda$  по графику зависимости  $\lambda = f(Re, \Delta_{\text{ЭКВ}}/d)$ , приведенному в конце данных методических указаний (Рис. 7) или можно воспользоваться следующими формулами:

Для ламинарного режима ( $Re < 2320$ ):  $\lambda = 64 / Re$ ,

Для турбулентного режима ( $Re > 2320$ ), сначала подсчитывается значение:  $Re \cdot \Delta_{\text{ЭКВ}}/d$ , затем:

- если  $Re \cdot \Delta_{\text{ЭКВ}}/d < 10$ , то  $\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$  ;
- если  $10 < Re \cdot \Delta_{\text{ЭКВ}}/d < 500$ , то  $\lambda = 0,11 \cdot (\Delta_{\text{ЭКВ}}/d + 68/Re)^{0,25}$  ;
- если  $Re \cdot \Delta_{\text{ЭКВ}}/d > 500$ , то  $\lambda = 0,11 \cdot (\Delta_{\text{ЭКВ}}/d)^{0,25}$  .

#### 4.4. Определяют суммарный коэффициент местных сопротивлений $\Sigma \zeta$ .

Так, как трубопровод простой (постоянного диаметра и не имеет ответвлений), то суммарный коэффициент местных сопротивлений можно определить как арифметическую сумму всех коэффициентов отдельных местных сопротивлений.

Следует знать, что местные потери напора возникают там, где скорость меняет свою величину или свое направление и связаны с перестройкой эпюры скорости и вихреобразованием. Тогда:

$$\Sigma \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots,$$

Наиболее часто встречающиеся средние величины коэффициентов местных сопротивлений представлены ниже:

- Вход в трубу без закругления входных кромок  $\zeta = 0,5$ ;
- Вход в трубу при закругленных кромках  $\zeta = 0,1$ ;
- Выход из трубы в сосуд больших размеров  $\zeta = 1,0$ ;
- Резкий поворот трубы на  $90^\circ$   $\zeta = 1,5$ ;
- Плавный поворот трубы на  $90^\circ$   $\zeta = 0,5$ .

Коэффициент сопротивления задвижек, вентилях, кранов зависит от степени их открытия и обычно задан или определяется опытным путем.

4.5. Статический напор  $H_{\text{ст}}$  (подпор) определяется условиями выхода. Если жидкость из трубопровода вытекает в атмосферу, то  $H_{\text{ст}} = 0$ , если истечение

происходит в резервуар под уровень, то величина статического напора равна величине напора жидкости в резервуаре, т.е.  $H_{ст} = H_1$ .

**4.6.** После определения всех величин, входящих в уравнение потребного напора, рассчитывают несколько значений  $H_{потр}$ , которые соответствуют величинам задаваемого расхода. Обязательно приводится расчет для одного значения расхода, а остальные значения сводятся в таблицу.

Таблица 5

Пример таблицы расчета потребного напора

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$V, \text{ м/с}$	$Re$	$\lambda$	$\sum \zeta$	$H_{ст}, \text{ м}$	$H_{потр}, \text{ м}$
$Q_1 = 0$	0	0	-	-	$H_1$	$H_1$
$Q_2$						
$Q_3$						

**4.7.** После расчетов нескольких значений потребного напора строится график зависимости  $H_{потр} = f(Q)$ . Пример такого графика представлен ниже (Рис. 6). Используя величину ранее рассчитанного располагаемого напора  $H_p$  (см. пункт 4) по графику находим искомый расход  $Q$ .

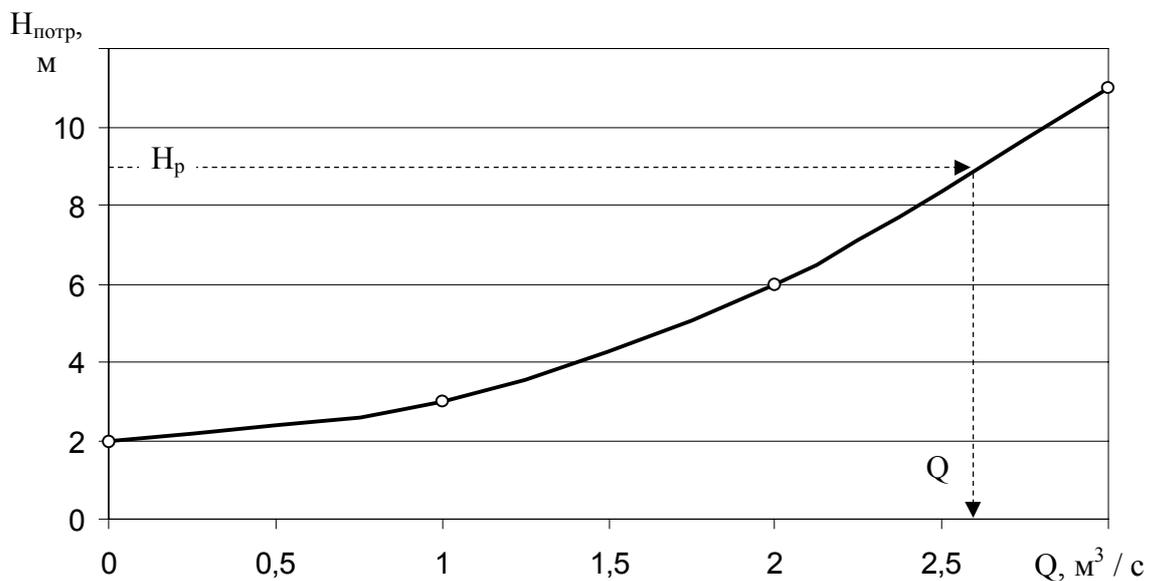


Рис. 6. К определению расхода жидкости.

Данный график построен при статическом напоре  $H_{ст} = H_1 = 2 \text{ м}$ , и располагаемом напоре  $H_p = 9 \text{ м}$ , при этом, искомый расход равен  $Q = 2,6 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**5.** Диаметр насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2, можно найти, используя формулы для истечения жидкости через отверстия и насадки:

$$d_H = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\mu \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}}};$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода отверстия или насадка;

$f$  - площадь отверстия или насадка, [м<sup>2</sup>];

$H_1$  - напор перед отверстием или насадком, [м].

Коэффициент расхода  $\mu$  - это табличная величина, зависящая от типа отверстия или насадка. Значения коэффициента  $\mu$  для основных типов насадков представлены ниже:

- Отверстие в тонкой стенке  $\mu = 0,62$
- Внешний цилиндрический насадок (Вентури)  $\mu = 0,82$
- Внутренний цилиндрический насадок (Борда)  $\mu = 0,71$
- Конический сходящийся насадок
- (конфузор, угол раскрытия 13<sup>0</sup>)  $\mu = 0,94$
- Конический расходящийся насадок
- (диффузор, угол раскрытия 8<sup>0</sup>)  $\mu = 0,45$
- Коноидальный насадок  $\mu = 0,97$

6. Силу взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3 можно найти по следующим зависимостям:

$$R = \rho \cdot Q \cdot V \cdot (1 - \cos \gamma) = \rho \cdot V^2 \cdot f \cdot (1 - \cos \gamma),$$

где  $R$  - сила взаимодействия между струей и преградой, [Н];

$\rho$  - плотность жидкости, [кг/м<sup>3</sup>];

$Q$  - расход жидкости, [м<sup>3</sup>/с];

$V$  - скорость истечения жидкости из насадка. Ее можно определить, как:

$$V = \mu \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}, \text{ (для внешнего цилиндрического насадка), [м/с];}$$

$f$  - площадь насадка, [м<sup>2</sup>].

$\gamma = \beta / 2$  – угол схода струи, град.

- Для плоской преграды  $\gamma = 90^0$ ,  $\cos \gamma = 0$  и  $R = \rho \cdot Q \cdot V$ .
- Для полусферической  $\gamma = 180^0$ ,  $\cos \gamma = -1$  и  $R = 2 \cdot \rho \cdot Q \cdot V$ .

7. Повышение давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки можно найти, используя формулы для расчета гидравлического удара, возникающего при мгновенном перекрытии проходного сечения трубопровода. Величина такого повышения давления равна:

Величина такого повышения давления равна:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot V,$$

где  $\Delta p$  - мгновенное повышение давления, [Па];

$\rho$  - плотность жидкости, [кг/м<sup>3</sup>];

$c$  - скорость распространения ударных волн, [м/с];

$V$  - скорость течения жидкости в трубопроводе перед закрытием задвижки, [м/с], которая находится по формуле:

$$V = \frac{Q}{f} = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Скорость распространения ударных волн можно найти по формуле Н.Е.Жуковского:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot d}{E \cdot \delta}}},$$

где  $K$  - модуль упругости жидкости, Па ( $2 \cdot 10^9$  Па для воды);

$E$  - модуль упругости материала трубопровода, Па;

( $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па - сталь;  $E = 1 \cdot 10^{11}$  Па - чугун)

$d$  - внутренний диаметр трубопровода, м;

$\delta$  - толщина стенки трубопровода, м;  $\delta = 0,05 d$  (по условию).

Скорость распространения упругих возмущений для абсолютно жесткого трубопровода (т.е. максимальная теоретическая) для воды составляет 1440 м/с.

Зная все вышеуказанные величины, можно легко определить ударное повышение давления.

Примерное содержание пояснительной записки:

1. Титульный лист (см. ниже).
2. Содержание.
3. Условие задания.
4. Определение силы давления на верхнюю, нижнюю и боковые стенки резервуара 1.
5. Определение давления на входе в трубопровод при закрытой задвижке.
6. Построение эпюры гидростатического давления на внутренние поверхности резервуара 1.
7. Расчет величины расхода воды, поступающей в резервуар 2.
8. Определение диаметра насадка  $d_n$ , обеспечивающий постоянный уровень  $H_1$  в резервуаре 2.
9. Расчет силы взаимодействия между струей, вытекающей из насадка, и преградой 3.
10. Определение повышения давления в трубопроводе при мгновенном закрытии задвижки, приняв толщину трубопровода  $\delta = 0,05d$ .
11. Заключение (в заключении кратко описывается проделанная в задании работа).
12. Список литературы.

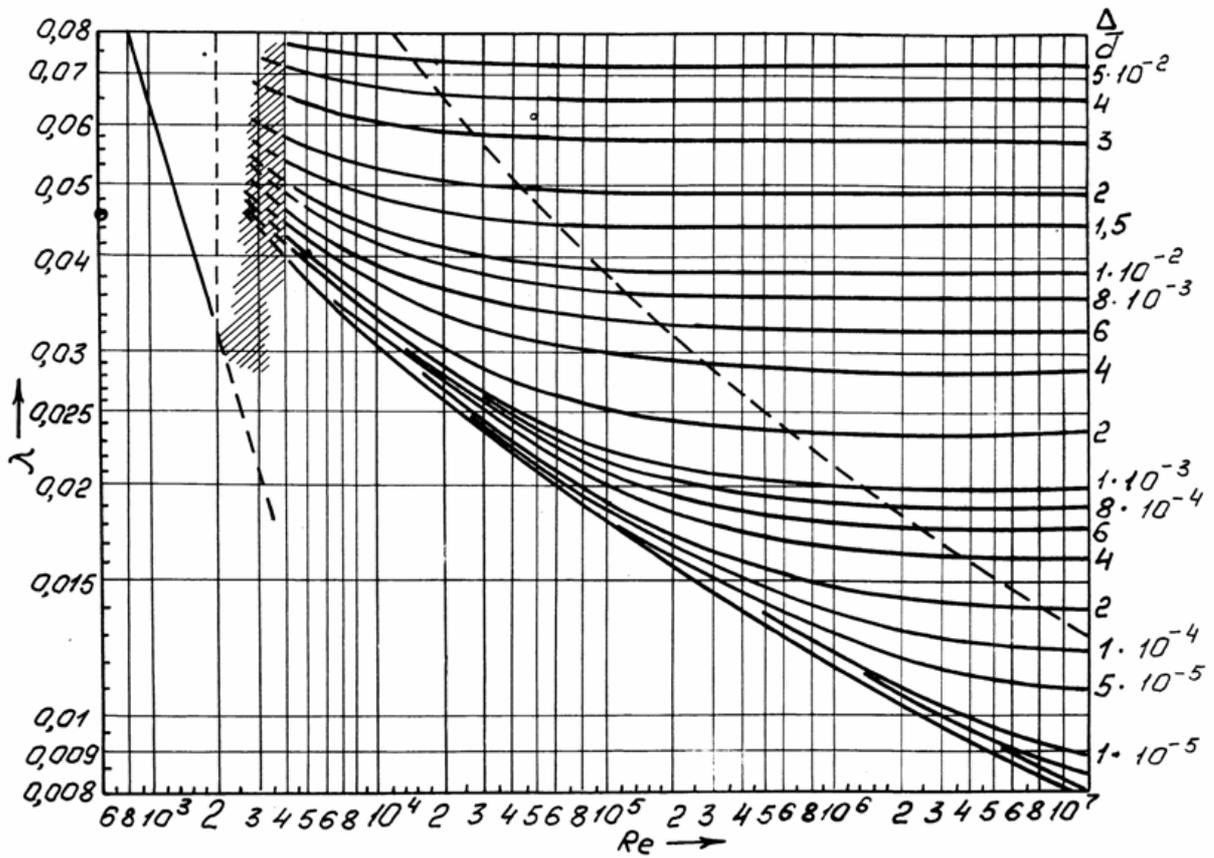


Рис.7. Зависимость коэффициента сопротивления трения  $\lambda$  от числа Рейнольдса  $Re$  и различной относительной шероховатости  $\frac{\Delta_{\text{экв}}}{d}$ .

Министерство образования и науки Украины  
Восточноевропейский национальный университет имени Владимира Даля  
Кафедра «Гидрогазодинамика»

Индивидуальное задание

по дисциплине

**«Гидравлика и гидравлические машины»**

Вариант 1.5.

(первая цифра - № задачи, вторая - порядковый номер в журнале)

Выполнил: студент группы (№ группы)      (подпись)      Фамилия, инициалы

Принял преподаватель:      Фамилия, инициалы

### Рекомендуемая литература

1. Рабинович Е.З. Гидравлика. Учебное пособие для вузов. - М.: Недра, 1980. - 278 с.
2. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.
3. Вакина В.В. и др. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов - К.: Выща школа. - 1987.-208 с.
4. Столбов Л.С. и др. Основы гидравлики и гидропривода станков. М.: Машиностроение, 1988. -255 с.
5. Альтшуль А.Д. и др. Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1987. - 414 с.
6. Гейер М.С. и др. Гидравлика и гидропривод. М.: Недра, 1981. - 296 с.
7. Куколевский И.И. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. М.: Машиностроение, 1972. - 472 с.