

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова
(технический университет)

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ГИДРОЛОГИИ И ГИДРОМЕТРИИ

*Программа, методические указания и контрольные задания для
студентов заочной формы обучения специальности 130302*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011**

УДК 556.3 (075.83)

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ГИДРОЛОГИИ И ГИДРОМЕТРИИ:

Программа, методические указания и контрольные задания / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). Сост.: *Н.С. Петров, Д.Л. Устюгов*. СПб., 2011. с. 17

Изложен порядок и указан объем курса «Основы гидравлики, гидрологии и гидрометрии» для студентов заочной формы обучения специальности 130302 «Поиски и разведка месторождений подземных вод и инженерно-геологические изыскания». Предложены варианты расчетных заданий, а также библиографический список.

Табл. 5 . Библиогр.: 3 назв.

Научный редактор проф. *В.В. Антонов*

© Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В. Плеханова, 2011 г.

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Основы гидравлики, гидрологии и гидрометрии» - один из начальных курсов гидрогеологического и инженерно-геологического профиля имеет большое значение для подготовки горного инженера по специальности «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания».

В соответствии с названием изучаемый курс состоит из трех разделов: 1) основы гидравлики; 2) основы гидрологии и 3) основы гидрометрии.

В разделе «Основы гидравлики» рассматриваются теоретические основы гидравлики и применение основных законов гидростатики и гидродинамики для решения практических задач гидрогеологии и инженерной геологии.

Раздел «Основы гидрологии» посвящен определению и последующему использованию основных характеристик стока поверхностных водотоков (рек), методам разделения общего стока на подземный и поверхностные стоки с помощью расчленения гидрографа реки.

Раздел «Основы гидрометрии» включает рассмотрение методов проведения и интерпретации гидрометрических наблюдений (наблюдений за изменением уровня режима поверхностных водотоков, их расходов и др.).

При изучении курса студент должен твердо освоить основные законы гидростатики и гидродинамики, методические приемы определения основных характеристик стока поверхностных водотоков, методы организации, проведения и интерпретации гидрометрических замеров на реках.

В связи с тем, что курс «Основы гидравлики, гидрологии и гидрометрии» состоит из трех разделов, методические указания по разделам курса построены в порядке его изучения. Каждый раздел в свою очередь разбит на несколько тем. В конце каждой темы даны вопросы для самопроверки, на которые студент должен ответить прежде, чем перейти к изучению следующей темы.

Материал курса изучают самостоятельно с помощью рекомендуемых учебных пособий и учебников. Изученный материал ре-

комендуется конспектировать с обязательным пояснением текста рисунками и схемами, взятыми из учебников.

В процессе изучения курса студент должен выполнить три контрольных задания и сдать зачет.

После окончания изучения дисциплины студент должен:

- знать основные уравнения гидростатики и гидродинамики и уметь применять их для решения практических задач гидрогеологического и инженерно-геологического направлений;

- владеть методами расчета характеристик общего стока поверхностных водотоков и методиками разделения общего стока реки на подземный и поверхностный стоки путем расчленения гидрографа реки;

- уметь обосновать необходимость привлечения тех или иных гидравлических, гидрологических и гидрометрических показателей для решения гидрогеологических и инженерно-геологических проблем.

Раздел 1. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

Тема 1.1 ЖИДКОСТЬ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Программа. Реальные и идеальные жидкости. Массовые и поверхностные силы, действующие на жидкость. Давления и напряжения на жидкость и их размерности в системе СИ и СГС. Понятия о плотности, удельном весе, вязкости, сжимаемости и температурном расширении жидкостей.

Методические указания. При изучении данной темы следует обратить внимание на силы и давления, действующие на жидкость, находящейся в состоянии равновесия (покоя) и движения. Уметь четко устанавливать взаимосвязь величин давления жидкости, выражаемых в системах измерений СИ и СГС.

Следует изучить основные характеристики, предопределяющие физические свойства жидкости и параметры их характеризующие. Необходимо иметь представление о взаимосвязи динамического и кинематического коэффициентов вязкости жидкости, о влиянии

возрастающего давления на сжимаемость жидкости и о влиянии температуры на расширение жидкости.

Контрольные вопросы

1. Принципиальное отличие реальных и идеальных жидкостей
2. Какие объемные силы, действуют на движущую жидкость?
3. Что такое вязкость жидкости, и какими единицами она характеризуется?
4. Как взаимосвязаны между собой плотность и вязкость жидкости?
5. Единицы измерения силы и давления в Международной системе единиц (СИ).

Тема 1.2 ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

Программа. Понятие о полном гидростатическом, манометрическом (избыточном) и вакуумметрическом давлениях. Пьезометрическая и вакуумметрическая высоты. Гидростатический напор и энергетическая составляющая гидростатического напора. Давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Условия плавания и плавучести тел.

Методические указания. Гидростатика - раздел гидравлики, рассматривающий законы жидкости в состоянии равновесия.

Основным понятием гидростатики является гидростатическое давление. Полное гидростатическое давление – это давление в любой точке жидкости, складывающееся из двух составляющих: внешнего давления и давления, оказываемого на точку вышележащей толщей жидкости. Давление на жидкость, превышающее атмосферное, называется избыточным (манометрическим) давлением. Если давление на поверхность жидкости меньше атмосферного давления, то избыточное давление становится отрицательным и в жидкости имеет место вакуум, а давление в жидкости называется вакуумметрическим давлением.

Следует обратить внимание на отличительные особенности гидростатического давления и гидростатического напора. Гидростатическим напором называется высота от выбранной плоскости сравнения до поверхности, где давление равно атмосферному давлению. Гидростатический напор не зависит от глубины погружения точки в жидкость и является величиной постоянной.

Гидростатический напор в гидравлике (гидрогеологии) используется в качестве показателя полной потенциальной энергии объема покоящейся жидкости. При этом пьезометрическая высота характеризует долю потенциальной энергии частицы жидкости, связанной с действием гидростатического давления, а геометрическая высота характеризует долю потенциальной энергии частицы жидкости, находящейся на определенной высоте от плоскости сравнения.

Для решения ряда практических задач необходимо освоить основные аналитические зависимости, отражающие давление жидкости на наклонную стенку, на дно сосуда, на вертикальную прямоугольную стенку и на криволинейную внутреннюю стенку трубы.

Жидкость оказывает давление на погруженное в нее тело. В соответствии с законом Архимеда, тело, погруженное в жидкость, находится под действием подъемной силы гидростатического давления, направленной снизу вверх и равное весу объема жидкости, вытесненной телом. В связи с этим, необходимо знать требуемые условия плавания и плавучести тел, а также условия равновесия при плавании тела.

Контрольные вопросы

1. Напишите уравнение полного гидростатического давления
2. Чем отличается полное гидростатическое давление от избыточного (манометрического) давления?
3. Что называется вакуумом и как выглядит формула вакуумметрического давления?
4. Напишите зависимость гидростатического напора от геометрической и пьезометрической высот?
5. Сформулируйте закон Архимеда

Тема 1.3 ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

Программа. Основные положения гидродинамики. Виды движения жидкостей. Понятия о расходе, скорости движения и площади живого сечения жидкости, смоченном периметре и гидравлическом радиусе.

Уравнение неразрывности потока. Уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Геометрический и энергетический смысл уравнения Бернулли. Особенности подсчета потерь напора движущейся жидкости. Практическое применение уравнения Бернулли. Гидродинамический напор.

Ламинарное и турбулентное движение жидкости и критерий Рейнольдса. Особенности движения жидкости в трубах, открытых руслах и канавах. Водосливы и расчет расхода воды через водосливы.

Методические указания. Гидродинамика это раздел гидравлики, который изучает законы движения жидкостей и взаимодействия между движущейся жидкостью и твердыми телами.

При изучении гидродинамики необходимо освоить основные законы, описывающие движение жидкости – уравнение неразрывности потока жидкости и уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Эти уравнения широко привлекаются для решения ряда практических задач, связанных с движением жидкостей. Так, для определения расхода и скорости потока жидкости привлекаются, соответственно, водомер Вентури и трубка Пито, принцип работы которых базируется на основных положениях гидродинамики. Обратите также особое внимание на отличительные особенности гидростатического и гидродинамического напоров.

При движении реальных жидкостей важно знать и учитывать потери напоров по длине движения жидкости и местные потери напоров, необходимо также знать основные аналитические зависимости для расчета потерь напоров.

Движение реальной жидкости всегда сопровождается расходом ее энергии на преодоление сил сопротивления этом движению; при этом величина потерь энергии при прочих равных условиях зависит от режима движения жидкости. В гидродинамике вы-

деляются ламинарный и турбулентный режимы. Выбор того или иного режима движения жидкости определяется по критическому числу Рейнольдса ($R_{кр}$), которое зависит от скорости, геометрических размеров стенок потока (трубы, русла реки и др.) и степени вязкости жидкости. Турбулентное движение жидкости наблюдается при $R_{кр} > 2300$, ламинарное – при $R_{кр} < 2300$.

Расход малых поверхностных водотоков (ручьев, родников и др.) можно определить с помощью водосливов. Водосливы представляют собой искусственно создаваемую стенку, через которую переливается вода. По геометрической форме выреза отверстий в стенке водосливы бывают прямоугольные, треугольные и трапециевидные. Необходимо освоить основные аналитические зависимости, привлекаемые для определения расхода воды с помощью водосливов различной формы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение площади живого сечения, смоченного периметра и гидравлического радиуса потока жидкости.
2. Приведите вывод уравнения Бернулли для двух сечений потока реальной жидкости и укажите практическое применение этого уравнения.
3. Напишите формулу гидростатического и гидродинамического напоров и объясните их геометрический и энергетический смысл.
4. Поясните сущность ламинарного и турбулентного потока жидкости.
5. Напишите формулу расчета расхода воды, перетекающей через водослив с трапециевидным вырезом.

Раздел 2. ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИИ

Тема 2.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА РЕКИ

Гидрология это наука, изучающая поверхностные воды, в частности, воды крупных рек для решения ряда практических задач (судоходство, гидротехническое строительство (ГЭС), водоснабжение и др.).

Программа. Определение гидрологии как науки. Понятие о водосборных бассейнах и их площадях. Расчетный створ реки. Подземный и поверхностный стоки и их характеристики (модуль стока, объем стока, слой стока).

Методические указания. Обратите внимание, что при гидрологических исследованиях изучается водосборный бассейн поверхностного водотока - территория, с которой вся попадающая на нее вода стекает в поверхностный водоток. Выделяются поверхностный и подземный водосборные бассейны, для которых рассчитываются характеристики стока. Необходимо знать определение модуля, объема и слоя стока.

Модуль стока – расход воды (л/с), стекающий с 1 км^2 водосборной площади. Объем стока - объем воды, протекающий через расчетный створ за период времени T . Слой стока – воображаемый слой объема стока, равномерно распределяемый по всей площади водосборного бассейна.

Контрольные вопросы

1. Объясните практическую значимость характеристик стока реки для решения проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения на базе речных вод.
2. Совпадают ли площади поверхностного по подземного (грунтовые воды) водосборных бассейном реки?
3. Какова размерность модуля стока реки?
4. Напишите формулу для расчета коэффициента стока реки.

Тема 2.2 МЕТОДЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФА РЕКИ

Программа. Гидрограф реки и его предназначение. Особенности его построения. Методы расчленения гидрографа реки. Особенности расчета характеристик подземного и поверхностного стока по данным гидрографа.

Методические указания. Гидрограф реки – график изменения расхода реки (вертикальная ось) во времени (горизонтальная ось). Предназначается для разделения поверхностного и подземного стоков реки. При изучении этого раздела необходимо освоить методику построения гидрографа реки, выделения на нем периодов зимней и летней межени, половодья (весеннего паводка) и уметь рассчитывать численные значения подземного и поверхностного стоков. Уметь определять по данным поверхностного и подземного стоков основные их характеристики.

Контрольные вопросы

1. Какие исходные данные необходимы для построения гидрографа реки?
2. В чем смысл масштабного коэффициента, привлекаемого для расчленения гидрографа реки?
3. Почему в период весеннего половодья (паводка) отсутствует подземный сток в реку?
4. Как по численным данным подземного стока, определенного путем расчленения гидрографа реки, рассчитать модуль подземного стока реки?

Раздел 3. ОСНОВЫ ГИДРОМЕТРИИ

Гидрометрия – наука, разрабатывающая методы измерения гидрологических характеристик поверхностных водотоков (методов измерений уровней и замеров расходов воды).

Тема 3.1 МЕТОДЫ ЗАМЕРОВ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКАХ

Программа. Измерения колебаний уровней воды в реках по речным и свайным водомерным постам. Рекомендации по организации и оборудованию подобных водомерных постов. Примеры водомерных постов.

Методические указания. Необходимо усвоить назначение речного и свайного водомерных постов, обратить внимание на их конструктивные особенности и методические приемы замеров уровней воды в реке.

Тема 3.2 МЕТОДЫ ЗАМЕРОВ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ И РАСХОДОВ РЕКИ

Программа. Расчетная формула определения расхода реки. Способы замеров и расчетов площади живого сечения реки. Методика проведения и расчета средней скорости движения воды в реке. Конструктивные особенности гидрометрической вертушки и способы замеров скоростей движения воды в реке с помощью гидрометрической вертушки

Методические указания. Необходимо обратить внимание на то, что прямых методов определения расходов крупных водотоков (рек) не существует. Расход реки определяется произведением средней скорости водного потока на площадь живого сечения реки. При изучении этого раздела гидрометрии следует освоить методику определения скоростей водного потока поплавковым методом и с помощью гидрологической вертушки, а также способы определения площади живого сечения крупных рек.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте конструктивные особенности речного и свайного водомерных постов?
2. Какие исходные данные необходимы для аналитического расчета расхода реки?

3. Как осуществляется расчет площади живого сечения реки?
4. Объясните методические приемы расчета средней скорости движения воды в реке поплавковым методом?
5. Как рассчитывается скорость движения воды в реке при использовании гидрометрической вертушки?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

В период обучения и освоения курса необходимо выполнить три контрольных задания состоящих из задач. Если условия задачи предложены по вариантам, то номер выполняемого варианта должен соответствовать последней цифре шифра зачетной книжки студента.

При оформлении контрольных заданий на титульном листе указать название работы, свою фамилию, инициалы, факультет, специальность, группу, курс, шифр и домашний адрес.

Условие задания должно быть приведено полностью. Решение необходимо сопровождать краткими пояснениями, необходимыми рисунками и списком литературы, использованной для выполнения контрольного задания.

После получения из института рецензии на работу студент обязан, исправив все отмеченные преподавателем ошибки, вернуть ее в институт.

Задание 1

Задача №1. При проходке горизонтальной выработки в водоупорных породах (для выяснения гидрогеологических условий), проводится разведочное бурение в кровлю выработки. Вертикальная скважина, пройдя h (м), вскрыла водоносный горизонт, была заглушена и оборудована манометром. Манометр показал давление p (кг/см²)/

Требуется определить мощность водоносного горизонта h_0

Таблица 1

Варианты численных значений исходных параметров

Исходные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	10,0	11,2	12,6	13,0	14,4	15,1	16,7	17,9	18,3	18,5
P , кг/см ²	1,80	1,93	2,08	2,43	2,51	2,74	2,81	2,94	3,0	3,05

Задача №2. При первоначальном атмосферном давлении $p_{\text{атм}} = 760$ мм. ртутного столба ($1,033$ кг/см²) глубина воды в скважине составляла 10 метров. Как изменится глубина воды в скважине при соответствующем изменении атмосферного давления до:

- а) 770 мм. ртутного столба (т.е. возрастет на 10 мм. рт.столба);
 б) 750 мм. ртутного столба (т.е. уменьшится на 10 мм. рт.столба).

Задача 3. Всасывающая трубка центробежного насоса опущена в колодец. В насосе установлено пониженное давление $p = 0,45$ кг/см² (т.е. меньше атмосферного, которое равняется $p_{\text{атм}} = 1$ кг/см²).

С какой максимальной глубины может поднять воду насос из колодца?

Задание 2

Задача 1. Уравнение Бернулли широко используется для решения ряда практических задач. В частности, для определения расхода жидкости, протекающей в трубопроводе, по коническому водомеру Вентури. Водомер Вентури состоит из конической вставки на трубе, снабженной двумя пьезометрами: перед сужением и в другом узком месте водомера.

Требуется определить расход воды в трубе с помощью водомера Вентури при следующих исходных данных: разность горизонтов воды в пьезометрах h , диаметры водомера d_1 и d_2 .

Таблица 2

Варианты численных значений исходных параметров

Исходные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	77	80	85	90	95	70	60	75	85	90
d_2 , мм	49	55	57	60	62	50	30	60	65	70
h , см	22	25	27	28	30	22	20	24	27	30

Задача 2. Пренебрегая потерями напора определить высоту установки центра насоса над уровнем воды в колодце при условии, что откачивается вода с расходом Q , диаметр всасывающей трубы насоса d , уровень воды в колодце в период откачки воды остается неизменным. Насос работает при вакууме $h_{vac} = 6,0$ м.

Таблица 3

Варианты численных значений исходных параметров

Исходные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/сек	50	55	60	60	70	25	30	40	45	50
d , мм	200	200	200	250	250	100	125	150	150	150

Задание 3

Задача 1. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов часто привлекаются поверхностные воды. Для отбора воды из реки при пологом залегании берега используются водоприемники руслового типа. Из них вода отбирается из русла реки, по системе самотечной линии, оборудованной при входе воды в нее сеткой, подается в водоприемник (колодец) и откачивается насосами потребителю.

Поверхностный центробежный насос откачивает воду с расходом Q . Для обеспечения такого расхода воды необходимо, чтобы уровень в колодце был ниже уровня воды в реке на некоторую величину H . Требуется определить численное значение H , если длина самотечной линии равна l , а ее диаметр d .

Таблица 4

Варианты численных значений исходных параметров

Исходные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/сек	10	12	16	18	20	8	10	14	11	12
d , мм	200	200	200	250	250	100	125	150	150	150
l , м	50,0	50,0	75,0	75,0	45,0	45,0	60,0	60,0	80,0	80,0

Задача 2. Поверхностный центробежный насос откачивает воду из колодца с расходом Q . Длина всасывающей трубы l , диаметр ее d . Труба имеет три закругления радиусом $r=260$ мм и снабжена предохранительным клапаном с сеткой.

Требуется определить (с учетом потерь напора на трение) высоту центра насоса над уровнем воды в колодце ($h_{нас}$). Насос работает при вакууме h_{vac} .

Таблица 5

Варианты численных значений исходных параметров

Исходные параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/сек	10	12	16	18	20	8	10	14	11	12
d , мм	100	100	125	125	150	100	125	150	150	150
l , м	8,0	9,0	9,0	9,5	10,0	12,5	12,5	13,0	13,0	13,0

Список рекомендуемой литературы

1. *Лучшева А.А.* Основы гидравлики и гидрологии. М., Недра, 1985.
2. *Штеренлихт Д.В.* Гидравлика. Учебник для ВУЗов. М., Колосс, 2008.
3. Сборник задач по гидравлике. Под редакцией В.А. Большакова. Киев. «Вища школа», 1995.

Содержание

Введение.....	3
Раздел 1. Основы гидравлики.....	4
Тема 1.1 Жидкость и ее физические свойства.....	4
Тема 1.2 Основы гидростатики.....	5
Тема 1.3 Основы гидродинамики.....	7
Раздел 2. Основы гидрологии.....	9
Тема 2.1 Основные характеристики стока реки.....	9
Тема 2.2 Методы расчленения гидрографа реки.....	10
Раздел 3. Основы гидрометрии.....	10
Тема 3.1 Методы замеров уровней воды в реках.....	11
Тема 3.2 Методы замеров скорости движения и расходов реки.....	11
Контрольные задания.....	12
Список рекомендуемой литературы.....	16