

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Некоммерческое акционерное общество «Холдинг «Кәсіпқор»

**КИМКИНА В.М., САЛАМАТИНА А.С.,
МАКИШЕВ Д.Н., ТЮРИН В.М.**

**ПРОСТЕЙШИЕ ПОЛЕВЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

*Разработано в качестве учебного пособия по
актуализированным типовым учебным планам и программам для системы
технического и профессионального, после среднего образования по
специальности 0703000 – «Гидрогеология и инженерная геология»*

Астана, 2018 г.

УДК 556 (075)
ББК 26. 22 я 73
ПЗ8

Простейшие полевые гидрогеологические и инженерно-геологические работы: Учебное пособие / Кимкина В.М., Саламатина А.С., Макишев Д.Н., Тюрин В.М. – Астана: Некоммерческое акционерное общество «Холдинг «Кәсіпқор», 2018 г. – 116 стр.

ISBN 978-601-333-444-8

Учебное пособие разработано в соответствии с актуализированными типовыми учебными планом и программой по специальности ТиПО 0703000 – «Гидрогеология и инженерная геология». Включены основные материалы теоретического и практического курса по профессиональному модулю ПМ 03. «Выполнение простейших полевых гидрогеологических и инженерно-геологических работ», а также контрольные вопросы и задания для оценки результатов обучения. Благодаря четким определениям основных понятий, их признаков и особенностей, студент может за короткий срок усвоить и переработать важную часть информации и быть компетентным специалистом по вопросам простейших полевых гидрогеологических и инженерно-геологических работ. Учебное пособие будет полезно не только студентам, но и преподавателям при подготовке и проведении занятий.

УДК 556 (075)
ББК 26. 22 я 73

Рецензенты:

К.т.н., преподаватель специальных дисциплин КГКП «Геологоразведочный колледж» УО ВКО – М.П. Талерчик

Преподаватель высшей категории КГКП «Геологоразведочный колледж» УО ВКО – Л.Н. Гребенюкова

Инженер-геолог ТОО «ВостокКазГеоПроект» - Р.Р. Якупов

Одобрено Научно-методическим советом НАО «Холдинг «Кәсіпқор»,
Протокол № 2 от 26.09.2018 г

©НАО «Холдинг «Кәсіпқор», 2018 г.

Оглавление

Введение	5
Общая гидрогеология	6
1.1 Введение	6
1.2 Вода в природе	8
1.3 Физические и водные свойства горных пород	12
1.4 Основные сведения по гидрогеотермии	13
1.5 Физические свойства, химический и бактериальный составы подземных вод	16
1.5.1 Физические свойства воды	16
1.5.2 Химический состав воды	20
1.5.3 Основные показатели химических свойств воды	21
1.6 Контрольные вопросы и задания по общей гидрогеологии	27
Инженерная геология. Грунтоведение.	28
2.1 Введение	28
2.2 Основы грунтоведения	30
2.2.1 Формирование физико-механических свойств грунтов	31
2.2.2 Литогенез осадочных горных пород	31
2.2.3 Генетические типы четвертичных пород	32
2.2.4 Минеральный состав грунтов	33
2.2.5 Коллоидные свойства грунтов	36
2.2.6 Структура и текстура грунтов	38
2.2.7 Вода и воздух в грунтах	40
2.2.8 Инженерно-геологическая классификация грунтов	42
2.3 Контрольные вопросы и задания по Инженерной геологии. Раздел «грунтоведение»	44
Основы гидравлики и гидрометрии	45
3.1 Введение	45
3.2 Глава 1. Гидравлика	45
3.2.1 Жидкость и ее физические свойства	45
3.2.2 Общие сведения о жидкости. Жидкость как физическое тело	47
3.2.3 Свойства жидкости	47
3.3 Глава 2. Гидростатика	50
3.3.1 Гидростатическое давление и его свойства	50
3.3.2 Основное уравнение гидростатики	51
3.3.3 Некоторые понятия в гидростатике	52
3.3.4 Давление жидкости на плоские поверхности	55
3.3.5 Плавание тел	58
3.4 Глава 3. Гидродинамика	60
3.4.1 Основные понятия гидродинамики	60
3.4.2 Уравнения Д. Бернулли	62
3.4.3 Практическое применение уравнения Д. Бернулли	66
3.5 Глава 4. Гидравлические сопротивления	69
3.5.1 Ламинарное и турбулентное движение жидкости и критерий Рейнольдса	69

3.6 Глава 5. Напорное движение в трубах	74
3.6.1 Гидравлический удар	76
3.7 Глава 6. Истечение жидкостей из отверстий, насадок и через водосливы	76
3.7.1 Виды отверстий и насадок	76
3.8 Глава 7. Движение жидкости в открытых руслах и каналах	82
3.8.1 Расчет дренажных труб	83
3.9 Глава 8. Основы гидрометрии	91
3.9.1 Уровень воды	91
3.9.2 Глубина рек	92
3.9.3 Скорость течения воды	93
3.9.4 Расход воды	94
3.10 Глава 9. Основы гидрологии	96
3.10.1 Виды воды на Земле. Круговорот воды в природе. Водный баланс	96
3.11 Контрольные вопросы и задания по Основам гидравлики и гидрометрии	101
Глоссарий	108
Перечень использованной литературы	116

Введение

Учебное пособие предусматривает возможность самостоятельного обучения студентов по профессиональному модулю ПМ 03. «Выполнение простейших полевых гидрогеологических и инженерно-геологических работ». Содержит теоретический материал и соответствующие практические задания для оценки результатов обучения по данному модулю.

Материал предусматривает ознакомление обучающихся с наукой о подземной гидросфере, изучающей ее историю, ресурсы и состав, закономерности пространственного распределения составляющих ее компонентов, происходящие в ней процессы и взаимодействие с окружающими земными оболочками, а также хозяйственное значение компонентов подземной гидросферы и влияние на них хозяйственной деятельности человека. Изучение основных задач инженерной геологии, структур и текстур грунтов, видов воды в грунтах, основ грунтоведения, основ гидравлики и гидрометрии, решение задач по основным уравнениям гидростатики и гидродинамики, методики проведения гидрометрических работ, гидрологических методов изучения связи поверхностных и подземных вод, расчетов поверхностного и подземного стока.

Учебное пособие состоит из трех разделов:

1. Общая гидрогеология
2. Инженерная геология. Грунтоведение.
3. Основы гидравлики и гидрометрии

Результатами изучения данного модуля является приобретение следующих навыков:

- владение основными законами статики и динамики жидкости;
- ориентирование в типах, генезисе, характеристиках подземных вод и гидродинамических особенностях потоков;
- способность определять типы грунтов, их происхождение и свойства.

При изучении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами и Международной системой единиц измерений. Маркировку, технические характеристики приборов и оборудования необходимо проводить в соответствии с техническими условиями, нормами и ГОСТами.

Особое внимание следует обратить на изучение специальной методики и техники полевых и лабораторных исследований, а также методики проведения гидрогеологических исследований для решения конкретных хозяйственных задач. При решении примеров и задач по обработке гидрогеологической информации рекомендуется применять методы математической статистики.

1. ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

1.1 ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеология – наука о подземных водах, их ресурсах, составе, закономерностях распространения, хозяйственном значении и влияния на человека.

Гидрогеология является отраслью геологии и изучает подземные воды на основе анализа истории развития земной коры в тесной связи с горными породами, слагающими литосферу. [3]

В состав гидрогеологии входят следующие разделы:

➤ **Общая гидрогеология** – рассматривает общие закономерности распространения подземных вод, их характеристики, методику их использования, классификацию.

➤ **Динамика подземных вод** – изучает законы движения подземных вод в природных условиях, при изменении этих условий в результате строительства инженерных сооружений, определяет количественно их ресурсы и запасы.

➤ **Методика гидрогеологических исследований** – изучает методы и способы исследований различных месторождений подземных вод, а также технические средства для осуществления этих исследований.

➤ **Региональная гидрогеология** – изучает крупные месторождения, приуроченные к крупным геологическим структурам, их взаимное влияние друг на друга. В Казахстане это Туранская гидрогеологическая область, Западно-Сибирская гидрогеологическая область, Тянь-Шанско-Джунгаро-Памирская гидрогеологическая складчатая область и Центрально-Казахстанская, Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологические складчатые области. [5]

Кроме указанных разделов гидрогеология включает в себя:

1. гидрогеохимию;
2. гидрогеологию месторождений полезных ископаемых (рудничная гидрогеология).
3. учение о минеральных, промышленных и термальных водах;
4. радиогидрогеологию,
5. мелиоративную гидрогеологию;
6. учение о режиме и балансе подземных вод;
7. палеогидрогеологию.

Гидрогеология Казахстана имеет решающее влияние на экономику страны, так как Республика находится в условиях аридного (сухого) климата.

При отсутствии достаточного количества осадков и поверхностного стока, формируются специальные гидрогеологические условия: подземные воды имеют высокую минерализацию, а воды пригодные для использования залегают глубоко и очень трудно разрабатываются.

В Казахстане дефицит воды становится с каждым годом все больше. Это связано с природными условиями и не рациональным использованием водных ресурсов региона.

На сегодняшний день имеются несколько критических зон: Арал, Каспий, Прибалхашье, где природный водный баланс постепенно смещается в область нарушения экологического равновесия.

Всего на земле расход воды 3 млн км³ в год, полное водопотребление в Казахстане 15,3 км³ из них около 68% идет на орошение, которое в свою очередь также приводит к нарушению экологического равновесия при неразумном пользовании.

Роль воды в жизни человечества можно представить в виде следующих направлений:

а) личное использование человеком с целью санитарного питьевого потребления: если в древности этот расход составлял до 18 литров в день, в 19 веке до 60л, то в настоящее время от 400 до 600 литров;

б) орошение земель;

с) использование воды в технологических циклах для получения различных материалов, изделий, (например: для производства 1т стали используется 250т воды; целлюлозы – 1500т; каучука – 2000т и т.д.);

д) в энергетических целях – вода является самым надежным и экологически чистым источником для получения электрической энергии;

е) вода является уникальным растворителем, а также природным регулятором климата, в связи с этим, формирование планеты Земля в том виде, в котором она существует, является следствием уникальных свойств воды. Благодаря этим свойствам возникает много типов МПИ, а в связи с этим и совершенствуются способы их разработки.

Главная проблема современности это экология. Не правильное использование воды приводит к сокращению чистых источников, сама вода является разносчиком экологически неблагоприятных отходов на планете создавая все более значительные области нарушения природного равновесия.

Поэтому основными направлениями гидрогеологии можно считать следующее:

1) поиски, разведка месторождений подземных вод для различных целей;

2) отслеживание качества подземных вод и их количества (мониторинг) в процессе эксплуатации водоносных горизонтов;

3) борьба с загрязнениями подземных вод, разработка способов изолирования промышленных отходов, защита подземных вод от истощения.

Необходимо учитывать, что основную часть воды (97,4%) содержат океаны и она не применима для использования в хозяйственных питьевых целях. Только (2,5%) вод находится на суше, из которых большая часть находится в виде снега и льда, оставшаяся часть составляет около (1%), которая может быть привлечена для использования. [3]

Общее количество воды на земном шаре определено приблизительно. По Л.А. Зенкевичу, общий объем воды мирового океана составляет около 1370 млн. км³, объем воды в виде льда (по К.К. Маркову)-20 млн. км³, в реках и озерах- около 751 200 км³; количество воды в литосфере, по данным различных исследований, колеблется от 15040 до 1 175 085 млн. м³.

Годовой баланс воды для земного шара можно выразить следующим соотношением:

$$Z_M + Z_c = X_M + X_c, \quad (1.1.1)$$

где Z_M – годовое испарение с поверхности океанов и морей;

Z_c – годовое испарение с поверхности суши;

X_M – годовые осадки на поверхности океанов и морей;

X_c – годовые осадки на поверхности суши.

1.2 ВОДА В ПРИРОДЕ

Одной из оболочек Земли является гидросфера. Она объединяет свободные воды, которые движутся под влиянием солнечной энергии и силы тяжести. Общий объем гидросферы 1,4 миллиарда км³, 97,55 % - это воды морей и океанов, значительная часть оставшейся пресной воды сосредоточена на полюсах в виде льда.

Процесс круговорота в природе в количественном выражении характеризуется водным балансом, уравнение которого для замкнутого речного бассейна для многолетнего периода, по Б.И. Куделину, имеет следующий вид:

$$x = y + z + w, \quad (1.2.1)$$

где x — осадки на площади водосбора, мм;

y — речной сток, мм;

z — испарение за вычетом конденсации, мм;

w — среднемноголетнее питание глубоких водоносных горизонтов за счет осадков или поступление подземных вод из глубоких горизонтов на поверхность в пределах речного бассейна, мм. [5]



Рис.1.2.1 Схема круговорота воды в природе
Источник interneturok.ru

В настоящее время расход воды составляет около 5000 куб. км в год. Это число показывает, что уже сейчас, употребление воды в среднем сопоставимо с их общим количеством, а в некоторых районах пресной воды катастрофически не хватает.

Практически единственным источником водоснабжения являются подземные воды (подземная гидросфера), которая формируется за счет:

а) **атмосферных осадков**, их количество меняется в пределах от 100мм (Кара-Кум) до 4000 мм (Грузия).

б) **испарение** – часть осадков уходит в испарение прямым путем и путем транспирации (испарение листьями растений);

в) **сток** – оставшаяся часть атмосферных осадков собирается в бассейнах поверхностных вод (водоемах), за счет подземного и поверхностного стока. Площадь, с которой стекает вода, называется бассейном стока подземного и поверхностного. [5]

Продукты испарения переносятся ветром в виде облаков и вновь выпадают в виде осадков.

Полученный замкнутый цикл называется круговоротом воды в природе. (см.Рис.1.2.1)

Подземный и поверхностный сток имеют следующие характеристики:

1. **Площадь бассейна** (подземного или поверхностного стока) – это площадь поверхности, с которой вода стекает в водоем. Она заключена между водоразделами. Измеряется в кв. километрах (F).

2. **Расход воды** – (л/с; м³/сут.) подземного или поверхностного стока – это количество воды, прошедшей в единицу времени через поперечное сечение.

3. **Модуль стока** (подземного или поверхностного) – это отношение расхода потока к площади бассейна стока (подземного или поверхностного).

$$M_{п.пов.} = \frac{Q \times 10^3}{F} \text{ (л/сек км}^2\text{)} \quad (1.2.2)$$

Для определения доли атмосферных осадков в формировании общего стока вводится коэффициент стока η который показывает отношение величины стока к выраженном в виде слоя y_0 к слою осадков x_0 выпавших на данную площадь за этот же период. $\eta = y_0 / x_0$.

Подземный сток и поверхностный сток в виде слоя воды в миллиметрах могут быть связаны с модулями стока в л/с*км² следующим соотношением $y_{подз.} = 31,54M_{подз.}$

Коэффициент подземного питания реки $K_{пп}$ и коэффициент подземного стока η_n определяется соотношениями [3]

$$K_{пп} = \frac{M_{подз.}}{M} * 100\% \quad \text{и} \quad \eta_n = \frac{y_{подз.}}{x_0} * 100\% \quad (1.2.3)$$

Виды воды в горных породах

Вода может находиться в следующих состояниях: жидком, твердом, газообразном, связанном. Остановим свое внимание на связанной воде.

Связанная вода характерна тем, что на определенное время она исключается в круговороте, накрепко соединяясь в молекулах горных пород в химических структурах.

Различают:

1. *Химически связанная вода* входит в виде нейтральных молекул или ионов в химическую формулу минералов. Примером тому является вода гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Она может быть удалена при нагревании.

2. В связи с накоплением новых данных экспериментальных и полевых исследований классификация А.Ф. Лебедева получила дальнейшее развитие в трудах многих ученых Советского Союза (Роде, 1952; Сергеев, 1971; Ломтадзе, 1970 и др.). Исходя из запросов инженерной геологии и грунтоведения, многие авторы детализируют представления о гигроскопической и пленочной воде в классификации А.Ф. Лебедева. Эти виды воды называют *физически связанной водой*. [3]

По характеру связи с минеральными частицами и по особенностям свойств, связанная вода подразделяется на прочносвязанную воду (адсорбированную, гигроскопическую), удерживаемую на поверхности частиц породы силами, соответствующими сотням и тысячам атмосфер, и рыхлосвязанную воду, слою которой более удалены от частиц горной породы. Рыхлосвязанная вода удерживается в породах значительно меньшими силами и, по своим свойствам, существенно отличаясь от прочносвязанной, близка к свободной воде.

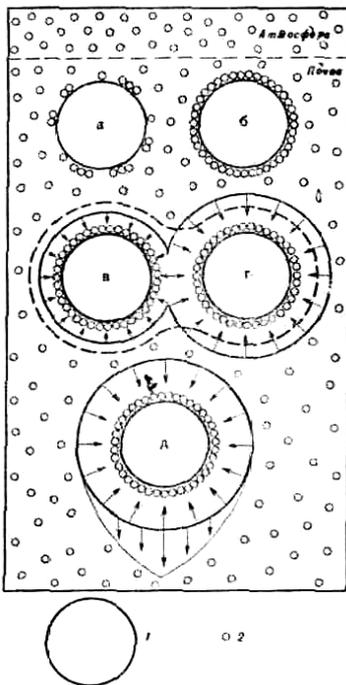


Рисунок 1.2.2 - Различные формы связи молекул воды с частицами породы

(по А. Ф. Лебедеву):

1 — частицы почвы; 2 — молекулы воды; а — гигроскопическая вода при неполном насыщении; б — то же, при полном насыщении; в и г — пленочная вода:

частица г при полном молекулярном насыщении с пленкой максимально возможной толщины; пленочная вода движется влево до выравнивания толщины пленки у обеих частиц; д — гравитационная вода, образующая каплю, которая стекает вниз под влиянием силы тяжести

Физически связанная вода в трех видах (прочно связанная, рыхло связанная, очень рыхло связанная) входит в состав рыхлых пород (глина), определяя их свойства.

Прочно связанная вода удерживается на поверхности частиц молекулярными и электростатическими силами. По свойствам

прочносвязанная вода близка к твердому телу, имеет высокую плотность, вязкость и упругость, свойственна преимущественно тонкодисперсным породам, передвигается только в форме пара, не способна растворять соли, недоступна для питания растений. По энергии связи молекул воды с частицами глинистых пород. Прочносвязанная вода не однородна и подразделяется на ряд категорий, рассматриваемых в курсах «Почвоведение» и «Грунтоведение».

Рыхлосвязанная вода располагается над прочносвязанной (адсорбированной) водой, удерживается молекулярными силами. Менее сильно связана с частицами пород, более подвижна, плотность близка к плотности свободной воды, способна передвигаться от частицы к частице породы под влиянием сорбционных сил, причем в засоленных породах передвижение воды происходит к участкам с более высокой концентрацией солей, силе тяжести также не подчиняется и не передает гидростатический напор, способность растворять соли пониженная. В известной степени доступна для использования растениями. Содержание пленочной воды может достигать: в песках 1 – 7%, супесях — 9 –13%, суглинках — 15–23%, глинах — 25–40%.

В зависимости от содержания связанной воды в породах, особенно глинистых, резко изменяются их состояние и свойства, в первую очередь прочностные. [5]

Капиллярная вода находится в капиллярных порах и трещинах горных пород, где удерживается и передвигается под влиянием капиллярных (менисковых) сил, действующих на границе воды и воздуха, находящегося в порах пород. Капиллярная вода подразделяется на три вида: собственно капиллярную, подвешенную и воду углов пор.

Собственно капиллярная вода находится в породах в виде влаги капиллярной каймы над уровнем грунтовых вод в интервале влажности от наименьшей влагоемкости (НВ) до полной влагоемкости (ПВ). В зависимости от гранулометрического состава породы мощность капиллярной каймы изменяется от нуля в галечнике, гравии до 4–5 м в глинистых породах. Положение верхней границы капиллярной каймы меняется при колебаниях уровня грунтовых вод.

Собственно капиллярная вода доступна для растений.

Подвешенная капиллярная вода располагается преимущественно в верхнем горизонте породы или в почве и не находится в непосредственной связи с уровнем грунтовых вод. При повышении влажности породы, содержащей подвешенную воду, сверх наименьшей влагоемкости вода стекает в нижележащие слои. Подвешенная капиллярная вода доступна для растений.

Вода углов пор удерживается капиллярными силами в порах песчаных и глинистых пород в местах соприкосновения их частиц.

Гидростатического давления вода углов пор не передает, растениями не может использоваться, при повышении влажности может переходить в подвешенную или в собственно капиллярную воду. [5]

1.3 ФИЗИЧЕСКИЕ И ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Под водно-физическими свойствами понимается, способность горных пород изменять физические свойства под действием воды:

1. **пластичность** - способность глинистого грунта под воздействием внешних усилий менять свою форму без разрыва сплошности, а после прекращения действия усилия сохранять полученную форму.

2. **набухаемость** - свойство глинистых грунтов увеличиваться в объеме при взаимодействии с водой. Оно сопровождается увеличением пористости и влажности грунта, при этом консистенция грунта становится более мягкой.

3. **усадка** - уменьшение объема и линейных размеров образцов грунта при высыхании. Явление усадки свойственно глинистым и органо-генным грунтам. Она сопровождается неравномерной деформацией грунта при высыхании, появлением в нем трещин, увеличением его водопроницаемости. Влажность, соответствующая постоянному объему грунта называется пределом усадки.

К водным свойствам относятся: водоемкость и влажность, капиллярность, водопроницаемость, водоотдача.

Пористость является основной характеристикой физических свойств пород, определяющих коллекторские свойства.

Наличие в горных породах различных по форме и происхождению пустот называется скважностью, т.е. в скальных породах это трещины, пустоты, в рыхлых - поры. [1]

Пористостью называется отношение объема пустот (пор.) - V_n к объему всей породы $n = V_n / V$. Для водопроницаемых пород $n = 0,1-0,2$ (крупнообломочные, пес.) до $0,5-0,6$ (гли).

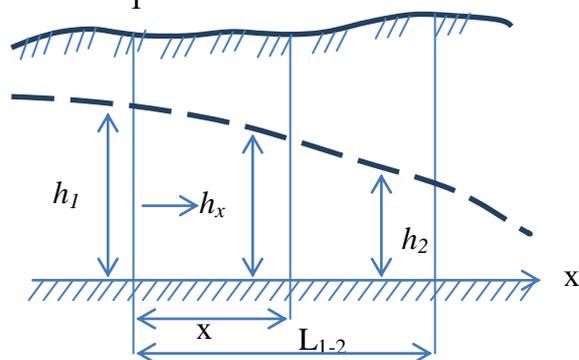


Рис. 1.3.1 Схема к определению гидростатического напора

Наиболее важными свойствами являются водоотдача и водопроницаемость.

Водоотдача – это способность водонасыщенных пород отдавать воду (гравитационную) при снижении уровня воды или давления. Поэтому различают гравитационную и упругую водоотдачу.

Гравитационная водоотдача характеризует то количество воды, которое отдает единица объема породы при свободном ее стекании в результате снижения уровня воды на ΔH , т.е. $\mu = V_v / (F * \Delta H)$.

$$\mu = 0,117 \sqrt{K_f}$$

Упругая водоотдача характеризуется объемом воды, которую отдает единица объема породы без ее осушения за счет упругого расширения воды и уменьшения пористости в объеме. Упругая водоотдача на 2-3 порядка меньше гравитационной. [4]

Вводится характеристика коэффициента водоотдачи μ и упругая водоотдача μ^* , которые равны отношению количество объема отданной воды к полному количеству, содержащемуся в породе всегда, $\mu < 1$

$$\mu = \frac{V}{V_n} \quad (1.3.1)$$

μ – для песков равно 0,19-0,24
 для суглинков 0,1-0,05
 для глинистых грунтов меньше 0,05.

Водопроницаемость – свойство пород пропускать через себя свободную воду при наличии градиента напора. Изучением водопроницаемости занимался французский физик Дарси. Расход потока прямо пропорциональна площади его сечения и гидравлического уклона:

K_f – называется коэффициентом фильтрации, он показывает количество воды, проходящее через поперечное сечение в данном грунте при напорном градиенте равного единице.

$$Q = K_f \cdot F \cdot I \quad (\text{закон Дарси}) \quad (1.3.2)$$

$$K_f = \frac{Q}{F \cdot J} \quad (\text{м/сут}); \quad J = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (1.3.3)$$

$$[K_f] = \frac{\text{м}^3 / \text{сут}}{\text{м}^2 \cdot 1} = \text{м} / \text{сут};$$

Суть гидравлического градиента на рисунке 1.3.1

K_f изменяется от 0,001 м/сут. до 1000 м/сут.

Капиллярность – явление поднятия и удержания воды в тонких порах трещинах пород под воздействием сил поверхностного натяжения, развивающихся на границе сухих и водоносных пород. Различают высоту и скорость капиллярного поднятия в породах.

Капиллярные свойства пород особенно широко проявляются в зоне аэрации, где могут вызывать процессы испарения, заболачивания, засоления земель и т.д.

Чем больше размеры пор, тем быстрее но на меньшую высоту h_k поднимается вода,

h_k составляет (в среднем) в песках - 5-120см., суглинках 120-650 см, глинах 650-1200 см. [4]

1.4 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГИДРОГЕОТЕРМИИ

Перераспределение тепла в земной коре осуществляется с помощью кондуктивного и конвективного теплопереноса. Кондуктивная теплопроводность основана на передаче энергии от частиц с большей энергией к частицам с меньшей энергией и характеризуется коэффициентом

теплопроводности λ численно равным количеству тепла, проходящему в единицу времени через единицу площади, при перепаде температуры в 1° на единицу длины. Величина коэффициента теплопроводности зависит от минералого-петрографических особенностей и влажности пород.

В результате различной инсоляции и теплопроводности пород от поверхности земли в глубину наблюдаются суточные, годовые, многолетние и многовековые колебания температур. Амплитуда колебаний температур быстро уменьшается с глубиной. На глубине 1-2м залегает слой постоянных суточных температур, а на глубине 10-40 метров залегает слой постоянных годовых температур (нейтральный слой), температура которого близка среднегодовой температуре воздуха в районе. Ниже этого слоя начинается действие теплового потока из недр. Этот поток численно характеризуется геотермическим градиентом, геотермической ступенью и плотностью теплового потока. [1]

Геотермический градиент Γ – интенсивность возрастания температуры с глубиной, геотермическая ступень Q – интервал глубин, на котором температура изменяется на 1°C . Эти показатели могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\Gamma = \frac{T_2 - T_1}{H_2 - H_1} \quad \text{и} \quad Q = \frac{H_2 - H_1}{T_2 - T_1} \quad (1.4.1)$$

где T_1 и T_2 – температуры, замеренные соответственно на глубинах H_1 и H_2 . При известной величине геотермической ступени Q можно ориентировочно прогнозировать температуру на любой заданной глубине H или определить глубину, соответствующую известной температуре T :

$$T = t_r + \frac{H - h}{Q} \quad \text{или} \quad H = (T - t_r)Q + h \quad (1.4.2)$$

где h – глубина слоя постоянных годовых температур, t_r – средняя годовая температура на поверхности почвы.

Средняя величина геотермического градиента $3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$, а геотермической ступени $33\text{м}/^{\circ}\text{C}$.

Перенос тепла подземными водами, пароводяной смесью и магматическими расплавами называют конвективным. Этот процесс наиболее активно происходит в верхней части земной коры на континентах до глубины 2-5км и в районах глубоких тектонических разломов, где перемещаются потоки подземных вод и осуществляется теплообмен с поверхностной частью гидросферы.

Большую роль в перераспределении тепла играют подземные воды зоны насыщения ввиду их интенсивного движения. В более глубоких частях литосферы конвективный теплоперенос незначителен, здесь преобладает диффузионный перенос. [4]

В подземной гидросфере выделяют три зоны по геотермическому режиму: гелиотермозону, геотермозону и гелиогетермозону.

Гелиотермозона – верхняя оболочка земной коры, гидрогеотермический режим который связан с воздействием инсоляции. Она ограничивается нейтральным слоем.

Гелиогеотермозона – располагающаяся между нейтральным слоем и границей многовековых колебаний температуры под влиянием климата, подвергается воздействию как солнечного, так и внутреннего тепла земных недр.

Геотермозона – располагающаяся ниже, находится под влиянием внутриземного тепла.

Основными теплоносителями в подземной гидросфере являются гидротермы, получающие тепло за счет внутренней энергии Земли.

Гидротермы подразделяются на термальные воды, парогидротермы (пароводная смесь) и горячие пары воды, температура которых изменяется. На поверхность Земли гидротермы выходят в виде горячих источников, гейзеров. [1]

Измерение температуры пород и воды

Для изучения температуры пород и воды, ее изменений во времени и пространстве измеряют температуры в скважинах, шахтах, колодцах, источниках, реках. Для этого используются различные термометры.



Рис. 1.4.1 Манометр-термометр-влажномер автономный скважинный Фотон

Манометр-термометр скважинный ФОТОН предназначен для диагностических исследований скважин. Прибор позволяет производить измерение значений давления, температуры и удельной электропроводности жидкости и регистрацию результатов измерений в энергонезависимой памяти. Прибор выпускается в трех исполнениях по максимальной рабочей температуре: +85°C, +130°C (В), +150°C (Т)



Рис. 1.4.2 Термометр скважинный ТС, ТСЭ

ТС предназначен для измерения температуры воздуха или воды в гидрогеологической скважине. Диапазон измерений скважинного термометра составляет от -15°C до +50°C.

Данные термометрических наблюдений выражают хронологическими графиками колебаний температур, термограммами по глубине скважины,

геотермическими картами. На геотермических картах могут быть показаны геоизотермы, термоизогипсы, данные геотермического градиента и др.

Геоизотермы – линии соединяющие точки с одинаковыми температурами на заданной глубине, а термоизогипсы – линии соединяющие точки с одинаковыми глубинами в пределах заданной изотермической поверхности. Карты геотермического градиента могут показывать его величину как по площади, так и для определенных интервалов.

Гидротермические материалы используются для решения практических задач:

1. Выделения водоносных и водоупорных толщ пород в геологическом разрезе;
2. Определения скорости фильтрации подземных вод по глубине и площади;
3. Прогноза обводненных зон при проходке горных выработок;
4. При поисках и разведке термальных вод;
5. Определения питания, разгрузки подземных вод, их вертикального перетекания в смежные горизонты и т.д. [4]

1.5 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ХИМИЧЕСКИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1.5.1 Физические свойства воды

К основным физическим свойствам воды относятся: цвет, запах, вкус, прозрачность, температура, плотность, сжимаемость, вязкость, радиоактивность и электропроводность.

Цвет подземных вод зависит от их химического состава и механических примесей. Обычно подземные воды бесцветны. Желтоватый цвет характерен для вод болотного происхождения, содержащих гуминовые вещества.

Сероводородные воды вследствие окисления H_2S и образования тонкой коллоидной мути, состоящей из частиц серы, имеют изумрудный оттенок. Цвет воды оценивается по стандартной платинокобальтовой шкале в градусах. [2]



Рис. 1.5.1.1 Платиново-кобальтовая шкала

В этой шкале цвет воды сравнивается с цветом растворов солей платины и кобальта, и а в качестве цифрового значения используется

концентрация этих солей в образцовом растворе, при которой его цвет совпадает с цветом измеряемой воды. Современные ученые проводят такие измерения с помощью компьютерных комплексов, автоматически смешивающих все необходимые растворы, а сравнение цветов нередко проводится с помощью спектрографа.

Запах в подземных водах обычно отсутствует. Ощущение запаха свидетельствует или о наличии газов биохимического происхождения (сероводород) или о присутствии гниющих органических веществ. Характер запаха выражают описательно: без запаха, сероводородный, болотный, гнилостный, плесневелый и т.д. Интенсивность запаха оценивают по шкале в баллах. [5]



Порядок работы
В коническую колбу с пробиркой (желательно стеклянной) налейте исследуемую воду до 2/3 объема и сильно встряхните в закрытом состоянии. Затем откройте колбу и отметьте характер и интенсивность запаха.

Задание
Дайте оценку интенсивности запаха воды (используя таблицу «Характеристика запаха»)

Вывод
Имеет слабый хлорный запах (1-2 балла)

Рис. 1.5.1.2 Определение интенсивности запаха

Вкус воды зависит от состава растворенных веществ. Солёный вкус вызывается хлористым натрием, горький – сульфатом магния, ржавый – солями железа. Сладковатый вкус имеют воды, богатые органическими веществами, наличие свободной углекислоты придает приятный освежающий вкус. Вкус воды оценивается по таблице в баллах.

Прозрачность подземных вод зависит от количества, растворенных в них, минеральных веществ, содержания механических примесей, органических веществ и коллоидов. [5]

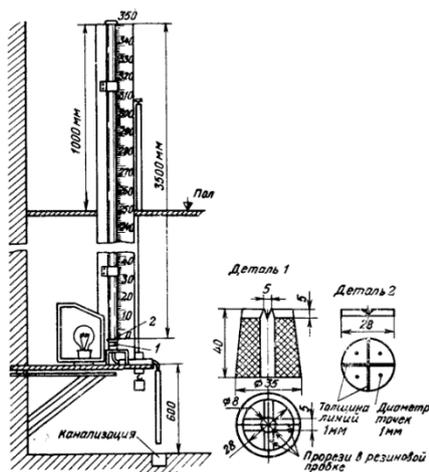


Рис. 1.5.1.3 Прибор для определения прозрачности воды по кресту

По кресту. Находят предельную высоту столба воды, через которую просматривается рисунок черного креста на белом фоне с толщиной линий равной 1 мм, и четырех черных кружочков диаметром равным 1 мм. Высота цилиндра, в котором проводится определение, должно быть не менее 350 см. На дне его расположена фарфоровая пластинка с крестом. Нижняя часть цилиндра должна быть освещена лампой в 300 Вт.

Для указания степени прозрачности вод служит следующая номенклатура: прозрачная, слабо-опалесцирующая, опалесцирующая, слегка мутная, мутная, сильно мутная. Подземные воды обычно бывают прозрачными. Мутность воды оценивается в мг/л по стандартной шкале.

Температура подземных вод изменяется в очень широких пределах и зависит от геотермических особенностей района. Она отражает возрастные, тектонические, литологические и гидродинамические особенности водовмещающих толщ. Температура воды влияет на их химический состав, на вязкость и на коэффициент фильтрации. В естественных условиях подземные воды могут быть переохлажденными, холодными, термальными, перегретыми. [2]

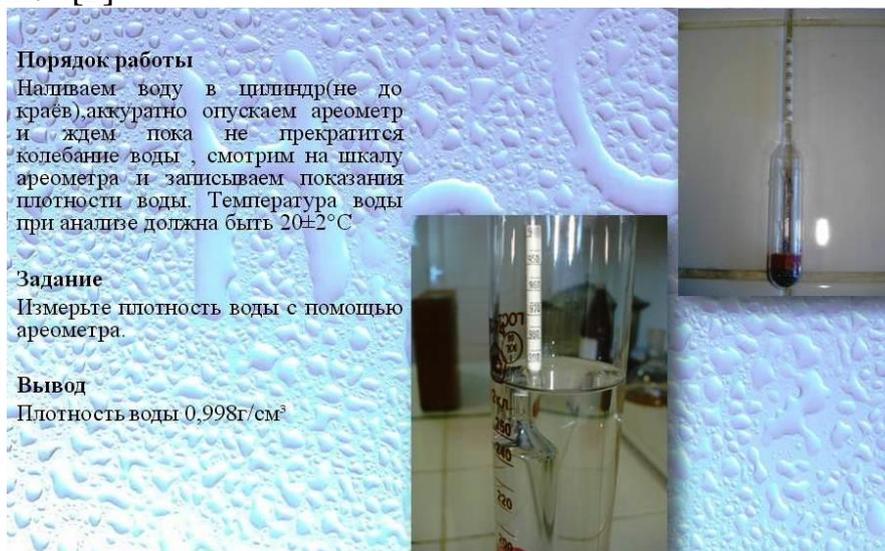


Рис. 1.5.1.4 Определение плотности воды

Плотность воды определяется отношением ее масс к объему при определенной температуре. За единицу плотности воды принята плотность дистиллированной воды при температуре 4⁰С. Плотность воды зависит от

температуры, количества растворенных в ней солей, газов и взвешенных частиц и изменяется от 1 до 1,4 г/см³.

Сжимаемость воды незначительна и характеризуется коэффициентом сжимаемости $\beta = (2,7 - 5)10^{-5} Па$. Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц жидкости ее движению, количественно она выражается коэффициентом динамической и кинематической вязкости.

Электропроводность подземных вод зависит от количества растворенных в них солей. Пресные воды обладают незначительной электропроводностью. Дистиллированная вода является изолятором. Электропроводность воды оценивают, по удельному электрическому сопротивлению, которое выражается в Ом и изменяется от 0,02 до 1,0 Ом.

Радиоактивность воды определяется содержанием в ней радона, эманиации радия. За редким исключением подземные воды в той или иной степени радиоактивны. [5]

Нормы пригодности воды. Сан ПиН РК №209 от 16.03.2015г.

Таблица 1.5.1.1

Показатели	Сан ПиН
Мутность по стандартной шкале, мг/л	не >1.5 (2)
Цветность по платино-кобальтовой шкале, мг/л	< 20
Запах при 20 ⁰ С, балл	2
Привкус при 20 ⁰ С, балл	не >2
Активная реакция, рН	6 - 9
Сухой остаток, мг/л	до 1000(1500)
Общая жесткость, мг·эquiv/л	7 (10)
Хлориды, Cl^- , мг/л	<350
Сульфаты, SO_4^{2-} , мг/л	<500
Железо, $Fe^{2+} - Fe^{3+}$, мг/л	<0,3
Марганец, Mn^{2+} , мг/л	<0,1(0,5)
Медь, Cu^{2+} , мг/л	<1
Цинк, Zn^{2+} , мг/л	<5
Остаточный алюминий, Al^{3+} , мг/л	<0,5
Свинец, Pb^{2+} , мг/л	не >0,03
Мышьяк, As^{3+5+} , мг/л	не >0,05
Фтор, F:	
а) для I и II климатических районов, мг/л	1,5
б) для III, мг/л	1,2
в) для IV, мг/л	0,7
Бериллий, Be^{2+} , мг/л	0,0002
Молибден, Mo^{2+} , мг/л	не >0,25
Нитраты, по N, мг/л	не >45
Аммиак, по N, мг/л	не >2

Полиакриламид, мг/л	не >2
Селен, Se^{2+} , мг/л	не >0,01
Стронций, Sr^{2+} , мг/л	не >7
Уран природный, U и уран – 238, мг/л	1,7
Радий 226, Ra. БК	14,8
Стронций-90. БК	7,0мг/л
Ртуть, Hg, мг/л	0,0005
Никель, Ni, мг/л	не >0,1
Кобальт, Co, мг/л	0,1
Кадмий, Cd, мг/л	0,001
Барий, Ba^{2+} , мг/л	0,1
Фенолы, мг/л	0,25
Хром, Cr^{6+} , мг/л	0,05
Хром, Cr^{3+} , мг/л	0,5
Нафтеновые кислоты, мг/л	0,3

1.5.2 Химический состав воды

Химический состав воды определяется неорганическими и органическими веществами. Наиболее важными являются содержащие неорганические вещества.

Минеральные компоненты (неорганические), растворенные в подземных водах, в зависимости от их концентрации подразделяются на микро-, макро-, ультра компоненты и радиоактивные компоненты.

К числу макрокомпонентов (главных ионов) относятся следующие анионы: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (гидрокарбон), к катионам: K^+ , Na^+ , Fe^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} . Эти ионы составляют обычно свыше 90-95% всех растворенных солей и определяют химический тип воды. [7]

Соответственно подземные воды получают название по анионо-катионному преобладающему составу.

Название ионов рассмотрим на примере электролиза поваренной соли

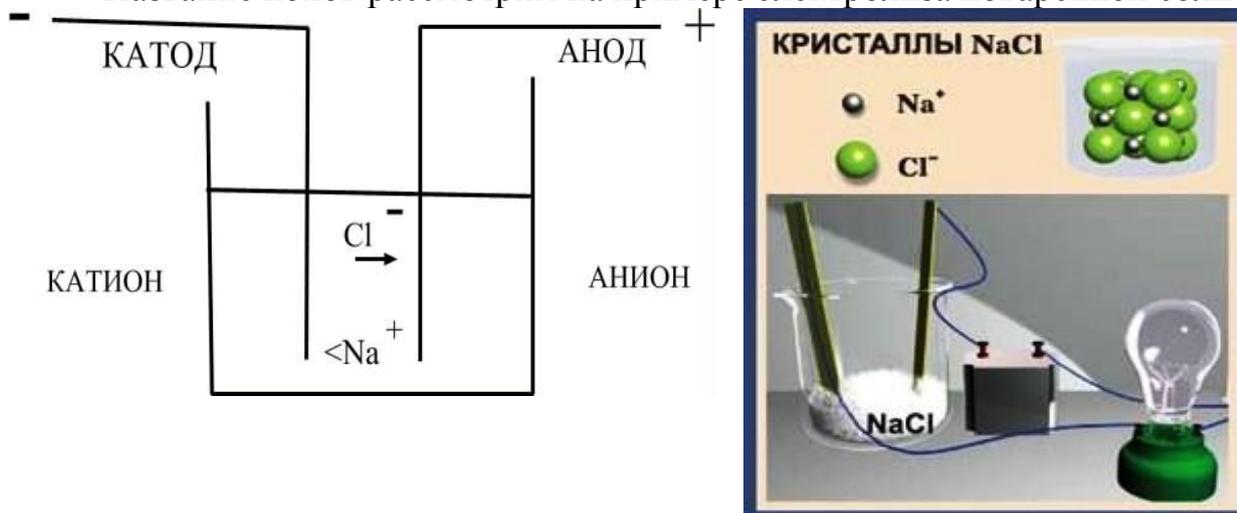


Рис. 1.5.2.1 Процесс электролиза поваренной соли

Характеристика основных ионов в природных водах (макрокомпонентов). [5]

ТО отрицательно заряженные ионы направляются к положительному полюсу (аноду) и соответственно называются **анионами** (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- и т.д.), положительно заряженные ионы (металлов) направляются в электрическое поле к отрицательному полюсу (катоде) и называются **катионами** (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Fe^{+2} и т.д.).

а) *хлоридные ионы* обладают большой способностью к миграции (перемещению), поэтому они встречаются практически во всех типах вод, образуются из галита;

б) *сульфатные ионы* также обладают подвижностью, но связываются ионами кальция, основные источники сульфидов – это породы магматического происхождения, а также гипс, ангидрид;

в) *гидрокарбонатные ионы* образуются из угольной кислоты и известняково содержащих пород: известняк, доломит, гипс.

Катион Na распространен больше всех в природе, образуется из галита, кроме того из почвы вытесняется кальцием и магнием.

Калий образуется из легко растворимых соединений, но в подземных водах его содержание может уменьшиться в результате вымывания его растениями.

Магний кальций образуются из продуктов выветривания. Распространены повсеместно, придают воде свойство жесткости. Источник - карбонаты.

Содержание газов в воде, может находиться в виде нейтральных молекул и в виде ионов. Наиболее распространенные классы газов в воде:

Воздушные (O_2 , N_2 , He), диоксигенные (метан CH_4 , H_2), химические (H_2S), радиоактивные (Ra, Rn). [8]

1.5.3 Основные показатели химических свойств воды

Для количественной оценки свойств воды по химическому составу применяются следующие показатели:

I. Минерализация М – это сумма всех минеральных веществ, содержащихся в воде, она может определяться по сухому остатку (г/л; мг/л).

По величине минерализации природные воды подразделяются на следующие группы:

- а) ультрапресная $M < 0,2$ г/л;
- б) пресная $M (0,2 - 1)$ г/л;
- в) солоноватая $M (1 - 3)$ г/л;
- г) сильно солоноватая $M (3 - 10)$ г/л;
- д) соленые $M (10 - 50)$ г/л;
- е) слабые рассолы $M (50 - 100)$ г/л;
- ж) крепкие рассолы $M < 100$ г/л. [9]



Портативный солемер TDS-3

Солемер TDS-3 идеально подходит для всех систем очистки воды, регулирования степени очистки сточных вод.

Рис. 1.5.3.1 Портативный солемер

II. Водородный показатель pH – это десятичный логарифмы концентрации ионов водорода H^+ , взятый с обратным знаком $pH = -\lg [H^+]$.

Существует классификация:

- а) очень кислая вода pH меньше 5;
- б) кислая вода pH 5-7;
- в) нейтральная вода pH 7;
- г) щелочная вода pH 7-9;
- д) высоко щелочная вода pH > 9.

Подземные воды имеют pH 6-8. В районе рудных месторождений pH меньше 5.



pH- метр-милливольтметр-pH-410

pH-метры-милливольтметры pH-410 применяются при анализе питьевой воды, пищевой продукции и сырья, на объектах окружающей среды и производственных системах контроля технологических процессов. pH-метр-милливольтметр pH-410 может использоваться в производственных, научно-исследовательских лабораториях; стационарных и передвижных, в том числе полевых

Рис. 1.5.3.2 pH-метр



Тест-комплект pH

Тест-комплект pH предназначен для экспрессного определения водородного показателя (отрицательного десятичного логарифма концентрации водородных ионов) в питьевой, природной и нормативно-очищенной сточной воде. Метод определения: визуально-колориметрический.

Рис. 1.5.3.3 Тест-комплект pH

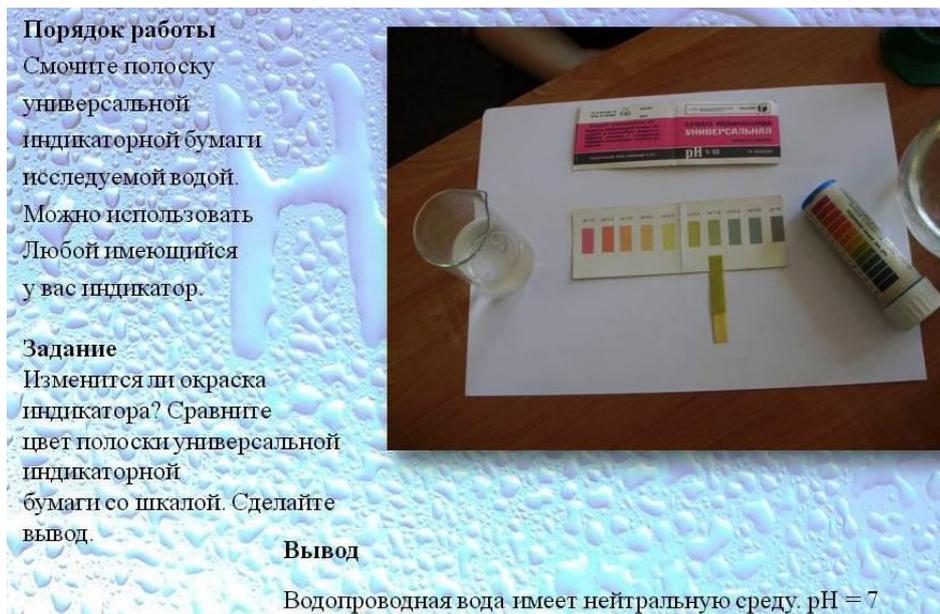


Рис. 1.5.3.4 Индикационный метод определения pH

III. Жесткость воды – обуславливается наличием в воде ионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , выражается в миллимоль на литр (ммоль/л).

Различают три вида жесткости: общая (ОЖ), устранимая (УЖ), (карбонатная) постоянная (некарбонатная) (Н.Ж.) HCO_3^- .

Устранимая, временная или карбонатная жесткость обусловлена карбонатными (гидрокарбонатными) солями Ca и Mg, устраняется после кипячения. Постоянная (неустраиваемая, некарбонатная) обусловлена наличием сульфатов, хлоридов и других не карбонатных солей Ca и Mg.

Данный вид жесткости устраняется только химическим путем, определяется разностью между общей жесткостью и карбонатной.

$\text{Н.Ж.} = \text{О.Ж.} - \text{У.Ж.}$

Общая жесткость обусловлена суммарным содержанием ионов Ca и Mg.

Существует классификация:

- а) очень мягкая вода – если общая жесткость меньше 1,5 ммоль/л;
- б) мягкая вода 1,5-3 ммоль/л;
- в) умеренно жесткая вода 3-6 ммоль/л;
- г) жесткая вода 6-9 ммоль/л;
- д) очень жесткая более 9 ммоль/л.

IV. Агрессивность подземных вод связана с присутствием в воде водорода, диоксидов (CO_2 , O_2 , NO_2) сульфатов кальция. Различают агрессивность к железобетону и к металлам. Различают следующие виды агрессивности:

а) *агрессивность выщелачивания* – определяет наличие карбонатной жесткости, вода считается агрессивной к бетону, если карбонатная жесткость больше 0,54-2,14 ммоль/л;

б) *агрессивность общекислотная* определяется величиной pH: 1) при pH меньше 5 для слабопроницаемых пластов вода считается агрессивной; 2)

для пластов высокой водопроницаемости вода считается агрессивной при $\text{pH} < 7$ и $\text{УЖ} < 8,6$ мг-экв./л, либо при $\text{pH} < 6,7$ а $\text{УЖ} > 8,6$ мг-экв./л.

в) *Углекислая агрессивность* определяется наличием CO_2 , вода считается агрессивной в пластах высокой проводимости если $a[\text{Ca}^{2+}] + b$ будет больше $[\text{CO}_2]$, где a и b коэффициенты определяемые по [2,стр.21].

г) *Сульфатная агрессивность* определяется наличием SO_4 , Определяется по соотношению ионов Cl и SO_4^{-2} ;

д) *Магnezильная агрессивность* определяется по наличию в воде ионов магния, считается вода агрессивная по магнию, если содержание магния больше 5000 мг/л, здесь играет сдерживающую роль содержание SO_4 . [5]

Виды химических анализов и формы их выражения

Набор посуды для химического анализа многофункциональный



Набор посуды для химического анализа многофункциональный предназначен для отбора, точного измерения и дозирования объемов различных растворов и жидкостей, приготовления растворов, фильтрования суспензий и взвесей, титрования в ходе проведения химических анализов и подготовки к ним в лабораторных условиях.

Рис. 1.5.3.5 Портативный солемер

Для оценки качества подземных вод существуют следующие виды анализов:

1. *Полевой химический анализ* – проводится в полевых условиях с помощью специальных лабораторий (Резникова), определяются следующие компоненты: pH , жесткость, макро – компоненты (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Na) кальций, железо II и III, SO_2 , H_2S .

Особенность этого метода: быстрота проведения, невозможность контроля по сухому остатку.



Рис. 1.5.3.6 Полевая лаборатория анализа воды

Полевая лаборатория анализа воды НКВ-1

Лаборатория для определения показателей качества воды НКВ-1 предназначена для определения основных показателей качества воды в лабораторных и полевых условиях. Лаборатория НКВ-1 позволяет выполнять экспресс-контроль питьевой и природных вод, а также нормативно-очищенных сточных вод на основе действующей нормативно-

Основной формой выражения результатов химических анализов воды является массовая ионная форма растворенных веществ в граммах или миллиграммах на 1 литр воды. [2]

Графические методы выражения результатов химических анализов

Для наглядности результатов химического состава, компактности накопления анализов, отображения их на картах, использование существующих классификаций подземных вод применяются различные

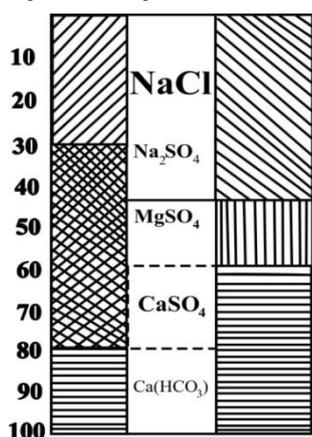
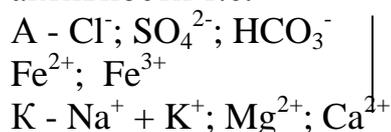


Рис.1.5.3.9
результатов
химических
анализов.

формы графической обработки результатов химических анализов. Поскольку наиболее распространенными в составе подземных вод являются компоненты СХА, то, в основном, все диаграммы, колонки строятся по макрокомпонентам. Для отображения анализов применяются следующие методы:

1. Прямоугольники солевого состава – это колонка состоящая из 3-х разделов:

В крайних колонках таблицы в % экв-х наносятся путем штриховки или цвета содержание анионов и катионов в порядке снижения их химической активности т.е.



В случае наличия больше 10 %-экв. других химических элементов, они указываются после Са. В средней части колонки пишутся наиболее возможные соединения анионов и катионов, учитывая природную химическую активность исходных компонентов.

Точность выражения анализов здесь составляет 10%-экв. Метод используется для построения специализированных карт, например, карты засоленности пород зоны аэрации.

Кроме прямоугольника таким образом строятся круговые диаграммы. Данная диаграмма позволяет составлять паспорт солевого состава любого водопункта, для последующего анализа гидрогеологической ситуации.

2. Треугольник Фере в данном случае строится отдельно для анионов и катионов.

По сторонам треугольников по направлению часовой стрелки наносятся в процент-эквивалентах как содержания указанных на рисунке ионов. Для нанесения результатов анализа проводится отрезок параллельный правой стороне треугольника от данной шкалы.

Анализ фиксируется в точке пересечения трех отрезков, отражающих содержание соответствующих компонентов анализа. [2]

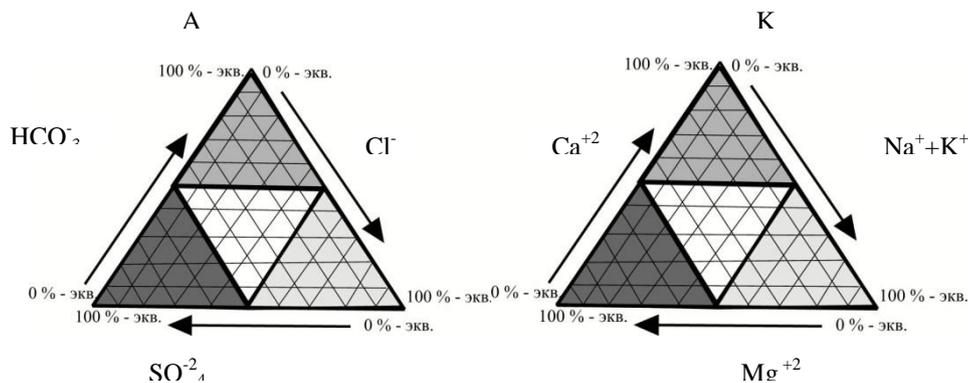


Рис. 1.5.3.10 Треугольники Фере

1.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

№ п/п	Темы по рабочей программе	Контрольные вопросы и задания
1	Введение	<p>Дайте определение гидрогеологии, перечислите ее разделы и раскройте их сущность.</p> <p>Сформулируйте причины влияния гидрогеологии на экономику Казахстана.</p> <p>Сформулируйте роль воды в жизни человека.</p> <p>Сформулируйте основные направления гидрогеологии</p>
2	Вода в природе	<p>Нарисуйте схему круговорота воды в природе и раскройте его суть.</p> <p>Проанализируйте, за счет чего формируются подземные воды.</p> <p>Сформулируйте характеристики подземного и поверхностного стоков.</p> <p>Проанализируйте отличия воды в газообразном, твердом, жидком и связанном состояниях.</p>
3	Физические и водные свойства горных пород	<p>Нарисуйте схему к определению гидростатического напора и напишите его формулу.</p> <p>Дайте название породе, если ее пористость равна 0,2 и 0,6 долей единиц.</p> <p>Проанализируйте разницу между гравитационной и упругой водоотдачей и напишите их формулы.</p> <p>Проанализируйте разницу между линейным и не линейным законом фильтрации Дарси.</p> <p>Определите название породы, если у нее высота поднятия капиллярной каймы равна - 5-120см, 120-650 см, 650-1200см.</p>
4	Основные	Проанализируйте разницу между кондуктивным и

	<p>сведения по гидрогеотермии</p>	<p>конвективным теплопереносом. Напишите формулу и дайте ее расшифровку для геотермического градиента Γ и геотермической ступени Q. В подземной гидросфере выделяют три зоны по геотермическому режиму. Укажите их по порядку, начиная от земной поверхности, и раскройте их суть. Для решения каких практических задач используются гидротермические материалы?</p>
<p>5</p>	<p>Физические свойства, химический и бактериальный составы подземных вод</p>	<p>Проанализируйте, какими физическими свойствами обладают подземные воды. Нарисуйте схему электролиза поваренной соли и поясните принцип ее действия. Cl^-, SO_4^{-2}, HCO_3^-, Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+, Fe^{+2}. Определите, какие из перечисленных элементов относятся к катионам, а какие к анионам. Какой будет тип воды, если преобладающую роль имеют SO_4^{-2} и Mg^{+2}. Назовите характеристики основных ионов в природных водах (макрокомпонентов). Определите тип воды, если ее минерализация равна $M < 0,2$ г/л; $M (0,2 - 1)$ г/л; $M (1 - 3)$ г/д; $M (3 - 10)$ г/л; $M (10 - 50)$ г/л; $M (50 - 100)$ г/л; $M < 100$ г/л. и дайте определение данного химического свойства. Дайте определение рН и определите тип воды, если рН= меньше 5; рН 5-7; рН 7; рН 7-9; рН > 9. Дайте определение жесткости воды, какие бывают виды жесткости. Определите тип воды при ОЖ= меньше 1,5 ммоль/л; 1,5-3 ммоль/л; 3-6 ммоль/л; 6-9 ммоль/л; 9 ммоль/л. Какие виды агрессивности п.в. вы знаете? Проанализируйте, при каких значениях вода будет агрессивна, а при каких нет. Переведите результаты химического анализа из эквивалентной в %-эквивалентную формы если...</p>

2. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГРУНТОВЕДЕНИЕ

2.1 ВВЕДЕНИЕ

Как показывает опыт строительства, для каждого сооружения необходимо детальное геологическое исследование (изыскание горных пород) с целью обследования данного участка для строительства.

Недоработка этих исследований может привести к следующим ситуациям, которые могут вызвать аварию сооружений:

Аварийные ситуации:

1. Уплотнение горных пород под действием веса сооружения осадка фундамента в связи с этим;
2. Уплотнение водонасыщенных горных пород, в результате растворения легко растворимых солей в составе горных пород подземными водами (просадка);
3. Чрезмерное давление сооружения на породу, которое приводит к выпору пород из-под фундамента;
4. Влияние физико-геологических явлений и процессов (землетрясений, оползней, селей и др.) [1]

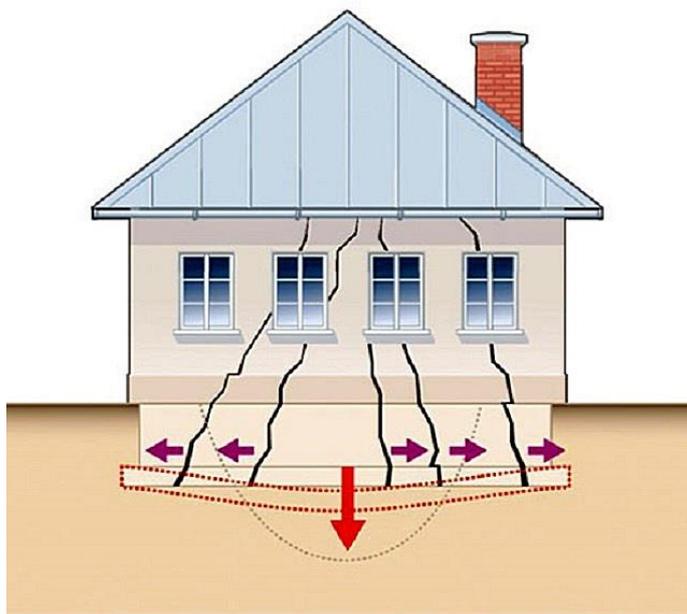


Рис 2.1.1 Осадка фундамента

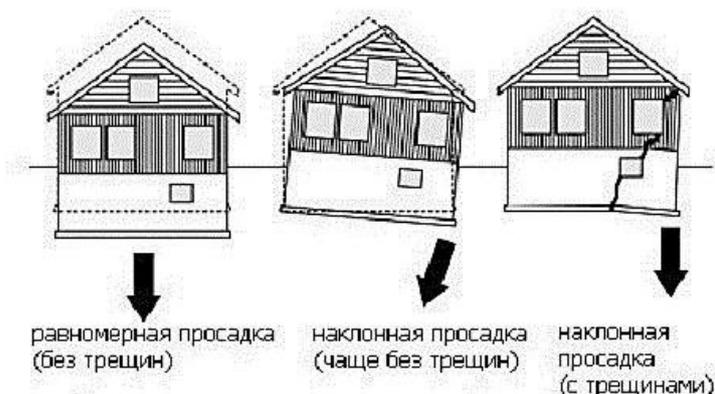


Рис.2.1.2 Типы просадки фундамента

В связи с этим инженерная геология должна решать задачи:

1. Изучить природную обстановку и свойства грунтов, влияющих на устойчивость сооружения (отсутствие геологических процессов);

2. Рассчитать конструкцию фундамента и его тип, обеспечивающий надежность сооружения, составить прогноз устойчивости сооружения на весь период его эксплуатации;

3. Изучить взаимное влияние сооружения и окружающей среды, изыскать наиболее рациональное размещение сооружения с учетом природной обстановки;

Академик Саваренский определил инженерную геологию, как отрасль геологии, решающую задачи приложения геологии к строительному делу.

Можно выделить три раздела инженерной геологии:

1. Грунтоведение;

2. Инженерная геодинамика;

3. Методика инженерно-геологических исследований.

История развития инженерной геологии выделяет три этапа:

1. До XX века инженерно-геологические изыскания не велись. Строительство проводилось на основании опыта.

2. Появляется геологическая документация. Рекомендации и выводы носят качественный характер.

3. Современный этап. После 40-х годов XX века в инженерной геологии стали применяться количественные методы прогнозов, что позволило строить дорогостоящие сооружения в сложных геологических условиях. [2]

2.2 ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Грунтоведение - это раздел инженерной геологии, который изучает горные породы, как основание для будущих сооружений.

Можно выделить следующие задачи грунтоведения:

1. Классификация физико-механических свойств грунтов, изучение показателей этих свойств, выделение грунтов с одинаковыми свойствами (типизация);

2. Определение количественных показателей свойств грунтов;

3. Прогноз возможных физико-механических свойств грунтов в процессе эксплуатации сооружения и оценка влияния этих изменений на устойчивость сооружения;

4. Составление программы улучшения свойств грунтов (технической мелиорации);

5. Региональное изучение территории, с целью выбора районов первоочередного строительства. [1]



Рис.2.2.1 Техническая мелиорация

2.2.1 Формирование физико-механических свойств грунтов

Литогенез горных пород. Понятие о генезисе

Генезис горных пород – это их происхождение, образование. [3]

Литогенезом называется процесс образования горных пород и все изменения, которые привели ее в современный вид.

По генезису породы разделяются на магматические, метаморфические и осадочные.

Магматической называется порода, возникшая из расплавленной магмы. При тектонических движениях земной коры, магма может подняться на поверхность Земли, при этом образуются два типа пород: интрузивные (образуются в земной коре) и эффузивные (излившиеся на поверхность, где в результате быстрого остывания становятся более рыхлыми и непрочными чем интрузивные).

Метаморфические породы образуются на глубине 10-15 км под действием высоких температур и давления из пород магматического и осадочного происхождения. В результате образуется слоистая порода, при этом свойства метаморфических пород, образованных из магматических, как правило, ухудшаются, из осадочных – улучшаются.

Литогенез всех пород проходит по плану:

1. диагенез – преобразование породы под действием внешних условий;
2. метаморфизм – преобразование породы на большой глубине под действие большого давления и температуры;
3. выветривание. [2]

2.2.2 Литогенез осадочных горных пород

Литогенез осадочных горных пород можно рассмотреть применительно к данной схеме следующим образом:

1) Генезис осадочных пород называется седиментогенез (осадконакопление), который можно представить в виде следующих этапов:

I. Выветривание скальных пород и образование продуктов выветривания.

II. Транспортировка продуктов выветривания, во время которого частицы сортируются, дробятся.

III. Накопление продуктов выветривания на дне водоемов. [4]

2) Диагенез (осадконакопление) осадочных горных пород тоже происходит в три этапа:

1. накопление и предварительное уплотнение осадка (ранний диагенез);

2. собственно диагенез – это дальнейшее уплотнение осадка, его литификация за счет дегидратации и перекристаллизации;

3. катагенез (поздний диагенез) – это преобразование химической структуры осадка под действием химических реакций.

3). Метаморфизм – под действием тектонических движений порода может опуститься в зону метаморфии, где под действием температуры и давления преобразуется в слоистую структуру;

4). В результате обратных тектонических движений порода может попасть в зону выветривания, где разрушается под действием солнца, температуры и воды. [1]

2.2.3 Генетические типы четвертичных пород

Элювиальные грунты – образуются как продукт выветривания коренных пород. Они обладают неоднородностью состава и часто подлежат удалению при строительстве. В зависимости от состава породы (глина, известковая масса) образуются сланцы, глины, известняки.

Делювиальные грунты – образуются в результате смыва с водораздела или верхней части склона более легких компонентов грунта (глинистые и пылеватые частицы, мелкий песок). Делювиальные грунты – глинистые, неоднородные по составу, часто бывают обводнены и недостаточно устойчивы.

Коллювиальные грунты – образуются в результате склоновых гравитационных процессов, их мощность невелика.

Пролювиальные грунты – образуются в результате смыва и переноса поверхностных отложений временными дождевыми и снеговыми потоками.

Аллювиальные грунты – представляют собой продукт переноса и отложения наносов рекой. Их состав и свойства различны для горных и равнинных рек. Аллювий горных рек, как правило, состоит из валунно-галечникового хорошо окатанного и отсортированного материала.

Грунты ледникового происхождения – бывают геолого-генетических разновидностей: моренные, водно- и озерно-ледниковые.

Озерно-болотные отложения относятся к биогенным и представлены торфом, сапропелем, заторфованным болотным мергелем. Общей чертой этих грунтов является их высокая влажность, большая влагоемкость и малая несущая способность.

Грунты эолового происхождения. К ним относятся барханные пески пустынь, дюнные пески побережий озер и морей и некоторые виды лессовых

отложений. Все эти грунты характеризуются невысокой связью, легким или пылеватым гранулометрическим составом, большой однородностью, а пески – хорошей отсортированностью. [2]

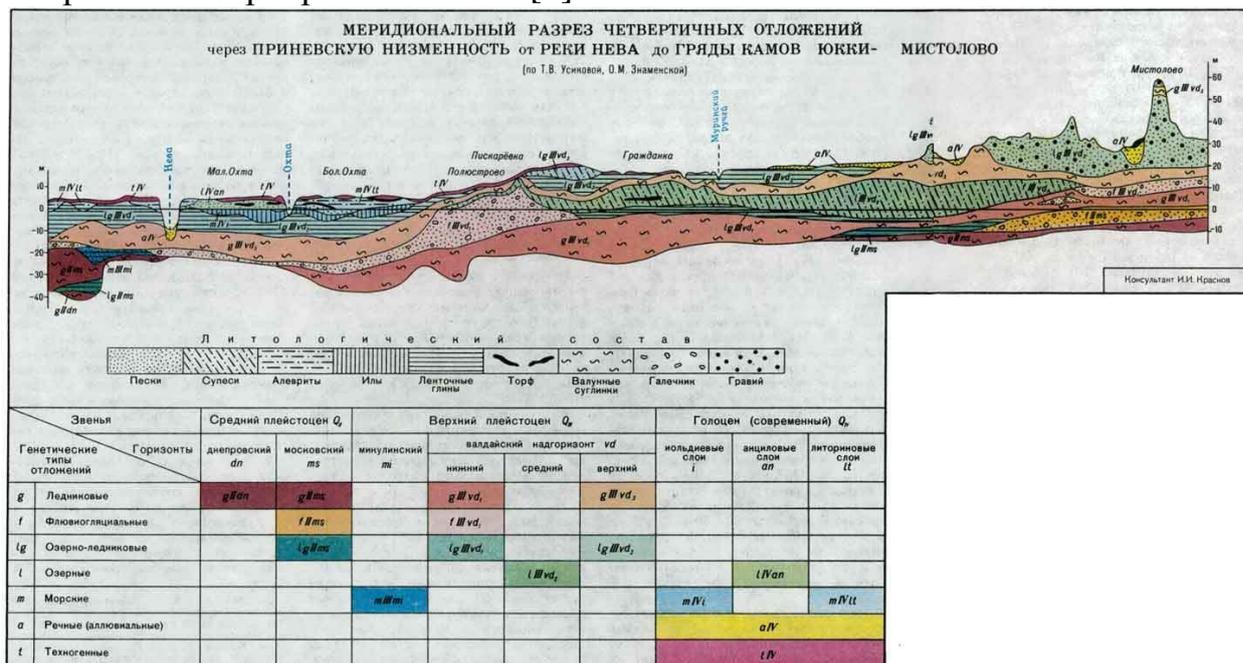


Рис. 2.2.3.1 Разрез четвертичных отложений

Грунты морского и лагунного происхождения возникли в результате аккумуляции осадков. Характерными грунтами здесь являются глины, суглинки, илы с прослойками солей.

Составные части грунтов

В естественном виде грунты представляют собой трех фазную систему, состоящую из жидкой, твердой и газообразной фазы, которая изучается по направлениям: минеральный состав, гранулометрический состав, структура.

2.2.4 Минеральный состав грунтов.

По минеральному составу грунты можно разделить на группы:

- I. Группа – первичные минералы нерастворимы в воде;
- II. Группа – вторичные минералы нерастворимые в воде;
- III. Группа – вторичные минералы растворимые в воде;
- IV. Группа – органические и органоминеральные соединения.

К первичным минералам относятся минералы материнских магматических пород с неизменным химическим составом. [3]



Кварц – наиболее устойчивый к выветриванию минерал, 40-60% и более, крупнозернистый.



Полевые шпаты до 20% большая механическая прочность, но менее устойчивые к химическому выветриванию – ортоклаз и плагиоклазы



Амфиболы и пироксены и многие другие слюды легко поддаются выветриванию, поэтому в рыхлых породах и почвах содержатся в небольших количествах в виде мелких кристаллов.

Рис. 2.2.4.1 Первичные минералы

Вторичные минералы получают из них путем химических преобразований, происходящих в процессе диагенеза при условии наличия мельчайших частиц породы, они имеют более слабые химические связи и поэтому химически более агрессивны.

К вторичным минералам магматических пород относятся серпентин, хлорит, тальк, серицит, каолинит, мусковит, карбонаты, цеолит, тремолит, актинолит и др. [4]



Каолинит
 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$



Серпентин
 $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$



Тальк
 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$



Мусковит
 $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$



Хлорит
 $(Mg,Fe,Al)_{4-6}$
 $[(Al,Si)_4O_{10}](OH)_8$



Тремолит
 $Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$

Рис. 2.2.4.2 Вторичные минералы

Минералы первой группы (кварц, полевые шпаты, роговая обманка) в общем виде имеют большие размеры частиц, следовательно высокую водопроницаемость, высокие механические качества (щебень, галька, гравий, песок).

Вторая группа минералов представляет глинистые грунты, состоящие из вторичных минералов скальных пород после химических преобразований. Общие свойства: высокая гигроскопичность, пластичность, химическая агрессивность.

По этим и другим признакам минералы этой группы делятся на 3 вида:

- 1) Монтмориллонит (коллоидные глины);
- 2) Иллит (гидролюды);
- 3) Каолинит.

Минералы I группы имеют темную окраску (Ca, Mg, Fe) и имеют пакетное строение кристаллической решетки, причем расстояние между ионами внутри пакета меньше, чем между пакетами, куда и проникают молекулы воды, раздвигая эти слои, что приводит к набуханию грунта.

Минералы группы каолинита. Сюда входят: каолинит, галлаузит, дикцит и накрит. Характерными для минералов этой группы является одинаковый химический состав, прочная и относительно малоподвижная кристаллическая решетка, небольшое набухание при увлажнении и невысокая обменная способность.

Минералы группы монтмориллонита. К этой группе относятся монтмориллонит, нонтронит и др. Разновидности отличаются составом катионов в кристаллической решетке. Особенностью строения

кристаллической решетки монтмориллонита является более слабая связь между пакетами, что обуславливает значительно большую гидрофильность и набухаемость монтмориллонита по сравнению с каолинитом.

Гидрослюды. В группу гидрослюд входят продукты различной степени гидратации слюд (илит, глауконит, гидромусковит, гидробиотит и др).

Минералы этой группы отличаются от двух предыдущих изменчивостью химического состава и по своим свойствам занимают промежуточное положение между группами каолинита и монтмориллонита.

К минералам III группы относятся водорастворимые соли – хлориды, сульфаты, карбонаты.

В песчано-глинистых грунтах упомянутые выше минералы могут встречаться в виде хорошо-, средне- или слабо-растворимых солей, находящихся в виде прослоев, пропластков, стяжений, конкреций или рассеянных по всему объему грунта.

В случае, если в грунте содержится более 0,3% растворимых солей, то грунт считается засоленным.

К IV группе относятся органические и органоминеральные соединения, часто встречающиеся в грунтах, находящихся в условиях избыточной влажности (озерно-болотные, пойменные, старичные, лиманные).

Органические остатки, встречающиеся в грунтах, в большинстве случаев растительного происхождения. Они присутствуют в виде примесей, прослоек, примазок.

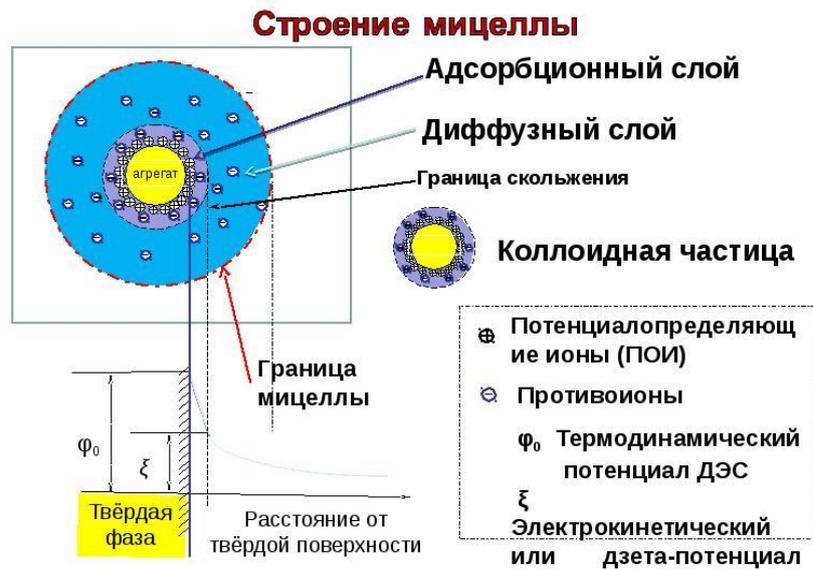
Органические вещества существенно влияют на физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов, придавая им большую гидрофильность, которая обуславливает их высокую влагоемкость, пластичность, липкость, набухание, большую сжимаемость, малую прочность и низкую несущую способность, замедленное размокание и большую длительность осадки грунта под нагрузкой. [1]

2.2.5 Коллоидные свойства глинистых частиц

Было установлено строение глинистой частицы, в центре ее находится минеральная частица, имеющая заряд. Вокруг нее формируется слой прочно связанной воды в виде диполей.

Глинистая частица, свободная от прочно связанной воды называется **ядром**.

При наличии слоя прочно связанной воды она называется **гранулой**, а сам слой называется **адсорбированным**. Вокруг адсорбированного слоя формируется второй неплотный слой диполей воды, который называется **диффузионный слой**, а частица вместе с диффузионным слоем имеет **завершенный вид** и называется **мицелла**.



Несколько глинистых частиц, подходя близко друг к другу, могут взаимодействовать, образуя единый диффузионный слой, в результате чего образуется **агрегат**, который по мере вовлечения других частиц увеличивается в объеме и, в конце концов, выпадает в осадок.

В связи с этим рассматривают свойства глинистых частиц:

1. **коллоидной частицей** – называется частица, способная находиться длительное время во взвешенном состоянии;
2. **коагуляция** – это процесс образования агрегатов коллоидных частиц и выпадение их в осадок. Различают электролитную, механическую и тепловую коагуляцию;
3. **пептизация** – процесс, обратный коагуляции, т.е. процесс перехода осадка в коллоидный раствор, в результате разрушения агрегатов частиц под действием встряхивания или других причин;
4. **адсорбция** – способность втягивать и удерживать в себе воду глинистыми частицами.

Перечисленные свойства характерны для глинистых коллоидных растворов, но подобный механизм свойственен водонасыщенным глинистым грунтам, в связи с этим различают следующее состояние грунтов: золь и гель.

Золь – разжиженное состояние грунтов, в результате нарушения коллоидных связей.

Гель – это более плотное состояние глинистых грунтов в результате коагуляции частиц и образования агрегатов.

Рассматривают процесс **тиксотропии** - процесс перехода глинистого грунта из геля в золь, в результате чего несущая способность грунта уменьшается во много раз. Тиксотропия происходит под действием другого воздействия при избыточной влажности грунта. [2]

2.2.6 Структура и текстура грунтов

Под *структурой* понимается совокупность признаков:

- 1) Размер, форма, характер поверхности частиц и агрегатов;
- 2) Взаимное расположение между частицами и агрегатами;
- 3) Наличие и характер внутренних структурных связей между частицами и агрегатами.

Под *агрегатами* понимаются образования, состоящие из многих частиц, сцементированными различными структурными связями.

Структура формируется в процессе литогенеза (например, для скальных пород, равномерно-зернистая, пористая и т.д.).

В природе существуют следующие основные структуры (микроструктуры) осадочных пород, выделенные по 1 структурному признаку – размеру частиц:

➤ *Пелитовая* – образованная глинистыми частицами $0,0005 < \varnothing < 0,05 < 0,005$ мм.

➤ *Алевритовая* – образованная пылеватыми частицами $0,0005 < \varnothing < 0,05$ мм;

➤ *Псаммопелитовая структура* – образованная песчаными частицами $0,05 < \varnothing < 2$ мм;

➤ *Псефитовая структура* – для крупнообломочных грунтов $\varnothing > 2$ мм.

На практике встречаются комбинации указанных структур, названия определяются в соответствии с представительством каждой структуры.

По первому структурному признаку (по характеру поверхности) различают брекчевидную (угловатую, неокатанную) и конгломератовидную (окатанную) структуры.

Образование агрегатов возможно при наличии структурных связей, которые формируются в процессе диагенеза.

За счет образования агрегатов с помощью коллоидного и карбонатного цемента, возможно образование трех видов агрегатов (структур).

1). *Макро структуры* (комковая, глыбовая, ореховидная и т.д.) – характеризуется размером агрегатов;

2). *Мезо структуры* – образуются отсортирования легко растворимых солей в агрегатах глинистых и пылеватых грунтов. [1]



Рис. 2.2.6.1 Структура горных пород



Различают типы мезо структур: агрегатная (склонная к просадке) структура и комковая и т.д.

По второму структурному признаку (взаимному расположению частиц и агрегатов) можно выделить виды структур: раздельно-зернистая (рыхлая) и раздельно-зернистая (плотная).

Рис. 2.2.6.2 Структурные признаки грунтов

Текстура – это совокупность признаков, характеризующих неоднородность породы в пласте, определяется взаимным расположением и соотношением участков породы разного минерального состава и структуры.

Типы структур песчано-глинистых грунтов связанные с:

1. условиями отложения: слоистые (тонко-, толсто-, косо- и неправильно слоистые, ленточная, линзовидная) и массивные;
2. диагенетическими изменениями: массивная, макропористая;
3. процессами метаморфизма – сланцеватые;
4. высыханием осадка – сетчатые;
5. оползневыми явлениями – пloyчатые;
6. эоловыми явлениями – гребенчатая и кавернозная;
7. суффозными явлениями – дырчатая, правильная.

Под текстурой грунтов следует понимать совокупность признаков, характеризующих неоднородность сложения грунтовой толщи в пласте, т. е. неоднородность в расположении структурных и механических элементов в отдельных пластах грунта.

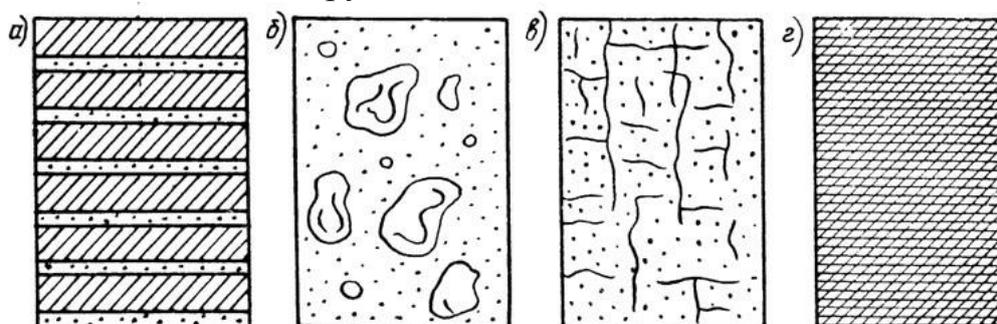


Рис. 2.2.6.3 Основные типы текстуры грунтов
а — слоистая (ленточная); **б** — порфировая; **в** — ячеистая; **г** — слитная

Текстура грунтов обязана своим происхождением как условиям образования грунтовых отложений, например периодичности осаждения частиц в текучей и спокойной воде, так и последующим изменениям в величине и направлении внешнего давления. Различают следующие основные виды текстуры грунтовых толщ: слоистая, порфировая, ячеистая и слитная.

Наиболее распространены слоистые текстуры грунтов, среди которых можно различать ленточное сложение (например, в тонкослойных озерно-ледниковых отложениях с перемежающимися тонкими глинистыми и песчаными слоями), косослойное сложение, наблюдаемое в некоторых видах мелководных морских отложений, и сланцеватое в глинистых и илистых грунтах, подвергавшихся в геологическом прошлом значительным давлениям с частичной цементацией. Ярко выраженная слоистая текстура грунтов и все ее разновидности делают грунты анизотропными, т. е. физические свойства таких грунтов (например, водопроницаемость, сопротивление сдвигу, упругость и пр.) будут резко различны в различных направлениях.

В грунтах порфировой текстуры обе составляющие (грубозернистый материал и дисперсный — глинистый) участвуют в общем сопротивлении грунта действию внешних сил, но такие свойства, как сжимаемость, водопроницаемость, сопротивление сдвигу и упругость грунтов, будут зависеть главным образом от свойств мелкодисперсного материала, в который включены крупные обломки горных пород.

Ячеистая текстура характерна для некоторых видов засоленных, а также для дисперсных мерзлых грунтов, промерзание которых происходило в условиях неодностороннего охлаждения. Грунты ячеистой текстуры в различных направлениях, часто во взаимно-перпендикулярных, разделены на ряд отдельностей, промежутки между которыми заполнены одним из компонентов, составляющих грунт, например прослойками солей, льда и т. п., образуя подобие ячеек.

Наконец, слитной текстурой обладают некоторые древние глины и илы, подвергавшиеся в геологическом прошлом значительным давлениям, а также некоторые разновидности лессов и лессовидных суглинков, недоуплотненных, но цементированных солями. [2]

2.2.7 Вода и воздух в грунтах

Существуют следующие виды воды в грунтах:

➤ Связанная вода:

- физически связанная,
- химически связанная,
- капиллярная.
- свободная вода;

➤ вода в твердом состоянии;

➤ Вода в газообразном состоянии в виде пара;

Связанная вода формирует физико-химические свойства грунтов. [5]

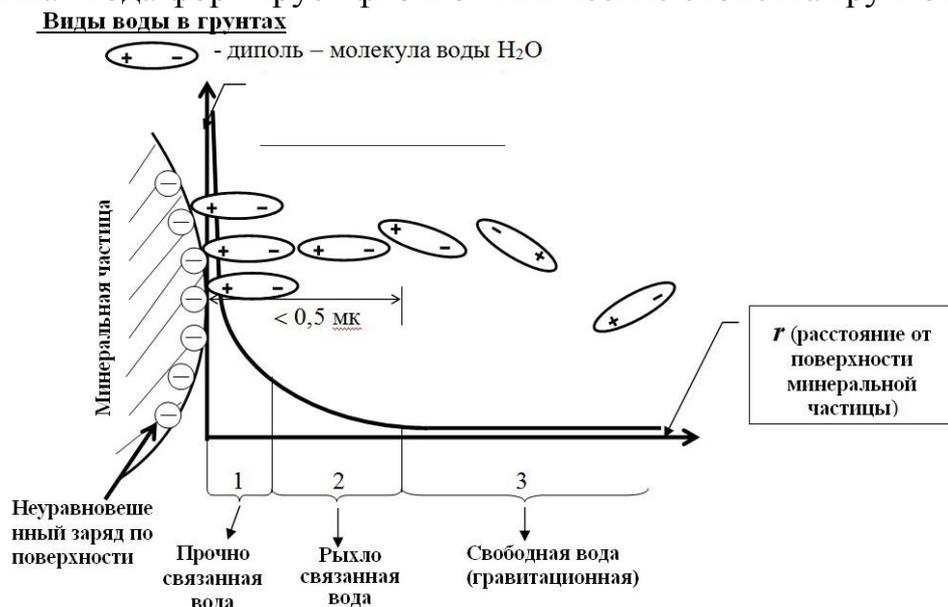


Рис. 2.2.7.1 Виды воды в грунтах

Свободная вода является универсальным растворителем, способствует образованию некоторых процессов, под действием напора и скорости движения (суффозия, фильтрация, оползни и т.д.)

Вода в твердом состоянии формирует специальные кристаллические процессы.

Академик Саваренский выделил следующие виды химически связанной воды:

1). **Конституционная вода** – входит в состав кристаллической решетки минералов в виде ионов H^+ и OH^- , удаляется только в результате разрушения кристаллической решетки (плавления) и необратимого изменения свойств грунтов;

2). **Кристаллизационная вода** – входит в состав кристаллической решетки в виде молекулы H_2O , удаляется при высоких температурах (ниже точки плавления), при этом получается минерал с другими свойствами;

3). **Цеолитовая** – входит в состав минералов в виде нейтральной молекулы, удаляется при температуре свыше $105^{\circ}C$, при этом изменяются свойства минералов.

Физически связанная вода связана с минералами молекулярными силами и формирует физические свойства грунтов.

Различают прочносвязанную, рыхлосвязанную и очень рыхлосвязанную воду.

Рыхлосвязанная вода формирует пластичные свойства грунтов, очень рыхлосвязанная – текучие свойства.

Под капиллярными силами следует понимать силу Лапласа, возникающую при искривлении поверхности жидкости и поднимающую воду в тонких трубках-капиллярах. Различают: капиллярно-поднятую и капиллярно-повешенную воду.

В первом случае капилляр-кайма достигает уровня грунтовых вод, поднимает воду на поверхность, где она испаряется, накапливая в почве соли, возникает засоление.

Во втором случае капилляры имеют положительный эффект, сохраняя воду после атмосферных осадков в верхнем слое. [2]

Свободная вода существует в следующих видах:

- Потоки подземных вод (под действием силы тяжести и давления);
- Просачивающиеся воды;
- Неподвижная вода.

Роль свободной воды:

- Она является универсальным раствором;
- Замерзая, вызывает морозное пучение и выветривание;
- Изменяет консистенцию пород, оказывает влияние на физико-механические свойства;
- Вызывает нежелательные природные процессы.

2.2.8 Инженерно-геологическая классификация грунтов

Классификация грунтов по ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»;

Грунт - горные породы, почвы, техногенные образования, являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Различают грунты: скальные - монолиты или трещиноватые массивы, рыхлые (нескальные) - крупнообломочные, песчаные и глинистые породы.

Грунты могут служить:

- материалом оснований сооружений,
- материалом самого сооружения (дорог, насыпей, плотин),
- средой для размещения в них сооружений (тоннелей, трубопроводов, хранилищ) и др.

Классы грунтов

Природные скальные грунты с жесткими структурными связями (кристаллизационными и цементационными).

Природные дисперсные - грунты с механическими и водноколлоидными структурными связями.

Природные мерзлые - грунты с криогенными структурными связями.

Техногенные (скальные, дисперсные и мерзлые) - грунты с различными структурными связями, образованными в результате деятельности человека.

Термины и определения

Грунт скальный, состоящий из кристаллов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи кристаллизационного типа (прочность на одноосное сжатие $R_c > 5$ Мпа).

Грунт полускальный - грунт, состоящий из кристаллов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа (прочность на одноосное сжатие $R_c < 5$ Мпа).

Грунт дисперсный - грунт, состоящий из отдельных зерен разного размера, слабосвязанных друг с другом - результат выветривания скальных грунтов, транспортировки продуктов выветривания водным или эоловым путем и их отложения. [3]

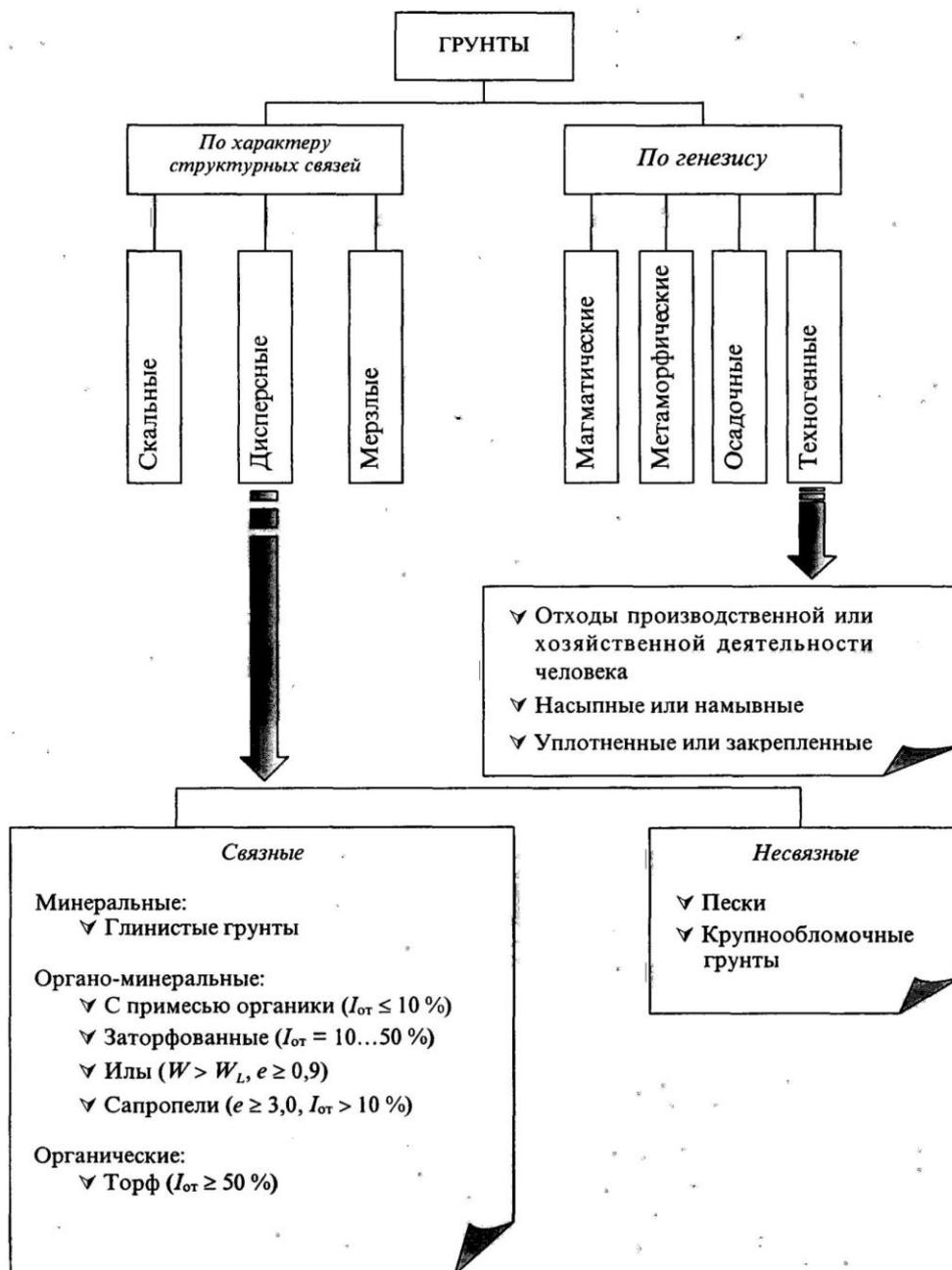


Рис. 2.2.8.1 Классификация грунтов

2.3 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ. РАЗДЕЛ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

№ п/п	Темы по рабочей программе	Контрольные вопросы и задания
1.	Введение	<p>Дайте определение инженерной геологии, перечислите ее разделы и раскройте их сущность.</p> <p>Перечислите задачи инженерной геологии проанализируйте их и сделайте заключение о важности инженерной геологии для страны</p> <p>Проанализируйте этапы развития инженерной геологии и сделайте вывод</p> <p>Дайте заключение о том, к каким последствиям может привести недостаточность и/г исследований</p>
2.	Раздел 1. Основы грунтоведения Формирование физико-механических свойств грунтов	<p>Дайте определение грунтоведения и сформулируйте его задачи</p> <p>Почему к грунтам относят в основном породы осадочного происхождения</p> <p>Назовите этапы литогенеза горных пород в общем и литогенеза осадочных горных пород в частности</p> <p>Сравните этапы литогенеза осадочных горных пород с литогенезом всех горных пород и дайте заключение: в чем заключается различие</p> <p>Назовите генетические типы горных пород и дайте заключение как генезис г.п. влияет на их физико-механические свойства</p> <p>Изучив карту, дайте заключение: какие генетические типы распространены на территории и почему четвертичные породы в инженерной геологии разделяются по генезису и так подробно изображаются на и/г картах</p> <p>Проанализируйте свойства этих минералов и дайте заключение: как их содержание влияет на свойства грунтов</p>
3.	Вода и воздух в грунтах	<p>Назовите виды воды в горных породах.</p> <p>Дайте заключение, как присутствие того или иного вида воды влияет на физико-механические свойства пород</p> <p>Назовите виды капиллярной воды и дайте заключение о ее положительном или отрицательном влиянии на горные породы</p>

3. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОМЕТРИИ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика - это наука, занимающаяся изучением физических свойств капельных жидкостей, их статикой и динамикой.

Гидрометрия- это наука, изучающая режимные характеристики поверхностных водных объектов.

Гидрология - это учение о природных водах, их взаимосвязи с горными породами, условия распространения и т.д.

Гидрогеология- это учение о подземных водах.

При изучении гидравлики используются следующие методы:

1. *Метод бесконечно малых величин* основан на том, что любую среду можно представить как сумму (совокупность) бесконечно делимых частиц этой среды, что дает возможность понимания законов этой среды.

2. *Метод конечных объемов* предполагает осреднение, суммирование всех свойств элементарных малых точек, позволяющие выразить общее представление об объёме жидкости.

3. *Статистический метод* основан на методах математической статистики, где вычисляется среднее значение характеристики по большому количеству определений, а затем на этом основании с заданной вероятностью определяют (прогнозируют) вероятность происхождения какого-то определенного процесса.

4. *Экспериментальный метод*. Наблюдения над физической сущностью явлений, происходящих в естественных условиях, дают возможность установить законы и вывести аналитические зависимости

5. *Метод аналогии* применяется для приближенной оценки гидрологических характеристик неизученного водного объекта, основанный на подборе изученного объекта-аналога, находящегося в близких физико-географических условиях.

6. *Метод водного баланса*. Представляет собой использование закона сохранения материи в форме уравнения водного баланса для исследования закономерностей, существующих между приходом и расходом влаги за какой-либо период времени на рассматриваемом водосборе.

Охрана водных ресурсов и основы водного законодательства

В Казахстане действует водный кодекс РК от 9 июля 2003 года № 481-ІІ, в который ежегодно вносятся изменения и дополнения. [3]

3.2 РАЗДЕЛ 1.ГИДРАВЛИКА

3.2.1 Жидкость и ее физические свойства

Системы единиц измерения и физические свойства жидкости

В 1961 г. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР утвердил ГОСТ 9867-61 «Международная система единиц» СИ.

В качестве основных в системе СИ установлено шесть независимых друг от друга единиц: длины – метр, массы – килограмм, времени – секунда, силы электрического тока – ампер, термодинамической температуры – кельвин, силы света – кандела, из которых выводятся единицы всех остальных производных физических величин.

В системе СИ принято, так же как для других систем, единиц, правило сокращенного обозначения единиц измерения в виде одной, двух или трех букв. Единицы измерения, наименования которых образованы по именам ученых, пишут с прописной (заглавной) буквы, например, ньютон – Н, паскаль – Па, остальные обозначения единиц пишут строчными (малыми) буквами.

В механике и гидравлике, изучающей законы механики жидкостей, основными единицами СИ являются: единицы длины (метр, м), массы (килограмм, кг) и времени (секунда, с); дополнительной единицей – измерения плоского угла – радиан (рад).

Из приведенных производных единиц рассмотрим единицы силы, давления, работы и мощности:

Ньютон (Н) – сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 в направлении действия силы.

Паскаль (Па) – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 .

Джоуль (Дж) – работа силы 1 Н при перемещении ею тела на расстояние 1 м в направлении действия силы.

Ватт (Вт) – мощность, при которой работа 1 Дж совершается за время 1с. [2]

Физические величины, используемые в гидравлике

Таблица 3.2.1

Наименование	Обозначение	Размерность в системе СИ
Длина	l, L	м
Ширина	b, B	м
Высота, напор	h, H	м
Площадь	ω, S, F	м^2
Объем	W	м^3
Время	t	с
Скорость	v	м/с
Ускорение силы тяжести	g	м/с^2
Масса	m	кг
Сила, вес	p	Ньютон (Н)
Расход	Q	$\text{м}^3/\text{с}$
Давление	P	$\text{Н/м}^2 = \text{Па}$
Плотность	ρ	кг/м^3
Динамический коэффициент вязкости	μ	$\text{Н}\cdot\text{с/м}^2 = \text{Па}\cdot\text{с}$
Кинематический коэффициент	ν	$\text{м}^2/\text{с}$

вязкости	K_{ϕ}	м/с
Коэффициент фильтрации	β_w	$\text{м}^2/\text{Н}$
Коэффициент объемного сжатия	E_0	$\text{Н}/\text{м}^2=\text{Па}$
Модуль упругости воды		

3.2.2 Общие сведения о жидкости. Жидкость как физическое тело

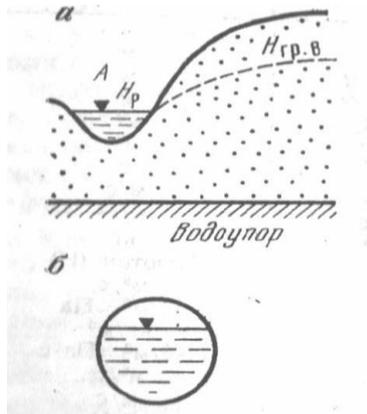


Рис. 3.2.2.1 Схема капельных жидкостей
а – грунтовые и речные воды;
б – вода в трубе

Жидкость - это тело, обладающее свойством текучести, легкой подвижностью, способное изменять свою форму под воздействием внешних сил и температурных изменений.

Капельные жидкости - это практически несжимаемые жидкости (вода, нефть, масла и т.д.), обладают определенным объемом, величина которого практически не изменяется под воздействием внешних сил, в отличие от газообразных жидкостей (газы, пары) которые занимают весь объем.

Кроме того, различают идеальные и реальные жидкости.

Идеальные - это невязкие (совершенные) жидкости, обладают абсолютной неизменностью в объеме под воздействием внешних сил, абсолютной подвижностью, т.е. у них отсутствует сила трения (касательное напряжение) между частицами. В природе идеальных жидкостей не бывает.

Реальные - это вязкие (действительные) жидкости обладают сжимаемостью, сопротивлением растягивающим и сдвигающим усилиям, вязкостью, т.е. возникновением при движении внутреннего трения между частицами. [5]

3.2.3 Свойства жидкости

Плотность (ρ) жидкости - отношение массы m жидкости к ее объему V :

$$\rho = m / V, \quad (3.2.3.1)$$

где m - масса жидкости в объеме V . Единицы измерения ρ в системе СИ - $\text{кг}/\text{м}^3$.

Плотность жидкостей зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности с увеличением температуры. Плотность воды максимальна при $t = 4^\circ \text{C}$ и уменьшается как с уменьшением, так и с увеличением температуры от этого значения. В этом проявляется одно из аномальных свойств воды.

Плотность воды при $t = 4^\circ \text{C}$ составляет $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; морской воды - 1020

÷ 1030 кг/м³; нефти и нефтепродуктов – 650 ÷ 900 кг/м³; чистой ртути - 13600 кг/м³; воздуха при t = 0° С и атмосферном давлении – 1,29 кг/м³.

При изменении давления плотность жидкости изменяется незначительно.

Определение плотности жидкости можно производить непосредственно взвешиванием, а также и использованием закона Архимеда, применив ареометр.

Плотность различных жидкостей изменяется в широких пределах, значения их хорошо представлены в справочниках, в учебной литературе.

Удельный вес (γ)- вес жидкости в единице объема:

$$\gamma = G/V \quad (3.2.3.2)$$

где G - вес жидкости. Единицы измерения γ в системе СИ - Н/м³.

Удельный вес и плотность связаны между собой зависимостью $\gamma = \rho \cdot g$, где g - ускорение свободного падения.

Сжимаемость жидкости характеризуется коэффициентом объемного сжатия, т. е. изменением объема под влиянием внешних сил.

Это свойство жидкости характеризуется коэффициентами объемного сжатия β_v и температурного расширения β_t .

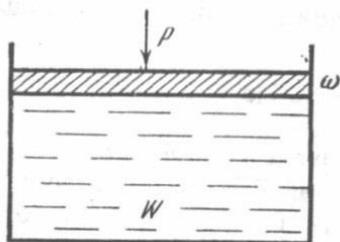


Рис. 3.2.3.2 Свойства сжимаемости жидкости

Коэффициент объемного сжатия- это относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления.

$$\beta_v = -\frac{\Delta V}{V \cdot \Delta P}, \quad (3.2.3.3)$$

где ΔV - изменение объема; V - объем соответствующий изменению давления на величину ΔP . Единицы измерения в системе СИ – м²/Н

ω – площадь, W - объем

Коэффициент температурного расширения β_t выражает относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1 градус: Единицы измерения в системе СИ – 1⁰С.

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \Delta t} \quad (3.2.3.4)$$

Сжимаемость и температурное расширение учитываются при расчетах гидравлических ударов в трубах и при оценке запасов воды и нефти, залегающих на больших глубинах.

Вязкость жидкости – это способность жидкости оказывать сопротивление передвижению ее частиц и характеризующее степень ее подвижности и текучести. [6]

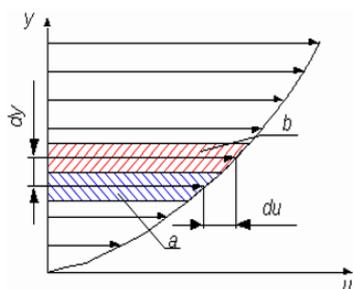


Рис. 3.2.3.2 Влияние силы трения

Сила внутреннего трения.

$$T = -\mu \cdot F \frac{dv}{dy} \quad (3.2.3.5)$$

знак «-» говорит о том, что сила внутреннего трения направлена против движения, рассматривается динамическая, кинематическая и относительная вязкость.

- Для характеристики вязкости существуют следующие показатели;
- Динамический коэффициент вязкости
 - $\mu = \frac{T}{F} \cdot \frac{dv}{dy}$ (Н·с/м² или Па·с) (3.2.3.6)
 - Коэффициент кинематической вязкости $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ (м²/с),

где ρ – плотность (3.2.3.7)

- Относительная вязкость $E_0 = \frac{t_{p-ра}}{t_{воды}}$ (3.2.3.8)

Относительная вязкость определяется путем сравнения вязкости данной жидкости с вязкостью воды в воронках Энглера, путем замера температуры и времени истечения на воронках Энглера. [3]

Капиллярные свойства - это свойство жидкости подниматься по тонким трубкам (капиллярам) за счет сил поверхностного натяжения. Характеризуется высотой капиллярного поднятия

$$h_{кап} = \frac{30}{d} \text{мм, где } d \text{ – диаметр капилляров.} \quad (3.2.3.9)$$

Практические задания

Задача 1

Горизонтальный трубопровод диаметром 400 мм и длиной 500 м наполнен стоячей водой. Температура воды 5⁰ С, давление 3,92*10⁵ Па, коэффициент температурного расширения 0,00014 1/⁰ С и коэффициент объемного сжатия 5*10⁻¹⁰ м²/Н. Определить давление в трубе при нагревании воды до 15⁰ С. Деформацией стенок пренебречь.

Задача 2

В резервуар, содержащий 125 м³ глинистого раствора плотностью 1760 кг/м³, закачано 224 м³ глинистого раствора плотностью 1848 кг/м³. Определить плотность получившейся смеси.

Задача 3

В резервуар, содержащий 250 м³ глинистого раствора плотностью 1760 кг/м³, закачано 620 м³ глинистого раствора плотностью 1920 кг/м³. Определить плотность получившейся смеси.

Задача 4

В резервуар, содержащий 250 м^3 нефти плотностью 768 кг/м^3 , закачано 720 м^3 нефти плотностью 970 кг/м^3 . Определить плотность получившейся смеси.

Задача 5

Удельный вес нефти при температуре 15°С равен 8830 Н/м^3 . Кинематическая вязкость $0,4 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить динамическую вязкость нефти.

Задача 6

Объем 5000 кг бензина при атмосферном давлении составляет $7,3 \text{ м}^3$. Каким будет объем этого же количества бензина при давлении $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, учитывая, что коэффициент объемного сжатия $4,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н}$.

Задача 7

Объем бензина при температуре 15°С составляет $33,5 \text{ м}^3$. Каким будет объем этого же количества бензина при температуре 5°С , учитывая, что коэффициент температурного расширения бензина $0,00065 \text{ 1/}^\circ \text{С}$.

Задача 8

Определить динамическую вязкость μ воды при $t=18^\circ \text{С}$, если плотность при данной температуре равна 1000 кг/м^3 .

Задача 9

Труба диаметром 200 мм и длиной 100 м наполнена водой при давлении $3,92 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 5°С . Определить давление в трубе при нагревании воды до 15°С . Коэффициент температурного расширения $0,00014 \text{ 1/}^\circ \text{С}$ и коэффициент объемного сжатия $5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н}$.

Задача 10

Определить высоту капиллярного поднятия воды в глинистых отложениях, если капиллярные свойства данного грунта определяются условным капилляром, имеющим диаметр $0,001 \text{ см}$. при расчете использовать формулу Шюрена $h_{\text{кап}}=0,15/r$ (где r -радиус капилляра) [4]

3.3 ГЛАВА 2.ГИДРОСТАТИКА

3.3.1 Гидростатическое давление и его свойства

На жидкость, как и на все тела на Земле, действует сила тяжести. Поэтому каждый слой жидкости, находящейся в сосуде, своим весом давит на другие слои, и это давление, в покоящейся жидкости, называется *гидростатическим давлением*.

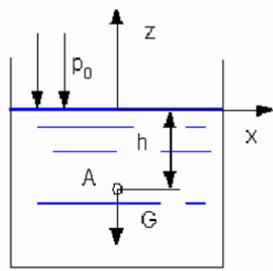


Рис.3.3.1.1 жидкость под влиянием силы тяжести

Рассмотрим резервуар с плоскими вертикальными стенками, наполненный жидкостью (рис.3.3.1.1) с плотностью ρ . На дно резервуара действует сила P равная весу налитой жидкости $G = \rho g V = \gamma V$, т.е. $P = G$.

$$(3.3.1.1)$$

Если эту силу P разделить на площадь дна S , то получим *среднее гидростатическое давление*, действующее на дно резервуара:

Из выражения (3.3.1.1) видно, что гидростатическое давление на единицу площади зависит только от плотности ρ жидкости и места положения точки, где определяется это давление, т.е. h - глубины расположения точки. [3]

Свойства гидростатического давления

1. В любой точке жидкости гидростатическое давление всегда направлено по нормали (перпендикулярно) к поверхности, на которое оно воздействует, при этом не зависит от ориентации поверхности и действует внутрь рассматриваемого объема жидкости.

2. В любой точке внутри жидкости гидростатическое давление по всем направлениям одинаково (закон Паскаля).

Гидростатическое давление зависит от координат точки в пространстве.

$$P = f(x, y, z)$$



Рис. 3.3.1.2
Шар Паскаля

3.3.2 Основное уравнение гидростатики

На жидкость, находящуюся в состоянии равновесия, действуют две категории сил: поверхностные и массовые (объемные). К последним относятся: вес, силы инерции, центробежные силы. Под влиянием этих сил в каждой точке находящейся в равновесии жидкости возникает гидростатическое давление P , величина которого определяется по выражению (3.3.2.1).

Для любой точки жидкости, находящейся в состоянии равновесия, справедливо равенство (рис.3.3.2.1):

$$z + p/\gamma = z_0 + p_0/\gamma = H, \quad (3.3.2.1)$$

где p - давление в данной точке A (см. рис.3.3.2.1); p_0 - давление на свободной поверхности жидкости; p/γ и p_0/γ - высота столбов жидкости (с удельным весом γ), соответствующая давлениям в рассматриваемой точке и на свободной поверхности; \mathbf{z} и \mathbf{z}_0 - координаты точки A и свободной поверхности жидкости относительно произвольной горизонтальной плоскости сравнения (x_0y); H - гидростатический напор. Из формулы (3.3.2.1) следует: $p = p_0 + \gamma(z_0 - z)$ или $p = p_0 + \gamma \cdot h$ (3.3.2.2)

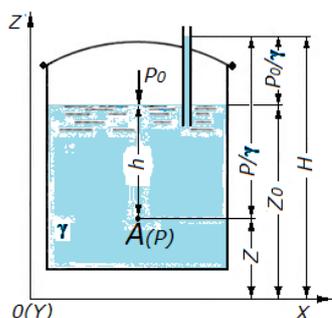


Рис.3.3.2.1 Гидростатический напор

Исходя, что удельный вес равен: $\gamma = \rho g$, получим:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (3.3.2.3)$$

где h – глубина погружения рассматриваемой точки. Приведенные выше выражения называется *основным уравнением гидростатики*. Величина ρgh представляет вес столбика жидкости высотой h с площадью основания, равной единице.

Таким образом, как это следует из выражения (3.3.2.3), гидростатическое давление P в любой произвольной точке равно сумме давления на свободной поверхности жидкости P_0 и давления, производимого столбиком жидкости высотой, равной глубине погружения точки.

Гидростатическое давление измеряется в системе СИ – Па. [2]

3.3.3 Некоторые понятия в гидростатике

На внешней поверхности жидкости гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали, а в любой точке внутри жидкости его величина не зависит от ориентировки площадки, на которой оно действует. Поверхность, во всех точках которой, гидростатическое давление одинаково, называется *поверхностью равного давления*. К последним относятся и *свободная поверхность*, т.е. поверхность раздела между жидкостью и газообразной средой.

Разность между абсолютным давлением p и атмосферным (или барометрическим, от слова «барометр») давлением $p_a(p_0)$ называется избыточным (манометрическим, от слова «манометр») давлением и обозначается $p_{изб}$ (p_m):

$$p_{изб} (p_m) = p - p_a \quad (3.3.3.1)$$

или

$$p_{изб} / \gamma = (p - p_a) / \gamma = h_p \quad (3.3.3.2)$$

h_p в этом случае называется *пъезометрической высотой*, которая является мерой избыточного давления.

На рис.3.3.3.2 показан закрытый резервуар с жидкостью, на поверхности которой давление p_0 . Подключенный к резервуару пъезометр Π (см. рис. 3.3.3.1) определяет избыточное давление в точке А.

Абсолютное и избыточное давления, выраженные в атмосферах, обозначаются соответственно ата и ати. [5]

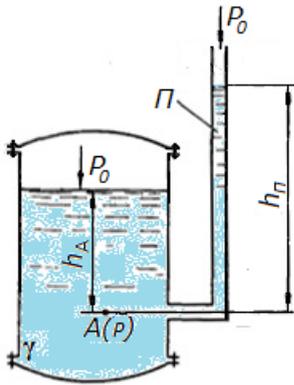


Рис.3.3.3.1
Избыточное давление

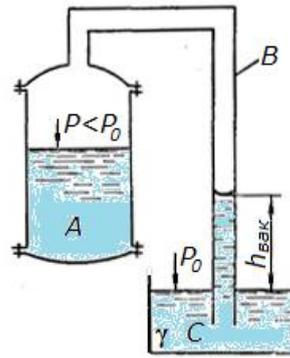


Рис.3.3.3.2
Вакуумметрическое давление

Вакуумметрическое давление, или *вакуум*, – недостаток давления до атмосферного (дефицит давления), т. е. разность между атмосферным или барометрическим и абсолютным давлением:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p \quad (3.3.3.3)$$

или

$$p_{\text{вак}}/\gamma = (p_a - p)/\gamma = h_{\text{вак}} \quad (3.3.3.4)$$

где $h_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота, т. е. показание вакуумметра B , подключенного к резервуару, показанному на рис.3.3.3.2. Вакуум выражается в тех же единицах, что и давление, а также в долях или процентах атмосферы.

Сила давления на горизонтальное дно сосуда зависит от рода жидкости γ , глубины жидкости в сосуде h и площади дна S и не зависит от формы сосуда. Таким образом, если в сосуды разной формы (рис.3.3.3.3), но с одинаковой площадью дна налита одинаковая жидкость на одну и ту же глубину, то сила давления на дно сосуда будет одинаковой и равной

$P = \gamma \cdot h_{\text{ж}} \cdot S$. (3.3.3.5) Это положение известно под именем "гидростатического парадокса", оно было разъяснено еще Паскалем.

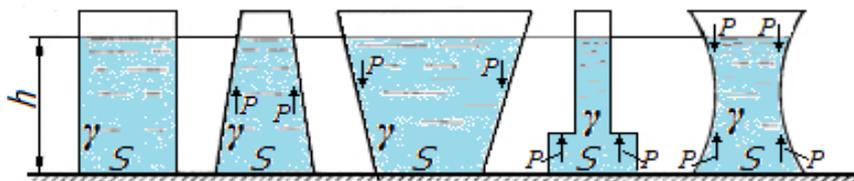


Рис.3.3.3.3 давление на дно сосудов различной формы

Действительно, оно кажется на первый взгляд неверным, потому что в сосудах с равными площадью дна, наполненных до равной высоты одной и той же жидкостью, вес ее будет очень различный, если формы различны.

Но вычисление и опыт (сделанный в первый раз Паскалем) показывают, что в сосуде, расширяющемся кверху, вес излишка жидкости поддерживается боковыми стенками и передается весам через их посредство, не действуя на дно, а в сосуде, суживающемся кверху, гидравлическое

давление на боковые стенки, а в Т-образном сосуде на верхнюю полку действует снизу вверх и облегчает весы ровно на столько, сколько весило бы недостающее количество жидкости. [6]

Геометрический смысл гидростатического давления

Рассмотри некоторые понятия для жидкости, находящейся в закрытом сосуде в состоянии равновесия.

Пьезометрическая высота.

На рисунке в состоянии равновесия представлен закрытый сосуд, наполненный жидкостью, на поверхности которой $P > P_a$. Сосуд расположен над условной плоскостью сравнения 0-0. К стенкам сосуда подведены две открытые трубки, называемые пьезометрами. Трубки А и В расположены на разных уровнях Z_A и Z_B от плоскости сравнения 0-0. Жидкость в точках А и В, которая находится под давлением P , поднимается по пьезометрам и испытывает атмосферное давление P_a , остановиться на одной плоскости 0'-0', называемой напорной плоскостью.

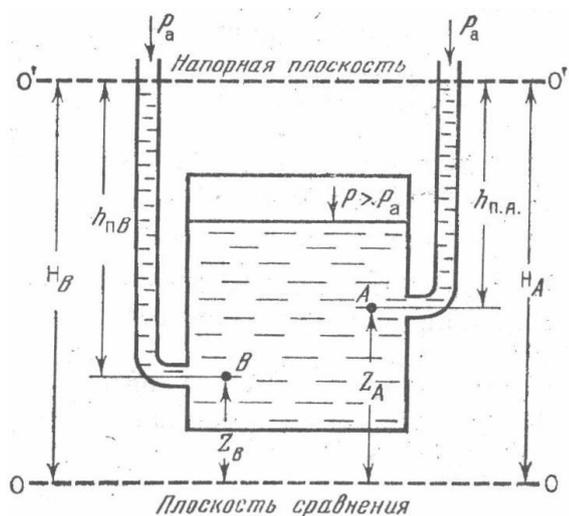


Рис. 3.3.3.4 Пьезометрические высоты давления и напор

Пьезометрической высотой h — называется высота от точки, находящейся под давлением, до поверхности, где давление равно атмосферному.

Пьезометрические высоты для разных точек могут быть не одинаковы.

Расстояние от точки находящейся под давлением до плоскости сравнения называется положением точки (относительно плоскости сравнения) или *пьезометрической высотой*.

$$h_{пA} = \frac{P_A - P_{атм}}{\rho g}; \quad h_{пB} = \frac{P_B - P_{атм}}{\rho g}; \quad (3.3.3.6)$$

Расстояние от плоскости сравнения до напорной плоскости, где давление равно атмосферному - называется *пьезометрическим напором*.

$$H_A = z_A + h_{пA} = z_A + \frac{P_A - P_{атм}}{\rho g} \quad (3.3.3.7)$$

$$H_B = z_B + h_{пB} = z_B + \frac{P_B - P_{атм}}{\rho g} \quad (3.3.3.8)$$

$$H_A = H_B.$$

Пьезометрические высоты h_A , h_B для точек занимающих разное положение относительно плоскости сравнения не равны между собой, тогда как пьезометрические напоры H_A и H_B равны между собой. [3]

Энергетические свойства пьезометрического напора

На рисунке в точке А масса частицы жидкости равна m . Вес частицы равен mg . Частицы жидкости из точки А могут опуститься до плоскости сравнения 0-0, совершив при этом работу, равную произведению веса на путь, т.е. $mg \cdot Z_A$. Таким образом частица жидкости, находясь в точке А, обладает запасом потенциальной энергии положения $mg \cdot Z_A$.

Частица в точке А находится под давлением $P_A = P - P_a$ и обладает потенциальной энергией давления, которая могла бы поднять частицу на пьезометрическую высоту $h_p = (P - P_a) / \rho g = P_A / \rho g$. Потенциальную энергию давления можно выразить соотношением $mg(P_A / \rho g)$.

Полный запас потенциальной энергии для частицы E_p будет равен сумме потенциальных энергий положения и давления

$$E_p = mgZ_A + mg \frac{P_A}{\rho g} \quad (3.3.3.9)$$

Отнесем весь запас энергии частицы к единице веса

$$E_p / mg = Z_A + \frac{P_A}{\rho g} \quad (3.3.3.10)$$

Из уравнения видно, что сумма $Z_A + \frac{P_A}{\rho g}$ есть величина постоянная и равна пьезометрическому напору [2]

Геометрический и энергетический смысл гидростатического напора

Таблица 3.3.3.1

Обозначения	Геометрический смысл	Энергетический смысл
H (м)	Пьезометрический или гидростатический напор	Полная потеря энергии
Z	Геометрическая высота положения	Удельная потенциальная энергия положения
$\frac{P}{\rho g}$	Пьезометрическая высота давления	Удельная потенциальная энергия давления

3.3.4 Давление жидкости на плоские поверхности.

Полная сила давления жидкости на плоскую фигуру произвольной формы площадью S (рис.3.3.4.1) определяется по формуле:

$$P_{\text{полн}} = (p_0 + \gamma \cdot h_{\text{ц}}) \cdot S = p_{\text{ц}} \cdot S, \quad (3.3.4.1)$$

где p_0 - гидростатическое давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре; γ - удельный вес жидкости; S - площадь фигуры; $h_{\text{ц}}$ - глубина погружения центра тяжести смоченной поверхности фигуры; $p_{\text{ц}}$ - гидростатическое давление в центре тяжести фигуры.

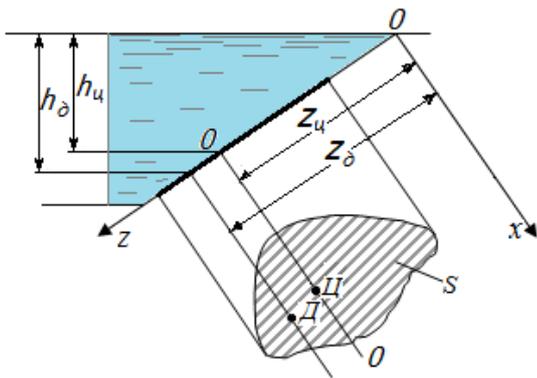


Рис.3.3.4.1

Давление жидкости на наклонную стенку

Сила P_0 представляет собой силу поверхностного давления, обусловленную наличием давления на свободной поверхности жидкости. Точка приложения этой силы совпадает с центром тяжести фигуры (на рис.3.3.4.1 точка Ц).

Сила P называется силой избыточного давления.

Она обусловлена давлением самой жидкости непосредственно на рассматриваемую фигуру и определяется весом столба жидкости, основанием которого является площадь S фигуры, а высотой - глубина погружения центра тяжести фигуры в жидкость h_u .

Выражением (3.3.4.2) определяется сила избыточного давления и в том случае, когда поверхностным давлением является давление атмосферы.

Положение точки приложения силы P (на рис.3.3.4.1 точка Д) определяется по формуле:

$$z_0 = z_u + \frac{I_u}{S \cdot z_u} \quad (3.3.4.3)$$

где z_0 - ордината точки приложения силы избыточного давления, отсчитываемая в плоскости фигуры от свободной поверхности жидкости (от оси ox); z_u - ордината центра тяжести площади S ; I_u - момент инерции площади фигуры относительно горизонтальной оси $o-o$, лежащей в плоскости фигуры и проходящей через ее центр тяжести (так называемый центральный момент инерции).

Если сосуд закрыт и давление на поверхности жидкости в нем P_0 , то в формуле для определения силы давления жидкости на плоские фигуры можно вводить расчетный напор $h_{расч.} = h_u + \frac{P_0}{\gamma}$. (3.3.4.4)

По существу h_u - глубина погружения центра тяжести смоченной поверхности фигуры, но отсчитываемая от нового уровня, появившегося в связи с наличием давления P_0 на поверхности жидкости. [5]

Таким образом, полная сила давления жидкости на плоскую фигуру равна произведению площади этой фигуры и гидростатическому давлению в ее центре тяжести.

Вышеприведенное выражение можно представить в виде:

$$P_{полн} = P_0 + P,$$

где,

$$P_0 = p_0 \cdot S;$$

$$P = \gamma \cdot h_u \cdot S. \quad (3.3.4.2)$$

Давление жидкости на криволинейные поверхности

Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}, \quad (3.3.4.5)$$

где P_x, P_y, P_z - составляющие силы избыточного давления по соответствующим осям.

В случае цилиндрической поверхности (рис.3.3.4.3, 3.3.4.4)

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (3.3.4.6)$$

P_x и P_z - горизонтальная и вертикальная составляющие силы P .

Горизонтальная составляющая избыточного давления P_x равна силе давления на вертикальную проекцию криволинейной поверхности (рис.3.3.4.2, 3.3.4.3):

$$P_x = (p_m + \rho g h_y) S_z \quad (3.3.4.7)$$

p_m - манометрическое давление на поверхности жидкости;

h_y - глубина погружения центра тяжести вертикальной проекции криволинейной поверхности, h_y ;

S_z - площадь вертикальной проекции.

$$\text{Если } p_m = p_0 = p_a, \text{ то } P_x = \rho g h_y S_z. \quad (3.3.4.8)$$

Вертикальная составляющая P_z равна весу жидкости в объеме тела давления (рис.3.3.4.3).

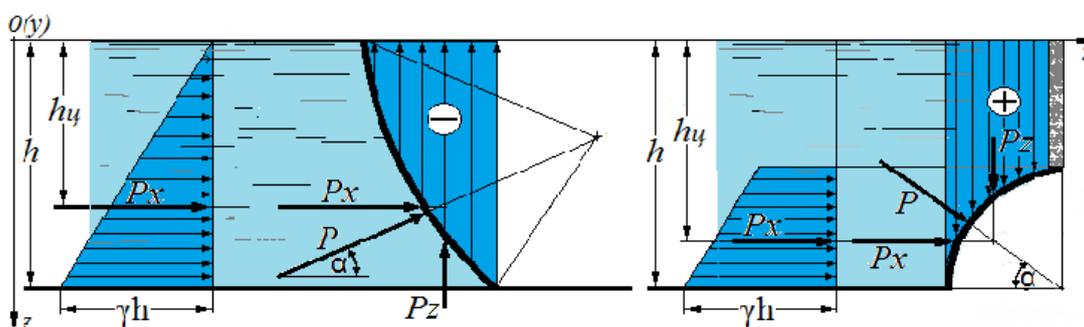


Рис.3.3.4.2

Рис.3.3.4.3

Давление на криволинейную стенку

Тело давления расположено между вертикальными плоскостями, проходящими через крайние образующие цилиндрической поверхности, самой цилиндрической поверхностью и свободной поверхностью жидкости или ее продолжением.

Если жидкость находится над цилиндрической поверхностью, как это показано на рис. 3.3.4.3, тело давления действительное и вертикальная составляющая направлена вниз, если же жидкость находится под цилиндрической поверхностью, как это показано на рис. 3.3.4.2, тело давления фиктивное и вертикальная составляющая направлена вверх.

Направление силы P определяется углом α :

$$\operatorname{tg} \alpha = P_z / P_x \quad (3.3.4.9)$$

Если криволинейная поверхность не цилиндрическая P_y определяется как P_x . [6]

3.3.5 Плавание тел

Почему плавают корабли? Почему поднимается вверх воздушный шар? Сейчас мы начнём разбираться с этими вопросами. И снова на помощь придёт закон Паскаля.

Мы знаем, что дерево в воде не тонет. Следовательно, сила тяжести уравнивается какой-то другой силой, действующей на кусок дерева со стороны воды вертикально вверх.

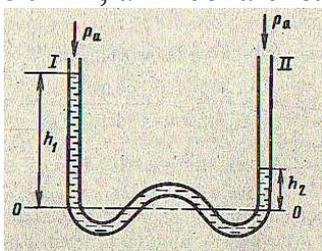
Эта сила называется выталкивающей или архимедовой силой. Она действует на всякое тело, погружённое в жидкость или газ.

Выясним причину возникновения архимедовой силы. Рассмотрим цилиндр площадью поперечного сечения S и высотой h , погружённый в жидкость плотности ρ . Основания цилиндра горизонтальны. Верхнее основание находится на глубине h_1 , нижнее – на глубине $h_2 = h_1 + h$

Практические задания

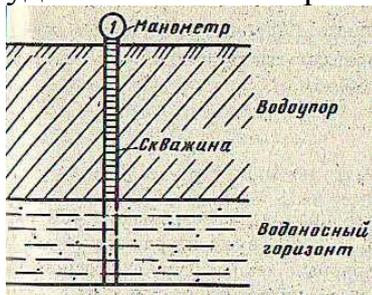
Задача 1

Определить удельный вес жидкости при помощи способа сообщающихся сосудов, в правое колено II налита ртуть, а в левое I – жидкость. Удельный вес ртути равен $13,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$, высота столба ртути над поверхностью раздела 50 мм, а высота столба жидкости 550 мм.



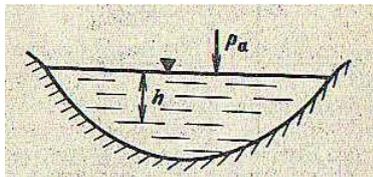
Задача 2

При бурении скважины вскрыт водоносный пласт с напорными водами устье скважины оборудовано манометром, который показал избыточное давление $3,92 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Определить, на какую высоту будет фонтанировать вода, удельный вес которой 9810 Н/м^3 .



Задача 3

Определить атмосферное давление на поверхность озера если полное гидростатическое давление на глубине 50 м равно $5,89 \cdot 10^5$ Па, удельный вес 9810 Н/м^3 .



Задача 4

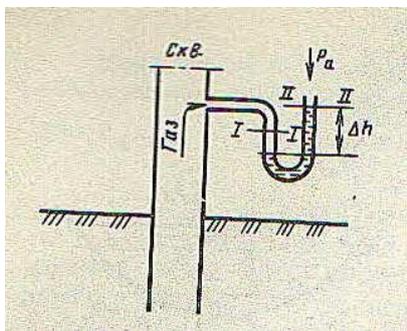
Определить избыточное давление на забое скважины глубиной 3650 м. скважина заполнена глинистым раствором плотностью 1600 кг/м^3 .

Задача 5

На сколько снизится забойное давление в скважине глубиной 3200 м, если глинистый раствор плотностью 1600 кг/м^3 заменить водой плотностью 1000 кг/м^3 .

Задача 6

Определить разность уровней воды Δh в колене дифференциального манометра, если давление газа в сечении I-I $1,6 \cdot 10^5$ Па, а в сечении II-II $1,01 \cdot 10^5$ Па.



Задача 7

Определить полное гидростатическое давление на дно сосуда высотой 0,7 м, наполненного водой. Давление на поверхность воды в сосуде равно 10^5 Па.

Задача 8

Избыточное давление на глубине моря 300 м составляет $3,09 \cdot 10^6$ Па. Определить удельный вес морской воды.

Задача 9

Определить общую силу давления жидкости на дно сосудов для каждой формы, если диаметр дна 10 см, высота слоя воды над дном 30 см, удельный вес жидкости 10800 Н/м. [4]

3.4 РАЗДЕЛ 3. ГИДРОДИНАМИКА

3.4.1 Основные понятия гидродинамики

Гидродинамика – изучает основные законы движения жидкости и их взаимодействия между движущейся жидкостью и твердыми телами.

1. *Траектория движения* – линия, по которой движется частица жидкости

2. *Линия тока* – линия в каждой точке которой, в данный момент времени, вектор скорости направлен по касательной. Траектория характеризует путь проходимый частицей в данный момент времени, а линия тока – направление движения в данный момент времени.

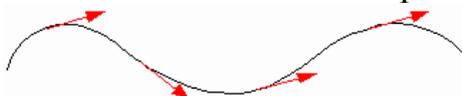


Рис. 3.4.1.1 Траектория линий тока

3. *Поверхность тока* – совокупность линий тока.

4. *Линия равных напоров эквипотенциалей* – это проекции линии равных напоров на горизонтальные поверхности.

5. *Элементарной струйкой* называется струйка с бесконечно малыми поперечными сечениями остается постоянной для данного сечения.

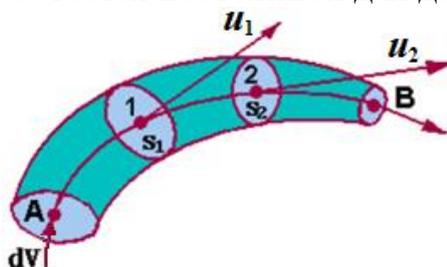


Рис. 3.4.1.2 Элементарная струйка

6. *Потоком жидкости* называется совокупность элементарных струек в данном русле.

7. *Поперечным (живым) сечением потока* (ω , м²) называется сечение потока направленное перпендикулярно к направлению движения [3]

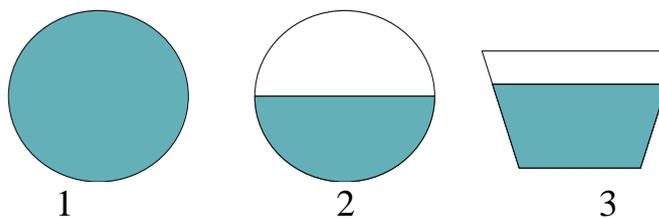


Рис. 3.4.1.3 Виды поперечных сечений

1 – закрытое, 2,3-соприкасается с атмосферой.

8. *Смоченный периметр* (χ) периметр поперечного сечения потока, соприкасающегося со стенками и дном русла

9. *Гидравлический радиус* ($R, м$) характеризует площадь поперечного сечения приходящегося на единицу длины смоченного периметра

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.4.1.1)$$

Для труб заполненных водой $R = \frac{r}{2}$ или $\frac{d}{4}$.

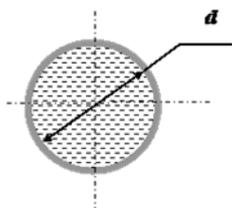


Рис. 3.4.1.4 круглое сечение

При напорном движении в трубе круглого сечения гидравлический радиус будет равен:

$$R = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4} \quad \text{т.е. четверти диаметра, или}$$

половине радиуса трубы.

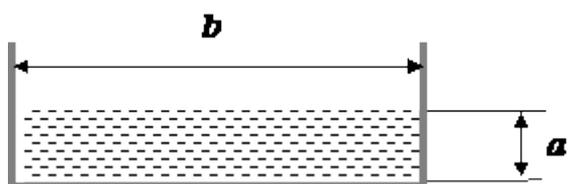
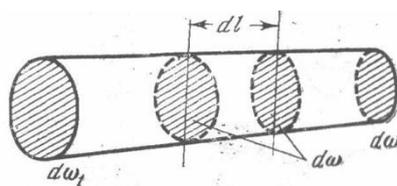


Рис. 3.4.1.5 Прямоугольное сечение

Для безнапорного потока прямоугольного сечения с размерами $a \times b$ гидравлический радиус можно вычислить по формуле

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{ab}{2a+b} \quad (3.4.1.2)$$

10. *Расход потока (дебит)* ($q, м^3/сут$) – количество жидкости проходящее через поперечное сечение в единицу времени



$$q = \omega \cdot v \quad (3.4.1.3)$$

Рис. 3.4.1.6 Определение расхода потока

Виды движения жидкости:

1. Напорное движение – наблюдается при ограничении потока со всех сторон жесткими стенками. Движение всегда происходит под давлением.

2. Безнапорное движение – наблюдается в сечении со свободной поверхностью соприкасающееся с атмосферой. Движение происходит под действием силы тяжести.

3. Установившееся движение – величина и направление скорости потока давление в любой его точке не изменяется с течением времени, а при неустановившемся движении эти параметры с течением времени изменяются.

4. Равномерное движение – такое установившееся движение, при котором по длине потока изменяется поперечное сечение или при неизменном поперечном сечении изменяется скорость.

5. Плавное изменяющееся движение – это такое установившееся неравномерное движение, которое близко к равномерному движению. [2]

Уравнение неразрывности потока

Неразрывный или сплошной поток жидкости – это поток, в котором отсутствует пустоты и движение происходит с непрерывным распределением массы.

1) Если $Q_1 > Q_2$ будет происходить накопление жидкости на каком то участке, но т.к. поток ограничен жесткими стенками и жидкость несжимаема, то это невозможно.

2) Если $Q_1 < Q_2$ в таком случае в потоке будут образовываться пустоты, что противоречит понятию неразрывности потока.

3) Если $Q_1 = Q_2$ – это условие является реальным, т.к. поток течет без разрывов и с постоянным расходом, по всей длине потока должно соблюдаться условие постоянства:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{const}$$

Физический смысл уравнения неразрывности потока заключается в том, что суммарное количество жидкости, вошедшее в какой-либо объем, равно суммарному количеству вытекающему из него:

$$\begin{aligned} \omega_1 \cdot v_1 &= \omega_2 \cdot v_2 \\ v_1 &= v_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \end{aligned} \quad (3.4.1.4)$$

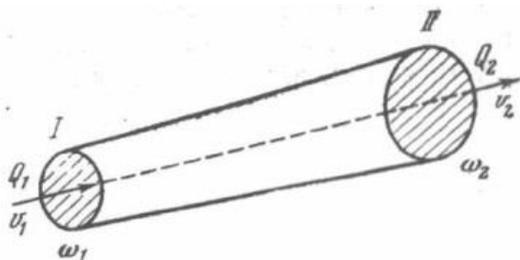


Рис. 3.4.1.7 Иллюстрация уравнения неразрывности

3.4.2 Уравнения Д. Бернулли

Уравнения Д. Бернулли для струйки невязкой жидкости

Для определения скоростей в небольших потоках, лотках, трубах и в лабораторных условиях, применяется гидрометрическая трубка Пито.

В открытый **безнапорный** поток помещена трубка с изогнутым концом, в которую вода попадает под влиянием скорости и поднимается на высоту (удельная кинетическая энергия)

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad (3.4.2.1). \text{ Формула взята из физики.}$$

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{mg \cdot 2} = \frac{v^2}{2g} \quad (3.4.2.2) \text{ Удельная кинетическая энергия}$$

Если в поток поместить обычную пьезометрическую трубку, то вода в ней расположится на уровне поверхности и высота столба будет равна давлению в точке $\frac{P}{\rho g}$.

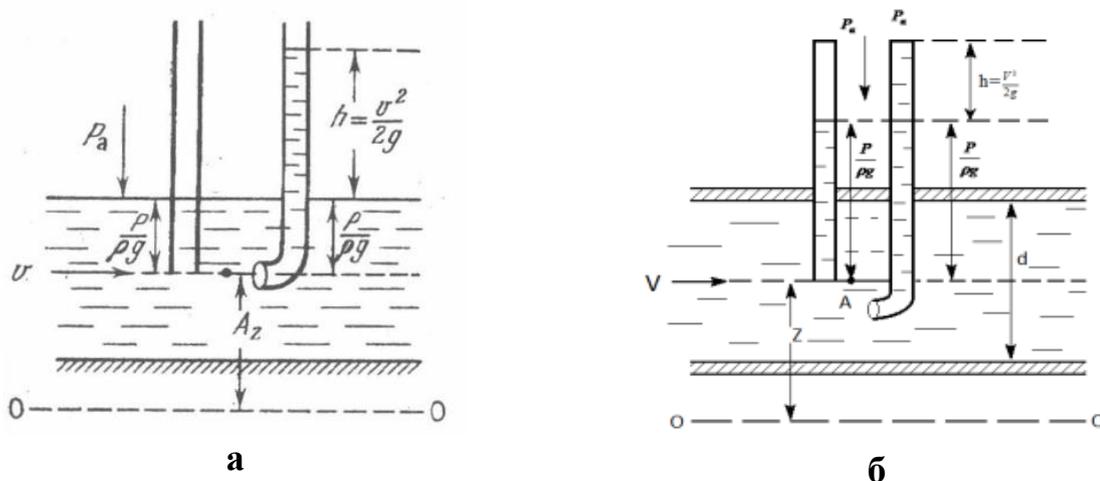


Рис. 3.4.2.1 Схема гидрометрической трубки Пито
а – трубка в открытом потоке, б – трубка в закрытом потоке

В **напорном** потоке с диаметром d в трубке с изогнутым концом вода поднимается на большую высоту. В пьезометрической трубке вода поднимается на высоту $\frac{P}{\rho g}$ большую, чем в открытом потоке. Разность высот в изогнутой и пьезометрической трубках будет равна величине $h = \frac{v^2}{2g}$

Из полученных соотношений в открытом потоке и трубе диаметром d можно определить значение скорости $v = \sqrt{2gh}$, (3.4.2.3)

где g -ускорение силы тяжести, m/s^2

h -высота поднятия воды в трубке, м

Действительная скорость немного меньше теоритической вследствие потерь напора, которые возникают в реальной жидкости и зависят от конструкции трубки, поэтому вводится коэффициент ϕ , который определяется предварительным тарированием трубки (практически близок к 1). Величина скорости вычисляется по формуле $v = \phi \sqrt{2gh}$. (3.4.2.4)

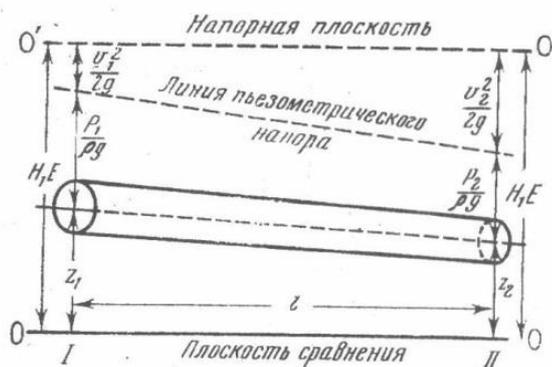


Рис. 3.4.2.2 Уравнение Д. Бернулли для струйки невязкой жидкости

По пути движения струйки невязкой жидкости над плоскостью сравнения в первом сечении площадь больше, чем во втором при положении $Z_1 > Z_2$. Подрисовываем трубки Пито и определяем величины $\frac{P_1}{\rho g}$ и $\frac{v_1^2}{2g}$; $\frac{P_2}{\rho g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$.

От поперечного сечения I до плоскости напора, величина $\frac{P_1}{\rho g}$ больше, а $\frac{v_1^2}{2g}$ меньше, и наоборот для сечения II величина $\frac{P_2}{\rho g}$ меньше, а $\frac{v_2^2}{2g}$ больше

Вывод: сумма членов уравнения есть величина постоянная, величины напоров H_1 , H_2 и энергия E_1 , E_2 , равны в обоих сечениях.

Уравнение неразрывности потока имеет вид $Q = v \cdot F(\omega)$,

где Q -расход потока

v_1 и v_2 – скорости в сечениях 1 и 2

F_1 и F_2 -площади сечений

уравнение Бернулли для струйки невязкой жидкости

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H, E \quad (3.4.2.6)$$

Из уравнения видно что, чем больше давление, тем меньше скорость жидкости.

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = const$$

При движении струйки невязкой жидкости в ней не происходит потери напоров и потери энергии, напор в первом сечении равен напору во втором сечении и плоскость напора будет параллельна поверхности сравнения, но при движении вязкой жидкости происходит трение между слоями и как следствие возникают потери напора или энергии на всем пути движения жидкости, линия напора не будет параллельна плоскости сравнения. Следовательно, уравнение Бернулли можем записать так:



Рис. 3.4.2.3 Уравнение Д.Бернулли для струйки вязкой жидкости

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} > Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Обозначив потерю напора через $h_w(\text{см})$, получим

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h_w \quad (3.4.2.7)$$

Уравнение Д.Бернулли для потока вязкой жидкости

Т.к. поток – это совокупность множества элементарных струек, следовательно, скорость жидкости по всему сечению будет разная. Для того чтобы усреднить эти скорости вводится коэффициент α , добавив в уравнение получим:

уравнение Д.Бернулли для потока вязкой жидкости

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v^2}{2g} + h_w \quad (3.4.2.8)$$

При турбулентном движении $\alpha=1,1-1,2$

При ламинарном движении $\alpha=2,0$

Энергетический и геометрический смысл уравнения Бернулли и его частей для вязкой жидкости

Таблица 3.4.2.1

Геометрический смысл	Энергетический смысл
z_1 и z_2 - высота положения	z_1 и z_2 энергия положения
$\frac{P_1}{\rho g}$ и $\frac{P_2}{\rho g}$ - высота давления	$\frac{P_1}{\rho g}$ и $\frac{P_2}{\rho g}$ - энергия давления
$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g}$ и $Z_2 + \frac{P_2}{\rho g}$ - потенциальная пьезометрическая высота	$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g}$ и $Z_2 + \frac{P_2}{\rho g}$ - потенциальная энергия давления
$\frac{\alpha_1 v^2}{2g}$ и $\frac{\alpha_2 v^2}{2g}$ - скоростная высота	$\frac{\alpha_1 v^2}{2g}$ и $\frac{\alpha_2 v^2}{2g}$ - кинетическая энергия
h_w – потери напора	h_w – потери энергии

Вывод: струйка невязкой жидкости – сумма трех высот и энергий постоянна по пути движения $H=\text{const}$, напорная плоскость горизонтальная.

Струйка и поток вязкой жидкости – сумма трех высот и удельных энергий убывает по пути движения $H \neq \text{const}$, напорная плоскость не горизонтальна. [5]

Гидравлический или пьезометрический уклон

Из уравнения Д.Бернулли для потока вязкой жидкости

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v^2}{2g} + h_w \quad \text{можно написать}$$

$$h_w = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (3.4.2.9)$$

Обозначим расстояние между сечениями I и II через L.

Гидравлический уклон – уменьшение удельной энергии движущейся жидкости на единицу длины.

Пьезометрический уклон - уменьшение удельной потенциальной энергии движущейся жидкости на единицу длины. [5]

Если $P_1 \neq P_2 \neq P_a$ и $v_1 \neq v_2$

$$I = \frac{h_\omega}{L} = \frac{\left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)}{L} \quad (3.4.2.10)$$

Формула справедлива для неравномерного напорного движения

Если $P_1 \neq P_2 \neq P_a$ и $v_1 = v_2$ (водопроводная труба)

$$I_n = \frac{h_\omega}{L} = \frac{\left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right)}{L}$$

Формула справедлива для равномерного напорного движения

Если $P_1 = P_2 = P_a$ и $v_1 \neq v_2$ (река, канал, лоток) $I_z = \frac{\left(Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)}{L}$

Формула справедлива для неравномерного безнапорного движения

Если $P_1 = P_2 = P_a$ и $v_1 = v_2$ (канал)

$$I = \frac{Z_1 - Z_2}{L} \quad (3.4.2.11)$$

Формула справедлива для равномерного безнапорного движения

3.4.3 Практическое применение уравнения Бернулли

Уравнения Д.Бернулли применяются для решения важных практических задач. В качестве простого примера рассмотрим гидравлическую установку – водомер Вентури, который предназначен для определения расхода воды в трубопроводе.

Зарисовываем рисунок.

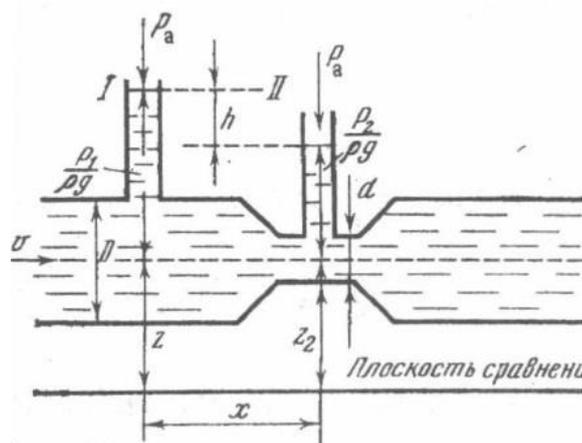


Рис. 3.4.3.1 Водомер Вентури

На данном рисунке представлен отрезок трубопровода с двумя сечениями I и II с различными диаметрами D и d . Применение уравнения Бернулли требует, помимо выбора сечений, выбора плоскости сравнения, которая в данном случае опущена ниже установки на уровне 0-0. Координаты центров сечений над плоскостью сравнения соответственно равны Z_1 и Z_2 , и поскольку трубопровод расположен горизонтально, то в данном случае $Z_1=Z_2$. На небольшом расстоянии x в сечения вставлены две пьезометрические трубки, открытые для атмосферного давления.

Вода в пьезометрах в зависимости от гидродинамического давления установится в первом сечении на высоте $\frac{P_1}{\rho g}$, а во втором на высоте $\frac{P_2}{\rho g}$.

Обозначим скорости в сечениях v_1 и v_2 . В виду небольшого расстояния между сечениями I и II, потерей энергии на данном участке можно пренебречь. Напишем уравнение Бернулли для двух выбранных сечений потока вязкой жидкости с учетом заданных ограничений

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

Перенесем потенциальную энергию в левую часть, а кинетическую – в правую. Принимая $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, получим

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right) = \frac{\alpha(v_2^2 - v_1^2)}{2g}$$

Из рисунка видно, что

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right) = h$$

и тогда зависимость примет вид

$$h = \frac{\alpha(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \quad (3.4.3.1)$$

Задача состоит в том, чтобы определить расход воды $Q=v*\omega$, если в водомере Вентури можно практически найти величину h и величину площади сечения ω .

Уравнение (h) нельзя решить без привлечения **уравнения неразрывности**

$Q_1= Q_2=v_1*\omega_1= v_2*\omega_2$. Из уравнения неразрывности можно выразить скорость v_2 через v_1 по формуле

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Отношение площадей следует заменить отношением

$$\frac{\pi D^2}{4} / \frac{\pi d^2}{4} = \frac{D^2}{d^2} = k$$

Тогда скорость равна...

$$v_2 = v_1 \cdot k$$

Подставляя v_2+kv_1 в уравнение h получим

$$h = \frac{\alpha(k^2 v_2^2 - v_1^2)}{2g} = \frac{\alpha v_1^2 (k^2 - 1)}{2g} \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2g}{\alpha(k^2 - 1)}} \cdot h \quad (3.4.3.2)$$

Теоретический расход через сечение I трубопровода будет равен

$$Q_m = \frac{\pi D^2}{4} * v_1 = \frac{\pi D^2}{4} * \sqrt{\frac{2g}{\alpha(k^2 - 1)}} * h \quad (3.4.3.3)$$

Из опытных данных известно, что отношение теоретического расхода к

практическому $\frac{Q_m}{Q_n} = 0,98$ и тогда

$$Q_n = 0,98 \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\alpha(k^2 - 1)}} * \sqrt{h} \quad (3.4.3.4)$$

Как видно, первый множитель уравнения является постоянной величиной для данной установки и для заданного режима и может быть заменен выражением A , тогда расход по водомеру Вентури будет равен

$$Q = A\sqrt{h} \quad (3.4.3.5) \quad [5]$$

Практические задания

Задача 1. Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну $b=15$ м, глубину $h =1$ м, Коэффициент откоса канала $m=1$. Средняя скорость потока $v = 1,5$ м/с. Требуется определить площадь живого сечения; смоченный периметр; гидравлический радиус; расход потока.

Задача 2. Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну 37 м, глубину $2,5$ м. Коэффициент откоса канала $1,5$. Средняя скорость $2,3$ м/с. Требуется определить: площадь живого сечения, смоченный периметр, гидравлический радиус, расход потока.

Задача 3. Определить расход воды в трубе с краном, если длина трубы

$L=50$ м, диаметр трубы 300 мм, высота воды в напорном баке 4 м, $\lambda=0.03$

Задача 4. Определить теоретическую скорость движения воды в трубе, если в пьезометре уровень поднялся на высоту 78 см, а в трубке Пито на высоту 90 см, $g=10$ м/с².

Задача 5. Вычислить гидравлический радиус для канала, поперечное сечение которого имеет трапецеидальную форму, если $B=30$ м, $h_{cp} = 5$ м, и коэффициент откоса $m=2$.

Задача 6. Определить постоянную A водомера Вентури, если $D=200$ мм, $d=100$ мм, $h=0,5$ м, $\mu=0,98$, расход воды в трубе 25 л/с, $\alpha=1$

Задача 7. Определить диаметр суженной части водомера Вентури, по которому подается вода с расходом 2 м³/с. Диаметр трубопровода 0,3 м, разность уровней воды в пьезометрах 0,25 м, $\alpha_1 = \alpha_2=1$, $\mu=0,98$ [4]

3.5 ГЛАВА 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

3.5.1 Ламинарное и турбулентное движение жидкости и критерий Рейнольдса

Ламинарный режим движения характеризуется движением без скачкообразного изменения скоростей и перемешиваний слоев.

Такой режим движения характерен для движения по трубам масел и нефти, и для движения подземных вод в простой среде.

Турбулентный режим движения характеризуется скачкообразным изменением скоростей и перемешиванием скоростей и перемешиванием слоев. В таком режиме движется по трубам вода, трещинные, карстовые подземные воды. [3]

Определение режима движения жидкости на основной установке Рейнольдса с обработкой данных

Гидродинамические режимы течения жидкости. Существование двух совершенно противоположных и принципиально разных структур потоков жидкости было обнаружено Гагеном (1869г), Менделеевым (1880г.) и Рейнольдсом (1883 г.). Наиболее полно режимы течения были исследованы Рейнольдсом на установке, схема которой приведена на рис.3.5.1.1. Установка состояла из резервуара 1, в нижней части которого была выведена прозрачная стеклянная трубка 4, снабжённая на конце краном 7. Левый конец трубки имел плавный вход, в который была вставлена трубка меньшего размера, соединённая с резервуаром 3, наполненным индикатором (тёмной краской).

Эта трубка была снабжена краном 5. Над резервуаром 1 был установлен бачок 2 с краном 6 на высоте h , из которого в резервуар 1 подавалась исследуемая жидкость известных параметров. Устройство

установки позволяло для создания стационарного потока поддерживать уровень жидкости в резервуаре 1 на постоянном уровне. Опыт Рейнольдса состоял в следующем.

Вначале при помощи крана 6 заполняли резервуар 1 жидкостью, а затем по достижении в нём уровня жидкости h , медленно открывался на определенный расход жидкости кран 7. После достижения стационарности потока жидкости в трубке 4, при помощи крана 5 по оси трубки 4 вводился индикатор из резервуара 3.

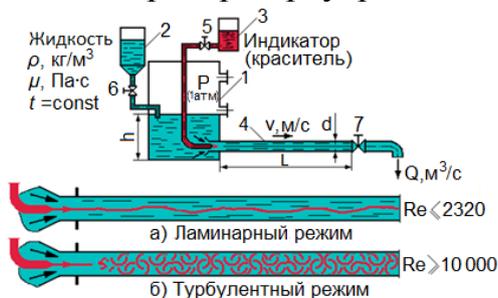


Рис.3.5.1.1 Опыт Рейнольдса по определению гидродинамических режимов течения жидкостей

По мере истечения исследуемой жидкости визуально наблюдалась структура потока жидкости в трубке 4 по поведению тонкой струйки индикатора. Проведенные опыты показали, что при скоростях жидкости меньше некоторого критического значения $v_{кр}$ струйка красителя, проходя по всей длине трубки 4, не размывалась и не смешивалась с жидкостью по всему сечению. При скоростях же превышающих это критическое значение $v > v_{кр}$ струйка индикатора, попадая в поток жидкости, начинала смешиваться с ней, заполняя все сечение трубки.

И чем выше было значение скорости, тем более интенсивным наблюдалось перемешивание. Очевидно, что в первом случае, когда индикатор не размывался, жидкость двигалась слоями параллельно стенкам трубы. Течение напоминало параллельно-струйчатое или слоистое движение, которое было названо **ламинарным**. Во втором случае, когда при скорости потока превышающей некоторый критический порог, несмотря на продолжающееся поступательное движение жидкости по трубе, наблюдалась такая картина: на некотором участке от ввода индикатора, последний вначале не смешивался с потоком жидкости, а затем наблюдалось образование завихрений, и индикатор перемешивался с жидкостью. Такое движение было названо **турбулентным**.

Рейнольдсом было установлено, что переход от ламинарного к турбулентному режиму определяется с одной стороны физическими свойствами жидкости (ρ и μ), а с другой – скоростью течения v и диаметром трубки d . На основании многочисленных экспериментов с различными жидкостями и трубками, при различных скоростях течения в результате обработки результатов опытов, Рейнольдсом было установлено, что установленные режимы течения проявляются только при определенном соотношении указанных параметров. [5, 6]

Рейнольдсом был сформирован безразмерный комплекс величин, который впоследствии был назван в честь его имени – числом (или критерием подобия) Рейнольдса: $Re = \frac{vd}{\nu}$

Для прямых гладких цилиндрических труб экспериментально установлены следующие границы:

1. $Re \leq 2320$ – режим движения ламинарный (устойчивый).
2. $Re \geq 2320$ – режим движения турбулентный (устойчивый).
3. $2320 < Re < 2320$ – переходный режим: неустойчивый ламинарный режим.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (3.5.1.1), \text{ где}$$

Re – число Рейнольдса

v – скорость жидкости, м/с, см/с

d – диаметр трубопровода, м, см

ν – кинематический коэффициент вязкости, м²/с, см²/с

Критическая скорость $v_{кр}$ – величина средней скорости соответствующая критическому значению числа Рейнольдса.

$$v_{кр} = \frac{R_{екр} * v}{d} \quad (3.5.1.2)$$

При движении жидкости в открытых руслах и каналах $R_{екр} = 300$

При движении жидкости в трубах, при замене диаметра гидравлическим радиусом формула будет иметь вид:

$$R_{екр} = \frac{v * R}{\nu} = 575 \quad (3.5.1.3)$$

Если при движении в открытых руслах и каналах ширина русла больше в 20 раз глубины канала, то число Рейнольдса равно

$$Re = \frac{vh_{cp}}{\nu} \quad (3.5.1.4)$$

Движение жидкости в пористой среде

В пористой среде ламинарное движение подчиняется закону Дарси, и также как при движении в трубах, это движение может перейти его границы. Гидравлик Н.Н.Павловский в 1922г., проведя большую серию опытов, установил критерий, превышение которого указывает на отклонения законов ламинарного движения и он имеет вид

$$Re_n = \frac{1}{0.75n + 0.23} * \frac{vd_e}{\nu} \quad (3.5.1.5)$$

n – пористость, д.е.

v – скорость фильтрации

d_e - действующий диаметр

ν – кинематический коэффициент вязкости

Re_n - число Павловского

Если $Re_n < 9$, то движение ламинарное, если $Re_n > 9$ – турбулентное.

В.Н.Щелкачев в 1949г. Видоизменил формулу:

$$Re_{ш} = \frac{10v_{kp} \sqrt{k_0}}{n^{2.3} * \mu} * \rho \quad (3.5.1.6)$$

$Re_{ш}$ – число Щелкачова

K_0 – коэффициент проницаемости

Если $Re_{ш} < 12$ то движение ламинарное, $Re_{ш} > 12$ – турбулентное

Расчёт потерь напора

Рассмотрим вывод формулы Дарси-Вейсбаха для h_w . В формуле для вычисления средней скорости при ламинарном движении $v_{cp} = \frac{J \cdot g}{8\nu} \cdot r_0^2$ (r_0 – радиус трубы, J – гидравлический уклон, g – ускорение силы тяжести, ν – кинематический коэффициент вязкости).

r_0 заменим на $d/2$, тогда получим $v_{cp} = \frac{J \cdot g \cdot d^2}{32\nu}$ (2) известно что $J = \frac{h_w}{L}$.

Подставив в выражение (2) получим $v_{cp} = \frac{h_w \cdot g \cdot d^2}{32 \cdot \nu \cdot L}$.

Величина $h_w = \frac{v_{cp} \cdot 32 \cdot \nu \cdot L}{g \cdot d^2}$ (3). Умножим в формуле числитель и

знаменатель на $\frac{2v_{cp}}{\nu}$, получим $h_w = \frac{64 \cdot L \cdot \nu^2}{\frac{vd}{\nu} \cdot d \cdot 2g}$; В знаменателе $\frac{vd}{\nu} = Re_e$, тогда

$$h_w = \frac{64}{Re_e} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\nu^2}{2g} \quad (3.5.1.7)$$

Обозначим $\lambda = \frac{64}{Re_e}$, тогда величина потерь h_w при ламинарном

движении вычисляется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_w = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\nu^2}{2g} \quad (3.5.1.8)$$

h_w – потери напора, L – длина трубопровода, d – диаметр трубы, ν – скорость жидкости, g – ускорение свободного падения, λ – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления.

Для турбулентного движения величина коэффициента гидравлического трения λ находится опытным путем.

Для металлических труб при диаметре $d \leq 0,50$ м можно применить формулу Дарси $\lambda = 0,02 \left(1 + \frac{1}{40d} \right)$ (3.5.1.9)

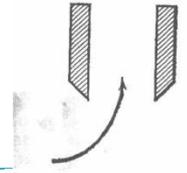
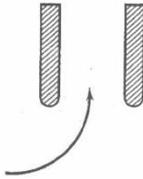
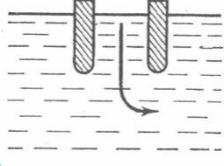
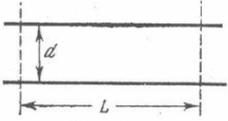
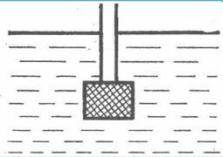
Кроме линейных потерь напора по формуле Дарси – Вейсбаха рассчитываются местные потери напора по формуле Вейсбаха:

$$h_w = \Sigma \xi \frac{v^2}{2g} \quad (3.5.1.10)$$

Где ξ – безразмерный коэффициент местных сопротивлений.

Коэффициенты местных сопротивлений

Таблица 3.5.1.1

Сопротивление	ξ	Схема, рисунок
Вход в трубу с острыми краями	0,5	
Вход в трубу с закруглыми краями	0,03-0,05	
выход под уровень	1,0	
Линейное трение по длине	$\lambda=L/d$	
Всасывающий клапан насоса	5-10	

Скорость ламинарного движения

Турбулентный вид движения наблюдается в открытых руслах и каналах.

Заменим для труб d (1) гидравлическим радиусом $h_w = \lambda \frac{L}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{L}{8R} \cdot \frac{v^2}{2g}$

Определим величину гидравлического уклона через величину h_w .

$$J = \frac{h_w}{L} = \lambda \frac{Lv^2}{8RgL} = \lambda \frac{v^2}{8Rg}$$

Из формулы определим величину средней скорости

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{8g}{\lambda} \cdot R \cdot J}$$

$\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = c$, получим формулу Шези для определения скорости при

турбулентном движении

$$v_{cp} = c\sqrt{R \cdot J} \quad (3.5.1.11)$$

3.6 ГЛАВА 5. НАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ТРУБАХ

Трубопроводы делятся на: короткие – трубопроводы, в которых местные потери составляют 10% потерь напора по длине; длинные – местные потери составляют более 10% потерь напора по длине.

В зависимости от расположения сети труб, трубопроводы делятся на простые и сложные.

Расчет простого трубопровода

При расчете простого длинного трубопровода состоящего из одного диаметра пренебрегая местными напорами, можно применить формулу Шези: $v_{cp} = c\sqrt{R \cdot J}$, тогда расход воды вычисляется по формуле $Q = \omega c\sqrt{R \cdot J}$. Введем значение расходной характеристики трубопровода k или модуль расхода $k = \omega c\sqrt{R \cdot J}$ (1) м.куб/с. Формула расхода воды $Q = k\sqrt{J}$ (2).

При уклоне $J = 1,0$ – величина расходной характеристики равна Q .

Потери напора по трубопроводу можно определить подставив в формулу (2) $J = \frac{h_w}{L}$, получим $Q = k\sqrt{\frac{h_w}{L}}$. Формулу можно записать

$$Q = \sqrt{\frac{h_w \cdot k^2}{L}} \quad (3.6.1.1)$$

Величина потерь напора по длине равна $h_w = \frac{Q^2 \cdot L}{k^2}$; $1/k^2 = A$.

$$h_w = Q^2 \cdot L \cdot A \quad (3.6.1.2)$$

A -удельное сопротивление в трубопроводе (c^2/m^6). (Определяется по таблице в зависимости от материала и диаметра трубы). [5]

Расчет экономичного диаметра трубопровода

Экономичный расход – это расход, при котором затраты на строительство и эксплуатацию трубопровода минимальны. При экономичном расходе скорость жидкости в трубопроводе 1 м/с.

Приближенное решение выбора диаметра трубопровода находим $v = \frac{Q}{W}$, $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{W}$ экономичная скорость равна $v = 1$ м/с

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{1} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi}} \text{ и } d = 1,13\sqrt{Q} \text{ – экономичный диаметр.}$$

Расчет расхода в простом трубопроводе с постоянным диаметром.

$$h_w = H_1 - H_2 \quad (3) \quad Q = \sqrt{\frac{(H_1 - H_2)k^2}{L}}$$

Расчет расхода в простом трубопроводе при последовательном соединении труб различных диаметров.

Для каждого участка рассчитывается h_w , затем суммарная потеря $h_w = h_{w1} + h_{w2} + h_{w3}$

Подставляя в формулу при постоянном Q получим $h_w = H_A - H_B = \frac{Q^2}{\frac{L}{k_1^2} + \frac{L_2}{k_2^2} + \frac{L_3}{k_3^2}}$

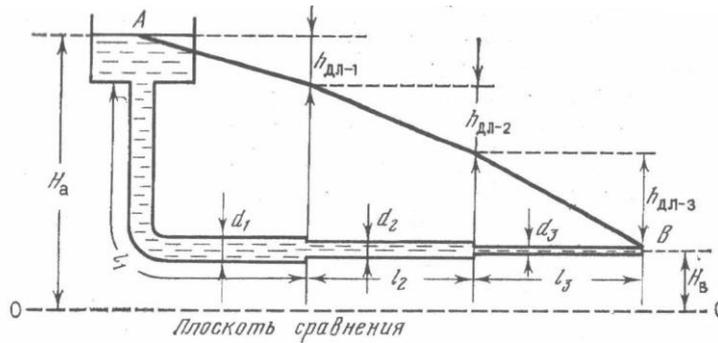


Рис. 3.6.1 Трубы разных диаметров

$$Q = \sqrt{\frac{h_W}{\frac{L}{k_1^2} + \frac{L_2}{k_2^2} + \frac{L_3}{k_3^2}}} \quad (3.6.1.3)$$

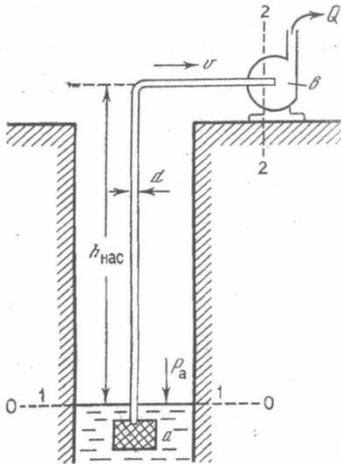
Расчет сложного трубопровода

$$Q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$Q = \sqrt{\frac{k_1^2 h_W}{L_1}} + \sqrt{\frac{k_2^2 h_W}{L_2}} + \sqrt{\frac{k_3^2 h_W}{L_3}}$$

$$h_W = \frac{Q^2}{\frac{K_1}{\sqrt{L_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{L_2}} + \frac{K_3}{\sqrt{L_3}}} \quad (3.6.1.4)$$

Расчет всасывающего трубопровода



$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_W$$

$$Z_1 = 0; \quad P_1 = P_a; \quad v_1 = 0$$

$$Z_2 = h_{\text{нас}}; \quad P_2 = P; \quad v_2 = v$$

$$h_W = \Sigma \xi \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{P_a - P}{\rho g} = h_{\text{нас}} + \frac{v^2}{2g} (\alpha + \Sigma \xi)$$

$$h_{\text{вак}} = h_{\text{нас}} + \frac{v^2}{2g} (\alpha + \Sigma \xi) \quad (3.6.1.5)$$

Рис. 3.6.2 Расчет всасывающего трубопровода

Сумма коэффициентов состоит из потерь на всасывающий клапан ξ вс, закругление трубы ξ зак и потери по длине трубопровода $\lambda \frac{L}{d}$

$$h_{\text{вак}} = h_{\text{нас}} + \frac{v^2}{2g} \left(\alpha + \lambda \frac{L}{d} + \Sigma \xi \right) \quad (3.6.1.6)$$

расчет потерь во всасывающем трубопроводе.

3.6.1 Гидравлический удар

Гидравлическим ударом называется изменение давления в жидкости при напорном движении в трубах вызываемые разким изменением скорости за малый промежуток времени.

При полном или частичном закрытии трубы затвором (краном) возникает резкое уменьшение течения скорости воды в трубопроводе. У затвора давление повысится, т.к. к концу трубопровода еще некоторое время поступает дополнительная масса воды. В результате этого, вследствие упругости воды будет увеличиваться повышенное давления и увеличение плотности жидкости будут направлены от затвора к резервуару со скоростью C (скорость распространения ударной волны). [6]

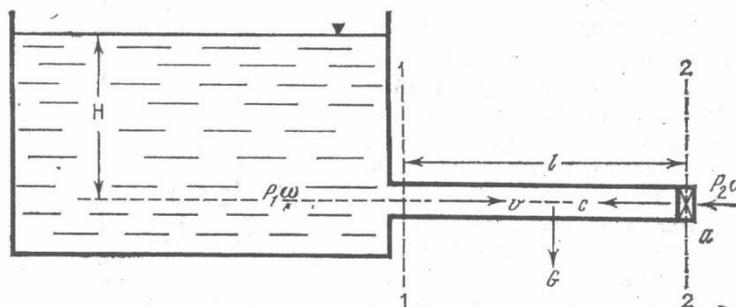


Рис. 3.6.1.1 Схема к гидравлическому удару

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{Ed}{E_{тр}\delta}}} (3.6.1.7) E_{тр} - \text{модуль упругости материала стенки}$$

δ – толщина стенки

1425 м/с - скорость распространения звука в воде.

d - диаметр трубы

E – модуль упругости.

При подходе ударной волны к резервуару волна отразивается и практически с той же скоростью C возвращается к затвору.

Время распространения ударной волны от затвора и обратно называется фазой удара и определяется по формуле $T = \frac{2l}{C}$

3.7 ГЛАВА 6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРТИЙ, НАСАДОК И ЧЕРЕЗ ВОДОСЛИВЫ

3.7.1 Виды отверстий и насадок

Истечение через отверстие относится к движению жидкости на коротких участках с преодолением местных сопротивлений.

Теория истечения жидкости разработана для следующих практических определений:

1. Определение количества воды вытекающей через отверстия и насадки.
2. Времени наполнения и опорожнения цистерн, водохранилищ, шлюзовых камер.
3. Расходов воды в подземных выработках

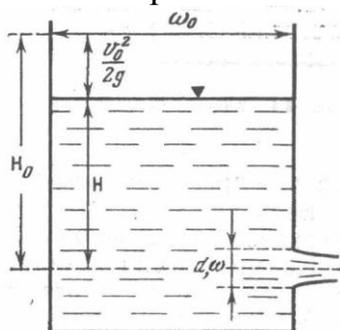
4. Количество воды протекающей через данное отверстие плотин и др.

Движение при истечении жидкости подразделяется на:

1. Установившееся, при постоянном напоре
2. Неустановившееся, при не постоянном напоре.

Отверстия бывают:

1. Малое, напор в котором одинаков по всему сечению этого отверстия и принимается равным напору в центре сечения.

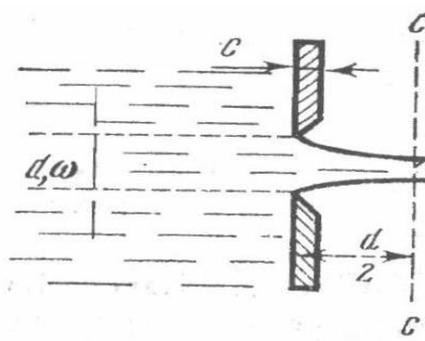


- ω_0 – площадь сечения резервуара
- H – напор
- $\frac{v^2}{2g}$ – скоростной напор
- H_0 – напор с учетом скоростного напора
- d – диаметр малого отверстия.

Рис. 3.7.1.1 Малое отверстие

2. Большое отверстие, где напор и диаметр отверстия величины одного порядка и напор по всей площади сечения величина не постоянная.

3. Тонкая стенка – когда края отверстия тонкой стенки имеют



заостренную форму, толщина стенки не более 2-2,5 d . При истечении через отверстие частицы жидкости вблизи отверстия и в самом отверстии движутся криволинейно. На расстоянии $\approx d/2$ кривизна уменьшается, струйки становятся параллельными и одновременно уменьшается площадь сечения струи.

Рис. 3.7.1.2 Тонкая стенка

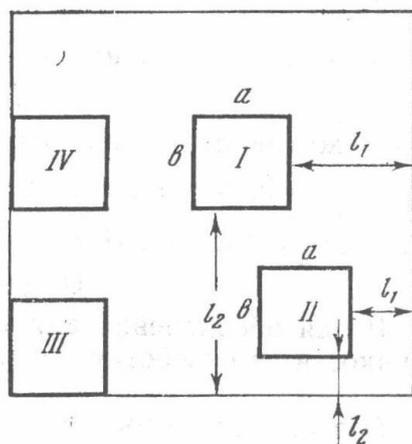


Рис. 3.7.1.3 Различные случаи сжатия

Сжатое сечение или уменьшенное сечение находится на расстоянии $s-s$ и давление в нем равно $P_{атм}$, вводится коэффициент сжатия $E = \frac{\omega_c}{\omega} < 1$

Для малого отверстия в тонкой стенке $E=0,64$. Чем меньше отверстие тем больше E .

1. Затопленное отверстие – из которого жидкость не истекает в атмосферу, а под уровень другой жидкости.

2. Не затопленное отверстие – из которого жидкость выходит в атмосферу.

Различают полное и не полное сжатие, в зависимости от расположения отверстия от дна и боковых стенок.

При полном сжатии струйка сжимается со всех сторон.

При не полном – отверстие может соприкоснуться с одной или двумя стенками сосуда и в этих местах не происходит сжатие (вариант 3,4). Так же бывает совершенное и не совершенное сжатие.

При совершенном сжатии отверстие находится от стенки на расстоянии более $3a$ и $3b$ (вариант 1)

Несовершенное сжатие – отверстие находится на расстоянии от стенок менее $3a$ и $3b$ (вариант 2) (совершенное и не совершенное относится к полному сжатию).

Насадки

Насадком называется короткая труба диаметром (d) и длиной (l), причем $l=(3,5-4)d$.

На рисунке показан цилиндрический насадок, присоединенный к отверстию, если сделать из прозрачного материала (стекла), то можно наблюдать следующее явление: в результате изгиба линий тока, образуется сжатое сечение ω_c , затем струя расширяется, и полное затопление насадка происходит в сечении В-В, около сжатого сечения образуется область вакуума, где находится жидкость и выделенные из нее газы и пары.

Скорость протекания жидкости возрастает в виду увеличения полного напора слагающегося из напора H -под центром тяжести отверстия и величины вакуумметрической высоты в сложном сечении. [6]

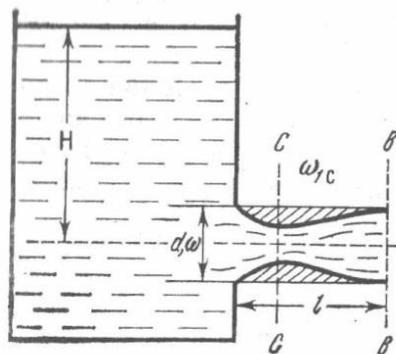


Рис. 3.7.1.4 Цилиндрический насадок

Расчет истечения жидкости при постоянном и переменном напорах через отверстия и насадки.

Расход воды через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре.

$$Q = \omega_c \cdot v = \varphi \sqrt{2gh} \omega_c = \varepsilon \cdot \omega \text{ (для малого отверстия)}$$

$$Q = \varphi \sqrt{2gh} \cdot 0,64\omega \quad \varphi = 0,97$$

$$Q = 0,64 \cdot \omega \cdot 0,97 \sqrt{2gh} = 0,62 \sqrt{2gh} \omega \varepsilon \cdot \varphi = const = \omega$$

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi$$

$$\mu = 0.64 \cdot 0.97 = 0.62$$

μ – коэффициент расхода при истечении жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при совершенном сжатии.

Расход воды через малое отверстие с несовершенным сжатием.

$$Q = \mu_{\text{нен}} \omega \sqrt{2gh} \quad (3.7.1.1)$$

$$\mu_{\text{нен}} = \mu \left(1 + c \frac{n}{P} \right) \quad (3.7.1.2)$$

n-Часть периметра в которой отсутствует сжатие

P-Периметр отверстия

c- Коэффициент для круглых отверстий 0,13; для прямоугольных 0,15.

Расход воды через цилиндрический внешний насадок.

Вычисляется по формуле:

$$Q = 0,62 \sqrt{2gh} \omega \mu = 0.62 \quad (3.7.1.3)$$

$$\mu = \varepsilon \cdot \omega \cdot \varphi \quad (3.7.1.4)$$

Расход воды из других насадков вычисляется по той же формуле: Только $\mu = 0.71$ для цилиндрического внутреннего насадка; $\mu = 0.95$ для конического сходящегося; $\mu = 0.97$ для коноидального; $\mu = 0.45$ для конического расходящегося.

Расход воды через малое отверстие в тонкой стенке при переменном напоре.

Истечение жидкости при переменном напоре происходит в неустановившемся режиме движения до полного опустошения бака, напор и скорость меняются постоянно.

Расчет ведется для определения времени, при котором происходит полное опустошение бака.

$$t = \frac{2V}{Q} \quad V = \omega \cdot h$$

ω – площадь сечения.

h - высота бака.

$$t = \frac{2V}{0,62 \cdot \omega \sqrt{2gh}} \quad (3.7.1.5)$$

Истечение жидкости через водосливы

Водослив – это открытая преграда на пути потока, через которую он переливается.

Водосливы подразделяются на:

1. Водосливы с тонкой стенкой.
2. Водосливы с широкой стенкой.

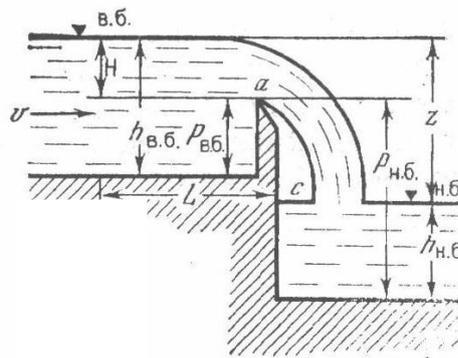


Рис. 3.7.1.5 Схема водослива

Водослив с тонкой стенкой, если $c < 0,5H$ (расстояние от гребня водослива a до поверхности потока в верхнем бьефе)

Бьеф — часть водоема, реки или канала, примыкающая к водопроводному сооружению (плотина, шлюз). Различают: верхний бьеф, расположенный выше по течению, перед водопроводным сооружением, и нижний бьеф, находящийся ниже по течению по другую сторону водопроводного сооружения.

При этом случае между струей и стенкой образуется воздушная подушка.

В случае если $c > 0,5H$, то происходит обтекание водослива с тонкой стенкой, где v_6 и h_6 — бьефы участка расположенные выше и ниже стенки водослива,

a — гребень (порог) водослива.

c — толщина водосливной стенки.

$h_{в.б.}$ и $h_{н.б.}$ — глубины потока в верхнем и нижнем бьефе.

$P_{в.б.}$ и $P_{н.б.}$ — высота порога водослива со стороны верхних и нижних бьефов.

H — подпор в водосливе измеряемый в верхнем бьефе в створе К-К — это расстояние L от водосливной стенки до сечения К-К, которое равно $(3-5) H$

Z — Разность отметок уровней воды в в.б. и н.б.

Водосливы классифицируются по следующим признакам:

1. По толщине стенки:

а) С тонкой стенкой;

б) С толстой стенкой;

в) Практического профиля.

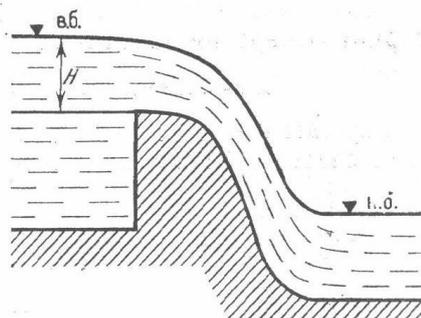
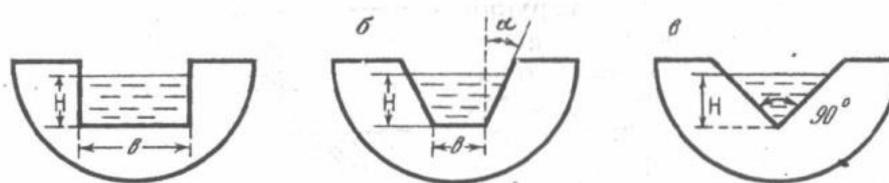


Рис. 3.7.1.6 Водослив практического профиля

2. По геометрической форме водосливного отверстия:

- а) Прямоугольный;
- б) Трапецеидальный;
- в) Треугольный водослив.



**Рис. 3.7.1.7 Типы водослив по вырезу стенки
а – прямоугольный, б – трапецеидальный, в – треугольный**

3. По расположению порога в плане:

- а) Прямые, т.е. перпендикулярные по направлению потока в верхнем бьефе.
- б) Косые, когда порог расположен под углом к потоку.

4. По взаимному расположению уровней в.б. и н.б.:

- а) Незатопленный, когда $h_{н.б.} < P_{н.б.}$
- б) Затопленный, когда $h_{н.б.} > P_{н.б.}$ и $z/P_{н.б.} < 0,7$

5. По условиям подхода водотока:

- а) Без бокового сжатия, ширина русла = ширине водосливного отверстия.
- б) С боковым сжатием ширина русла B больше ширины водосливного отверстия b , в следствии чего переливаясь через порог струя испытывает боковое сжатие и имеет ширину $v < B$.

Формула для расчёта расхода воды через водосливы

1. Прямоугольный водослив:

а) Для незатопленного водослива без бокового сжатия расход рассчитывается по следующей формуле $Q = m_0 b \sqrt{2g} * H^{3/2}$ или $Q = m b \sqrt{2g} H^{3/2}$ (3.7.1.6)

m_0 – зависит от скорости перехода потока к водосливу v_0 , а коэффициент m не зависит от v_0 .

$$m = 0.405 + \frac{0.003}{H}; m_0 = \left(0.405 + \frac{0.003}{Y}\right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P_{нб}}\right)^2\right]$$

б) для гидротехнического сооружения с боковым сжатием

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

$$m_0 = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H} * 0.03\right) \frac{B-b}{B} \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H-P_b}\right)^2 \frac{b^2}{B^2}\right]$$

в) для затопленного водослива

$$Q = m\sigma_3 bH \sqrt{2gH}$$

Где σ_3 – коэффициент затопления при известных обозначениях вычисляется по формуле

$$\sigma_3 = 1.05 \left(1 + 0.2 \frac{H-Z}{P_{н.б.}} \right)^3 \sqrt{\frac{Z}{H}} \quad (3.7.1.7)$$

Эти формулы применяются при следующих пределах

$$b=0.2-2.0\text{м};$$

$$P_{н.б.}=0,24-1,13\text{м};$$

$$H=0,05-1,24\text{м}$$

2. Трапецидальный водослив.

$$Q = 1.86bH^{\frac{3}{2}} \quad (3.7.1.8)$$

3. Треугольный водослив.

$$Q = 1.4H^{\frac{5}{2}} \quad (3.7.1.9)$$

3.8 ГЛАВА 7. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ И КАНАЛАХ

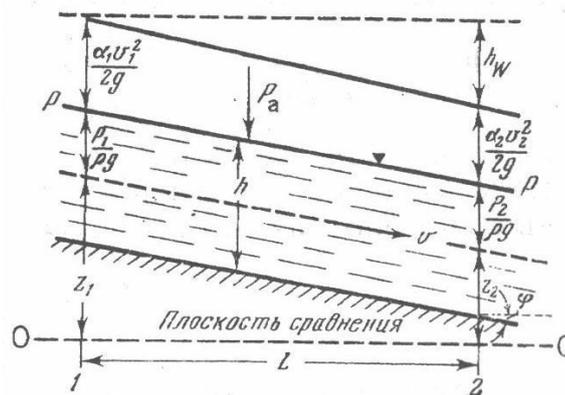


Рис. 3.8.1 Участок русла

Движение рассмотрим как равномерно установившееся.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

$$P_1 = P_2 v_1 = v_2 Z_1 \neq Z_2$$

$$Z_1 = Z_2 + h_w$$

$$Z_1 - Z_2 = h_w$$

$$h_w = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}; \quad \frac{z_1 - z_2}{L} = \frac{v^2}{c^2 R}$$

$$\frac{z_1 - z_2}{L} = J - \text{гидравлический уклон свободной поверхности.}$$

Если потери напора отнести к пути потока между двумя сечениями, то получим гидравлический уклон потока.

$$J = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} R = d/4 \rightarrow d=4r \text{ выразим } d \text{ через гидравлический радиус.}$$

$$J = \frac{\lambda}{R} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{c^2 R}$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \text{ коэффициент Шези; } v^2 = c^2 JR$$

$$v = c\sqrt{JR} \text{ Формула Шези(3.7.1.10)}$$

Определение гидравлически выгодного сечения канала. Формула Шези для определения скорости потока в открытых руслах и каналах, а так же для определения расхода потока ($Q = wc\sqrt{JR}$) говорит о том, что чем больше гидравлический радиус, тем больше расход потока. Увеличение гидравлического радиуса определяется уменьшением смоченного периметра

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

Поэтому наибольший расход возможен при полукруглой форме канала, определяющий наименьший контакт грунта с водой.

Эта площадь полукруглого профиля на практике не применяется из-за трудности крепления стенки.

На практике применяется трапециевидальная форма канала, которая имеет следующие преимущества:

1. гидравлически выгодный профиль близкий к окружности.
2. Устойчивые стенки канала.
3. Удобную форму покрытий.

После выбора формы канала определяется выгодная скорость, которая должна быть выше заиливающей (V_{\min}) но ниже размывающей (V_{\max})

$$v_{\min} < v_{cp} < v_{\max}$$

$$v_{\min} = A \cdot Q^{0.2}$$

A - Зависит от литологии грунта

Q-расход канала

V_{\max} -определяет скорость эрозии и гран состава. [6]

3.8.1 Расчет дренажных труб

При осушении территории и искусственного снижения уровня грунтовых вод. Например, при разработке МПИ применяются дренажные работы.

Наиболее распространено применение дренажных асбесто – цементных труб, которые по периметру имеют отверстие, куда проникает вода. По трубе она собирается в водоемы.

Примем условие полного затопления трубы, в этом случае дренажная труба работает как безнапорная система с $4\omega = \frac{\pi d^2}{4}$.

Которое имеет смоченный периметр $\chi = \pi d \Rightarrow R = d/4$

Используя формулу Шези для определения скорости потока, выражаем гидравлический радиус через диаметр

Коэффициент C можно определить по формуле Куттера

$$c = \frac{100}{1 + \frac{K}{\sqrt{R}}} = \frac{100}{\alpha + \frac{2K}{\sqrt{d}}} \quad (3.8.1.1)$$

K – коэффициент шероховатости 0,27

Данная формула применяется при скоростях $v=0.15-1\text{ м/с}$

Данное условие определяется при укладке труб для определения уклона по формуле Шези. [6]

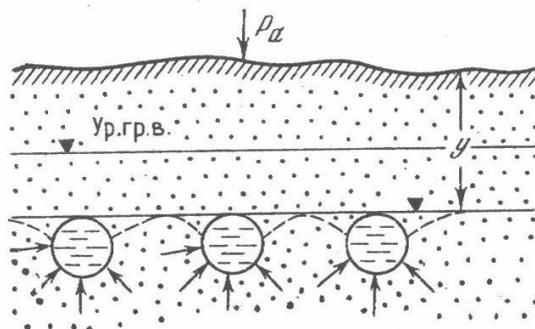


Рис. 3.8.1.1 Дренажные трубы

Практические задания

Задача 1. Вода, с температурой $t = 12\text{ }^\circ\text{C}$, подается по трубе диаметром $d = 4\text{ см}$. Расход потока $Q = 7(\text{см}^3/\text{с})$. Определить режим потока и описать характер движения струйки краски, введенной в центр поперечного сечения трубы. При каком расходе изменится режим движения?

Задача 2. По трубе диаметром $d_x = 40\text{ мм}$ подается вода со скоростью $v = 4,96\text{ см/с}$ и температурой $t = 12\text{ }^\circ\text{C}$. Труба постепенно суживается до диаметра $d_2 = 20\text{ мм}$. Определить расход воды и режимы движения в широкой и узкой частях трубы.

Задача 3. Определить режим движения воды и нефти по гладкой трубе диаметром 10 мм . Скорость движения 10 см/с ; кинематическая вязкость воды $= 0,01\text{ см}^2/\text{с}$, нефти $v = 0,5\text{ см}^2/\text{с}$.

Задача 4. Условия те же, что и в задаче 3, но диаметр трубы 100 мм .

Задача 5. Вычислить критическую скорость $v_{кр}$ движения воды по гладким трубам диаметром 10 и $0,1\text{ см}$. При температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ вязкость воды принять $v = 0,01\text{ см}^2/\text{с}$.

Задача 6. (Решение в учебнике) Определить, будет ли в водоносном песчаном пласте происходить движение по закону Дарси при следующих условиях: скорость фильтрации $v = 86,4\text{ м/сут}$; коэффициент активной

пористости песка $\pi = 0,3$; эффективный диаметр частиц песка $d = 1$ мм; кинематическая вязкость воды $\nu = 0,01$ см²/с.

Задача 7. Определить режим движения нефти по прямоугольному лотку, ширина основания которого 20 см. Высота слоя нефти в лотке составляет 30 см; скорость течения нефти $v = 40$ см/с; кинематическая вязкость нефти $\nu = 0,5$ см²/с.

Задача 8. Вода при температуре $t = 15$ °С подается по трубе диаметром $d = 0,1$ м с расходом $Q = 30$ л/с. Определить режим движения и скорость, при которой он может измениться. [4]

Задание для выполнения контрольной работы по теме

1 вариант

Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну $b=37$ м, глубину $h=2,5$ м. Коэффициент откоса канала $m=1,5$. Средняя скорость потока $v=2,3$ м/с. *Требуется* определить: площадь живого сечения; смоченный периметр; гидравлический радиус; расход потока.

2 вариант

Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну $b=15$ м, глубину $h=1$ м. Коэффициент откоса канала $m=1$. Средняя скорость потока $v=1,5$ м/с. *Требуется* определить: площадь живого сечения; смоченный периметр; гидравлический радиус; расход потока.

1 вариант

В результате измерений в створе реки получены глубины на 5 промерных вертикалях:

$$h_1 = 0,5 \text{ м};$$

$$h_2 = 0,7 \text{ м};$$

$$h_3 = 1,8 \text{ м};$$

$$h_4 = 1,5 \text{ м};$$

$$h_5 = 0,5 \text{ м};$$

Средние скорости на отдельных участках между вертикалями:

$$v_{0-1} = 0,2 \text{ м/с};$$

$$v_{1-2} = 0,5 \text{ м/с};$$

$$v_{2-3} = 0,7 \text{ м/с};$$

$$v_{3-4} = 0,9 \text{ м/с};$$

$$v_{4-5} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$v_{5-6} = 0,6 \text{ м/с}.$$

Расстояние между промерными вертикалями одинаковое и равно 10м.

Требуется построить поперечное сечение реки и определить среднюю скорость течения.

2 вариант

В результате измерений в створе реки получены глубины на 5 промерных вертикалях:

$$h_1 = 0,5 \text{ м};$$

$$h_2 = 1,7 \text{ м};$$

$$h_3 = 1,8 \text{ м};$$

$$h_4 = 1,5 \text{ м};$$

$$h_5 = 0,5 \text{ м};$$

Средние скорости на отдельных участках между вертикалями:

$$v_{0-1} = 1,2 \text{ м/с};$$

$$v_{1-2} = 1,5 \text{ м/с};$$

$$v_{2-3} = 1,7 \text{ м/с};$$

$$v_{3-4} = 1,9 \text{ м/с};$$

$$v_{4-5} = 1,8 \text{ м/с};$$

$$v_{5-6} = 1,6 \text{ м/с}.$$

Гидравлические элементы потока

Основные понятия

В реках и каналах различают два основных вида движения воды: установившееся и неустановившееся. Установившееся движение воды – это такое движение, когда в каждой отдельно взятой точке скорость и ее направление не меняются во времени. Напротив, при неустановившемся движении скорость в каждой точке потока не остается постоянной во времени. Равномерным движением воды называется такое движение, при котором расход и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине.

Равномерное движение в открытых руслах встречается только в искусственных водотоках – каналах и лотках. Движение же воды в реках является неравномерным, так как гидравлические элементы потока в естественных руслах изменяются вдоль водотока.

Однако, в ряде случаев, для изучения движения воды в реках можно разбить водоток на ряд участков, в пределах которых гидравлические элементы потока претерпевают незначительные изменения. Движение воды на таких участках рек можно с достаточной для практических целей точностью, рассматривать как равномерное. Глубина вдоль равномерного потока постоянна, поэтому уклон дна i равен уклону свободной поверхности.

Основными гидравлическими элементами потока являются:

- площадь живого сечения;
- смоченный периметр;
- гидравлический радиус;
- уклон;
- скорость;

– расход.

Площадь живого сечения

В гидравлике площадь живого сечения потока определяют на основе струйчатой модели, как площадь поверхности в пределах потока нормальной к линиям тока. Применяя к потоку понятие средней скорости, площадь живого сечения можно определить, как площадь плоской поверхности в пределах потока нормальной к вектору средней скорости.

Площадь живого сечения открытых потоков ограничена руслом и свободной поверхностью.

Для каналов прямоугольной формы площадь живого сечения определяется по формуле:

$$\omega = b * h \quad (1)$$

где b – ширина канала по дну;

h – глубина воды в канале.

Искусственным земляным каналам из практических соображений придают трапециевидное поперечное сечение (рис.1) с шириной канала по дну b , глубиной канала h и заложением откосов a . Отношение заложения откосов к глубине канала называется коэффициентом заложения откосов m :

$$m = \frac{a}{h} = \text{ctg} \alpha \quad (2)$$

Коэффициент заложения откосов каналов назначается в зависимости от характера грунта, в котором проходит канал.

Например, для нескальных грунтов он принимается в пределах 1,5...3,0.

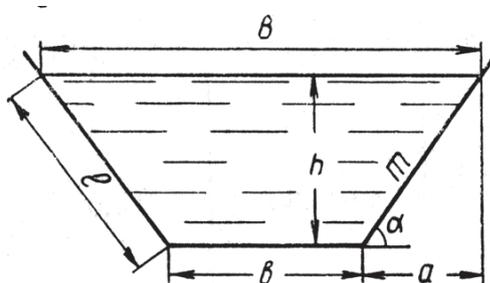


Рис. 1. Канал трапециевидальной формы

Площадь живого сечения трапециевидального канала определяется по формуле:

$$\omega = \frac{(B+b)*h}{2} \quad (3)$$

или, с учетом формулы (2):

$$\omega = (b+mh)*h \quad (4)$$

Для расчета площади живого сечения можно пользоваться формулой:

$$\omega = B * h_{ср} \quad (5)$$

где B – ширина реки в створе ;

$h_{ср}$ – средняя глубина воды в реке.

Более точно живое сечение реки в данном створе определяют по данным измерений глубин по промерным вертикалям. Для этого через расчетный створ натягивают канат, размеченный через равные промежутки. В размеченных точках с помощью, например, специальной мерной линейки, измеряют глубины.



Рис.2 Поперечное сечение реки

По полученным данным измерений вычерчивают поперечник реки в определенном масштабе. Концы отрезков промерных вертикалей соединяют прямыми линиями. В результате получается поперечный профиль реки, состоящий из прямоугольных трапеций и двух прямоугольных треугольников, как это показано на рис. 2. Площадь живого сечения реки определяют как сумму отдельных площадок: $w_1 + w_2 + \dots + w_6$.

Смоченный периметр — это длина части линии периметра живого сечения, соприкасающегося с водой. Для открытых русел смоченный периметр определяется, как длина линии соприкосновения воды со стенками русла в данном живом сечении.

Смоченный периметр для трапецеидального канала:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (6)$$

Отношение площади живого сечения к смоченному периметру называют **гидравлическим радиусом**:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (7)$$

Гидравлический радиус для трапецеидального канала:

$$R_{\Gamma} = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b+m \cdot h)h}{b+2h \cdot \sqrt{1+m^2}} \quad (8)$$

Отметим, если ширина реки много больше глубины, что характерно для рек лесной зоны: $B \ll h_{cp}$, то гидравлический радиус приблизительно равен средней глубине реки. Отношение падение уровня воды на участке называется **уклоном** реки. Безнапорное движение рек и каналов происходит под действием силы тяжести, благодаря уклону русла. Количество жидкости, проходящее в единицу времени через живое сечение русла, называется **расходом** потока:

$$Q = \int u \cdot d\omega \quad (9)$$

где u — скорость движения жидкости в элементарной струйке потока.

Поскольку аналитически определить изменение скорости по живому сечению реальных русел затруднительно, для определения расхода пользуются *средней скоростью* потока, что выражается формулой:

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega} \quad (10)$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1

Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну b , глубину h . Коэффициент откоса канала m . Средняя скорость потока v .

Требуется определить:

- площадь живого сечения;
- смоченный периметр;
- гидравлический радиус;
- расход потока.

Исходные данные к задаче 1 приведены выше согласно варианта

Требования к оформлению задачи. Результаты решения задачи должны быть представлены в виде отчета на листах бумаги формата А4. Отчет должен иметь титульный лист с указанием варианта, номера группы и фамилии студента. Поперечное сечение канала должно быть начерчено **обязательно в масштабе** на миллиметровой бумаге формата А4.

Задача 2

В результате измерений в створе реки получены глубины на 5 промерных вертикалях:

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 ;

и средние скорости на отдельных участках между вертикалями:

$v_{0-1}, v_{1-2}, v_{2-3}, v_{3-4}, v_{4-5}, v_{5-6}$.

Расстояние между промерными вертикалями одинаковое и равно 5 м.

Требуется построить поперечное сечение реки и определить среднюю скорость течения $v_{\text{ср}}$.

Исходные данные к задаче 1 приведены выше согласно варианта.

Примеры решения задач

Пример задачи 1

Канал трапецеидальной формы имеет ширину по дну $b=25$ м, глубину $h=3$ м. Коэффициент откоса канала $m=2$. Средняя скорость потока $v=1,25$ м/с.

Требуется определить:

- площадь живого сечения;
- смоченный периметр;
- гидравлический радиус;
- расход потока.

Решение

1. Площадь живого сечения канала трапецеидальной формы определим по формуле (4):

$$\omega = (25 + 2 \cdot 3) \cdot 3 = 93 \text{ м}^2$$

2. Смоченный периметр определим из выражения (6):

$$\chi = 25 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{1 + 2^2} = 38,42 \text{ м}$$

3. Гидравлический радиус определим по формуле (8):

$$R = \frac{93}{38,42} = 2,42 \text{ м}$$

4. Расход потока определим из выражения (10):

$$Q = 93 \cdot 1,25 = 116,25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Пример задачи 1.2

В результате измерений в створе реки получены глубины на 5 промерных вертикалях:

$$h_1 = 0,4 \text{ м};$$

$$h_2 = 0,6 \text{ м};$$

$$h_3 = 1,4 \text{ м};$$

$$h_4 = 1,0 \text{ м};$$

$$h_5 = 0,2 \text{ м};$$

Средние скорости на отдельных участках между вертикалями:

$$v_{0-1} = 0,1 \text{ м/с};$$

$$v_{1-2} = 0,3 \text{ м/с};$$

$$v_{2-3} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$v_{3-4} = 0,6 \text{ м/с};$$

$$v_{4-5} = 0,5 \text{ м/с};$$

$$v_{5-6} = 0,2 \text{ м/с}.$$

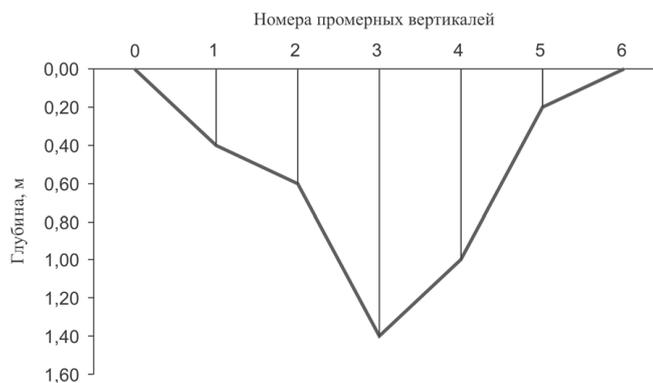


Рис.3 Номера промерных вертикалей

Расстояние между промерными вертикалями одинаковое и равно 10м.

Требуется построить поперечное сечение реки и определить среднюю скорость течения.

Решение

1. Поперечное сечение реки строим в масштабе, используя данные измерений глубин на промерных вертикалях. Горизонтальный масштаб лучше принять меньшим, чем вертикальный.

2. Среднюю скорость течения реки определим по формуле (10). Площадь живого сечения реки определим как сумму отдельных площадок ее составляющих:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \omega_6.$$

Конечные площадки соответствуют прямоугольному треугольнику, а все остальные – прямоугольным трапециям.

Применяя соответствующие формулы для площади треугольника

$$\omega = 1/2 \cdot h \cdot B$$

и для трапеции:

$$\omega_{\square} = 1/2 \cdot (h_1 + h_2) \cdot B, \text{ получим в м}^2:$$

$$\omega_1 = 2;$$

$$\omega_2 = 5;$$

$$\omega_3 = 10;$$

$$\omega_4 = 12;$$

$$\omega_5 = 6;$$

$$\omega_6 = 1.$$

Тогда общая площадь живого сечения будет равна:

$$\omega_{\square} = 2 + 5 + 10 + 12 + 6 + 1 = 36 \text{ м}^2.$$

3. Расход воды в реке определим как сумму расходов по отдельным площадкам живого сечения:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

Поскольку $Q_i = v_i \omega_i$, получим в м³/с:

$$Q_1 = 0,2;$$

$$Q_2 = 1,5;$$

$$Q_3 = 8;$$

$$Q_4 = 7,2;$$

$$Q_5 = 3;$$

$$Q_6 = 0,2.$$

Тогда общий расход будет равен:

$$Q = 0,2 + 1,5 + 8 + 7,2 + 3 + 0,2 = 20,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. Средняя скорость потока в живом сечении будет равна:

$$v_{\text{ср.}} = 20,1/36 = 0,56 \text{ м/с. [4]}$$

3.9 ГЛАВА 8. ОСНОВЫ ГИДРОМЕТРИИ

3.9.1 Уровень воды

Уровнем воды в водотоке (водоеме) называется высота водной поверхности над условной горизонтальной плоскостью сравнения, неизменной по высоте, принимаемой за нуль графика гидрогеологического поста. Для измерения уровня применяется переносная металлическая водомерная рейка с делениями через 1 см, которая в момент наблюдения ставится на гвоздь сваи, ближайшей к берегу и затопленной водой. Отчет по рейке может быть положительным и отрицательным ($\pm a$). Для того чтобы получить уровень воды относительно условной горизонтальной плоскости,

применяются две системы обработки: 1) над нулем графика; 2) в абсолютных отметках над уровнем моря. [1]

1) Для водомерного поста устанавливается нуль графика – постоянная горизонтальная плоскость, намечаемая на профиле поста с таким расчетом, чтобы она проходила приблизительно на 0,5 м ниже низшего уровня воды в створе. Плоскость нуля графика должна иметь абсолютную отметку в той же системе, что и репер поста, и быть постоянной для всего периода действия поста. К выбранной плоскости приводятся все уровни, для чего вычисляются привошки свай ($h \pm a$), равные разности отметок свай и нуля графика. Вычисление уровня производится по формуле $H_{над\ «0»} = h \pm a$.

2) Абсолютная отметка уровня воды над уровнем моря получается при известных отметках свай и нуля графика по соотношениям $H_{м.абс} = \text{отметка сваи} \pm a$,

$$H_{м.абс} = \text{отметка нуля графика} \pm H,$$

где a – отсчет по рейке в м; H – уровень воды над нулем графика в м.

3.9.2 Глубина рек

Глубина рек – это расстояние от поверхности воды до дна по перпендикуляру.

Организация промерных работ зависит от глубины и ширины рек.

Промерные работы по створу:

На прямолинейном участке определяется створ, направленный перпендикулярно течению. При ширине до 20 м устанавливается гидрометрический мостик, не имеющий опор в русле реки. На мостик кладется мерная лента, причем нуль совмещается с точкой А на мостике выше уреза реки. Точка А принимается за постоянное начало. От точки А определяется расстояние до уреза правого берега b_0 , а затем в различных точках измеряется глубина. Измерение глубин до 4,0 м с точностью до 0,01 м производится рейкой или наметкой. Наметка – деревянный круглый шест диаметром 5-6 см, длиной 5 м с делениями до 0,1 м. Число промерных точек при ширине от 10 до 50 м рекомендуется брать от 10 до 20. При ширине русла более 20 м промеры производятся с лодки, которая передвигается по тросу. При этом места промерных вертикалей фиксируются на тросе. На участке рекомендуется проводить 3-4 створа.

Промерные работы на участке реки:

На промерном участке намечаются 3-4 створа, местоположение промерных вертикалей фиксируется со стоянки геодезическим инструментом. При глубине более 4х метров измерения производятся ручным лотом массой 2-5 кг. Лот прикреплен к линю (пеньковый или капроновый шнур). Применяется лот с грузом массой 30-40 кг, который опускают с лебедки.

Если работы производятся в период резкого спада или подъема уровня, то необходимо произвести вычисления до определенно расчетного уровня. В период ледостава промеры выполняются в специально пробуренных лунках.

Более современный метод определения глубин является применение эхолота, принцип действия которого основан на регистрации промежутка времени, необходимого для прохождения ультразвукового импульса от прибора до дна и обратно к приемнику прибора. [5]

По данным промерных работ строится профиль водного сечения и подсчитываются основные характеристики профиля, которые используются при гидрологических и гидравлических расчетах, а так же для вычисления расходов воды, экстраполяции кривых.

После промерных работ подсчитываются следующие характеристики:

а) Площадь водного сечения аналитическим способом:

Можно рассчитать площадь, представляя дно в виде треугольников, трапеций, треугольников:

$$w = \frac{b_1 h_1}{2} + \frac{b_1 + b_0}{2} + \frac{b_{n-1} + b_n}{2} + \frac{b_1 * h_1}{2} (3.9.2.1)$$

б) Ширина реки определяется как разность расстояний от постоянного начала между урезами берегов $V = l_n - l_1$; l_n – расстояние от постоянного начала профиля до уреза дальнего берега; l_1 – то же до ближайшего берега.

в) Средняя глубина h_{cp} водного сечения вычисляется как частное от деления площади водного сечения на его ширину по формуле $h_{cp} = \omega / B$

г) Наибольшая глубина h выбирается из наблюдаемых.

д) Смоченный периметр представляет собой длину линии дна реки на профиле между урезами воды.

е) Гидравлический радиус R – частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра $R = \frac{w}{\chi}$, радиус можно заменить средней глубиной при условии $\frac{h_{cp}}{B} < \frac{1}{10}$

3.9.3 Скорость течения воды

Скоростью течения называется расстояние, на которое перемещается частица воды в единицу времени.

Движение воды в русле реки относится к турбулентному режиму, при котором скорость в различных точках поперечного сечения русла изменяется по направлению и величине, т.е. наблюдается явление пульсации скорости.

Определение скорости течения в русле так же, как и промерные работы, является основным составным компонентом нахождения расхода воды, но и имеет самостоятельное значение при проектировании гидротехнических и мелиоративных сооружений, а также для решения задач водного транспорта и деформаций русла.

Методы измерения скоростей течения

Из большого числа методов измерения скоростей рассмотрим только те, которые применяются при полевых работах и гидравлических расчетах.

ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПОПЛАВКИ. Метод основан на определении скорости движения предмета, передвигаемого поверхностным течением. Заготавливаются небольшие круглые куски дерева (высота - 4-15 см, диаметр - 8-20 см). В центр поплавок вставляется флажок для лучшей видимости его с берега. Можно использовать бутылку,

наполовину заполненную водой, а на больших участках рек в половодье – плывущие льдины, отметив их предварительно краской.

На прямолинейном участке реки разбивается магистраль параллельно среднему направлению течения, перпендикулярно магистрали восстанавливаются створы: пусковой, верхний, средний и нижний, положение которых закрепляется вехами на берегах и урезах. Выше пускового створа забрасывается поплавок. В момент прохождения поплавком верхнего и нижнего створа по секундомеру определяются время в секундах. Число поплавков зависит от ширины реки (8-15). Поплавки забрасываются последовательно таким образом, чтобы охватить наблюдением скорости по всей ширине. Имея время прохождения поплавка от верхнего створа до нижнего, можно определить скорость по формуле:

$$v_{\text{пов}} = \frac{L}{t}, \text{ м/сек.} \quad (3.9.3.1)$$

При необходимости приближенно получить среднюю поверхностную скорость расчеты производят по формуле:

Где n – число поплавков

ГИДРОМЕТРИЧЕСКАЯ ВЕРТУШКА. При определении скоростей в любой точке потока применяется гидрометрическая вертушка. В поток опускается прибор на любую глубину. Лопастной винт прибора вращается в зависимости от скорости течения, обороты лопастного винта по специальной сигнализации передаются наблюдателю, рассчитываются обороты в секунду. Принцип действия вертушки находится в зависимости от $v=f(n)$.

Вертушки делятся по типам, в зависимости от:

- а. Крепления (штанговые или тросовые);
- б. Расположения оси (с вертикальной или горизонтальной осью);
- в. Регистрации числа оборотов (с механическим счетчиком числа оборотов или с электрической сигнализацией).

Вертушка рассчитана на регистрацию через 20 оборотов лопасти. Определяется время, за которое вертушка совершила эти 20 оборотов, число оборотов в секунду и по тарировочной кривой находится скорость движения воды. Тарированием гидрометрической вертушки называется испытание, в результате которого устанавливается зависимость между скоростью течения в метрах в секунду и числом оборотов в секунду.

Измерение скоростей производится в одной (0,6h) или нескольких (0.2h,0.8h) точках. [5]

3.9.4 Расход воды

Расход реки

Расход реки – это количество воды которое проходит через ее поперечное сечение в единицу времени.

Расход воды в реках выражается в кубических метрах в секунду и обозначается $Q \text{ м}^3/\text{с}$. Расход является главной характеристикой речного

потока, от которой зависят колебание уровня, скорость течения уклон водной поверхности, движение наносов и пр.

Существует три способа определения расхода:

- 1) Аналитический способ
- 2) Метод смешения
- 3) Объемный метод

Аналитический способ

При аналитических способах вычисления расхода по данным замера вертушкой модель расхода разделяется вертикальными плоскостями, перпендикулярными площади водного сечения. Число таких плоскостей соответствует числу скоростных вертикалей, для которых известны эпюры скорости.

В основу расчета положена формула

$$Q = \int_w v dw$$

Этот способ получил название «скорость-площадь».

Площадь водного сечения между скоростными вертикалями может быть подсчитана при большом числе промерных вертикалей путем замены линии смоченного периметра ломаными отрезками. Таким образом, сложное водяное тело заменяется рядом правильных геометрических фигур, объем которых может быть подсчитан точно. Интеграл $Q =$ приближенно записывается следующим образом:

$$Q = k * v_1 * w_0 + \left(\frac{v_1+v_2}{2}\right) w_1 + \dots + \left(\frac{v_{n-1}+v_n}{2}\right) w_{n-1} + k * v_n * w_n \quad (3.9.4.1)$$

Где Q – полный расход воды в $\text{м}^3/\text{с}$, v_1, v_2, \dots, v_n – средние скорости на вертикалях в $\text{м}/\text{с}$, w_0 – площадь водного сечения между берегом и первой водной вертикалью в м^2 , w_1 – площадь между скоростными вертикалями в м^2 , w_{n-1} – площадь водного сечения между последней скоростной вертикалью и берегом, k – коэффициент для скоростей на прибрежных вертикалях, принимаемый по таблице:

Значение коэффициента k

Условия прибрежных зон

Пологий берег с глубиной на урезе $h=0$, м 0,7

Обрывистый берег или неровная стенка 0,8

Гладкая стенка 0,9

Наличие мертвого пространства 0,5

Определение расхода воды методом смешивания и объемным способом

Метод смешения применяется на бесприточных участках рек с большими скоростями при турбулентном режиме, обеспечивающим хорошую перемешиваемость водной массы. На участке намечается пусковой и измерительный створ. В поток участка пускового створа вводится химическое красящее вещество или радиоактивные изотопы. Степень понижения концентрации вещества в пробах, полученных в измерительном створе, является показателем расхода воды.

Расход воды вычисляется по формуле

$$Q = Q_p \frac{c_1 - c_2}{c_2 - c_0} \quad (3.9.4.2)$$

Где: c_1 , c_2 , c_0 – концентрации вещества соответственно в пусковом и измерительном створах и естественная в русле; Q – расход воды; Q_p – расход раствора индикатора.

Если в речной воде $c_0=0$, то формула будет иметь вид

$$Q = \left(\frac{c_1}{c_2} - 1 \right) Q_p \quad (3.9.4.3)$$

Индикатором может быть использована поваренная соль – 15 кг на 1 м³/с расхода воды в реке. Раствор можно пускать мгновенно и постепенно.

Объемный способ определения расхода воды применяется на малых реках, при определении расходов родников и ключей.

Расход воды вычисляется по формуле

$$Q = \frac{W}{t} \text{ м}^3/\text{с}, \text{ л/с}$$

Где:

Q - расход, м³/с, л/с;

W - объем воды в сосуде, м³, л, который вычисляется по формуле $W=h*w$, м³;

t - время наполнения сосуда м³, л

В качестве мерных сосудов используются мерные баки, ведра, объем которых уже известен.

Поверхностный сток – движение воды по поверхности земли, а так же в толще почв и горных пород, в процессе круговорота ее в природе.

Поверхностный водосбор представляет собой площадь земной поверхности, с которой происходит сток в реку или речную сеть. [1]

3.10 ГЛАВА 9 ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИИ

3.10.1 Виды воды на Земле. Круговорот воды в природе, водный баланс

Виды воды на Земле

Вода встречается в трех сферах Земли:

1) Первая сфера – газовая оболочка Земли, распространенная на 1000 км от ее поверхности. Здесь вода находится в виде: пара, капельножидкого состояния (облака, туман, дождь), снега, града.

2) Вторая сфера – поверхность Земли, которая по запасам и распределению воды может быть выделена в поверхностную гидросферу.

3) В поверхностной гидросфере, воды можно подразделить на: воды поверхностных потоков – рек, ручьев, временно действующих оврагов; воды океанов, морей, озёр болот, прудов, водохранилищ; воды ледниковые и вечных снежных запасов.

4) Третья сфера – вода в земной коре, или подземная гидросфера. В подземной гидросфере вода находится в следующих видах: в парообразном

состоянии в порах грунта; в жидком состоянии – в виде грунтовых и напорных вод; в твердом состоянии – в виде льда при промерзании почвы и вечной мерзлоты; в связанном состоянии – в минералах и породах. [5]

Круговорот воды в природе и водный баланс

Виды воды на Земле и круговорот воды в природе см. Раздел 1.2

ВОДНЫЙ БАЛАНС – соотношение за какой-либо промежуток времени (год, месяц, декаду и т.д.) прихода, расхода аккумуляции (изменение запаса) воды для речного бассейна или для любого другого водного объекта.

Метод водного баланса основан на следующем: для любого объема пространства, ограниченного некоторой произвольной поверхностью, количество воды, вошедшее внутрь этого объема, за вычетом количества воды, вышедшей из него, должно равняться, соответственно, увеличению или уменьшению количества ее внутри данного объема.

Метод водного баланса применительно к речному бассейну, объемом рассматриваемого пространства будет объем, ограниченный боковой поверхностью, проходящий по линии водораздела до первого непроницаемого горизонта (снизу – граничащая поверхность этого горизонта, сверху – площадь бассейна). Водный баланс для такого пространства количественно отражает закономерности круговорота воды в природе. Практической формой метода водного баланса является его уравнение.

$$\Delta S = P - Y - E,$$

Где ΔS – общее изменение запасов воды в бассейне (почвенно-грунтовых, в водоносных горизонтах, в руслах, озёрах, водохранилищах, болотах и т.д.); P – атмосферные осадки, выпавшие на водосбор; Y – речной сток в замыкающем створе; E – суммарное испарение с бассейна.

Уравнения водного баланса делятся на: детальные, составленные по осадкам, в которые вводятся все виды поправок; сокращенные с введением поправки к осадкам только на смачивание.

Водные балансы составляются на следующие периоды: по месяцам за календарный год, за гидрогеологические годы и генетические однородные периоды внутри года (межень, половодье, паводки).

Приближенное уравнение водного баланса имеет вид:

$$\Delta S = P_1 - (Y + Y_\alpha - Y_\beta) - E - \Delta S_c - \Delta S_{O_3} - \Delta S_6, (3.10.1.1)$$

Где P_1 – атмосферные осадки с поправкой на смачивание; Y – общий речной сток; ΔS – суммарные изменения влагозапасов в почво-грунтах и подземных водах водосбора; Y_α – водозабор из русла реки; Y_β – возвратные воды и переброска воды из соседних бассейнов; E – суммарное испарение с поверхности бассейна; ΔS_c – изменение запасов влаги в снеге и ледяной корке; ΔS_{O_3} – изменение запасов воды в озерах и водохранилищах бассейна; ΔS_6 – изменение запасов влаги в болотах. [1]

Речной сток

Факторы, влияющие на речной сток:

1) *Геология и геоморфология.* Состав горных пород, водно-физические свойства, проницаемость и форма залегания влияют на количество

просачивающейся воды. Большое значение имеет трещиноватость пород и карстовые образования.

При большой крутизне склонов в холмистых и горных районах атмосферные осадки стекают быстрее, сток увеличивается за счет больших уклонов, а следовательно уменьшаются потери на испарение.

2) *Озерность и заболоченность* – при наличии озер в бассейне сток несколько уменьшается вследствие увеличения испарения с водной поверхности, причем это влияние больше для максимальных расходов.

3) *Растительность* – влияние лесных массивов на поверхностный и подземный сток очень велико и до настоящего времени еще окончательно не изучено.

4) *Атмосферные осадки* – Обильные осадки, особенно при большой их продолжительности и охвате обширных площадей, воздействуют на пополнение запасов воды и на инфильтрационное питание подземных вод.

5) *Влажность воздуха* – Испарившийся пар с водной, снежной и земной поверхности, попадая в атмосферу, определяет влажность воздуха. Большое значение при испарении имеет дефицит влажности (недостаток насыщения).

б) *Испарение* – процесс перехода воды из жидкого и твердого состояния в парообразное. Испарение складывается из испарения с поверхности почвы, воды, снега, осадков, задержанных растительностью и транспирации растений. [1]

Методы расчленения гидрографов речного стока

Питание речного бассейна в зависимости от его географического положения можно разделить на следующие виды: снеговое, ледниковое, дождевое и подземное. По данным гидрометрических работ можно за год для каждой изучаемой реки получить в каком-либо створе гидрограф-график колебания расхода воды $Q=f(T)$. Для выделения объемов воды, сформированных различными источниками питания, применяется графический метод – расчленение гидрографа.

Метод расчленения гидрографа дает возможность получить количественную оценку каждого типа питания реки и, что особенно важно, выделить из общего годового стока его подземной составляющей.

Существует несколько методов расчленения гидрографов.

➤ *Метод Б.И. Куделина*. Подземное питание осуществляется за счет стока в реки грунтовых и артезианских вод. Динамика подземного стока из отдельных водоносных горизонтов зависит от степени гидравлической связи этих горизонтов с рекой:

а) Начало весеннего половодья во всем бассейне отмечается 23 марта, поэтому одновременно прекращается сток грунтовых вод в реку из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой. Это отмечено линией АВ, соответствующей 23 марта, подземное питание (вследствие подпора) прекратилось 23 марта, но грунтовые воды, поступившие в русло до 23 марта, стекают вниз по реке вместе с паводочной волной. Скорость добегания рассчитана по датам наступления пика половодья в верхнем

створет₁ и замыкающем створе t₂, расстояние между створами L. Скорость добегания вычисляется по формуле:

$$v_{\text{доб}} = \frac{L}{t_2 - t_1} \quad (3.10.1.2)$$

б) В замыкающем створе до окончания половодья происходит береговое регулирование поверхностного стока (точка D на гидрографе. Поэтому береговое питание отсутствует. Отметим это вертикальной линией.

В верховьях бассейна по окончании половодья в речную сеть начали поступать воды за счет основных запасов грунтовых вод в бассейне из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой, эти воды достигнут расчетного створа через 8 суток после окончания половодья в верховьях, т.е. 21 апреля. Эту дату отметим на гидрографе точкой F.

в) На гидрографе, представляющим общий годовой сток, после проведенных расчетов выделяются следующие площади: KASDFK – площадь поверхностного снегового стока, A'AKK' и FDD'FF' – площади грунтового стока (заштрихованные).

По гидрографу можно определить следующие объемы стока за год: годового, поверхностного снегового, грунтового.

Указанные объемы можно вычислить по гидрографу двумя приемами: 1) последовательным планиметрированием площадей (всего гидрографа, поверхностного снегового и грунтового стока); 2) вычисление объема годового стока аналитическим способом, планиметрированием площади поверхностного стока.

➤ *Метод Попова О.В.* При оценке сложного водообмена между рекой и подземными водами в различных условиях гидравлической взаимосвязи берегового регулирования в период половодья для нисходящего и подпорного режима рассматривается соотношение характерных подземных расходов: до начала подъема уровня реки, в период половодья и паводков, в период спада.

➤ *Метод Дрозда В.В.* Основан на определении подземной составляющей по гидрохимическим данным. Подземная составляющая речного стока может быть в общем виде определена по уравнению

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{р}} \frac{C_{\text{р}} - C_{\text{пов}}}{C_{\text{п}} - C_{\text{пов}}} \quad (3.10.1.3)$$

Где Q_п, Q_р – расходы подземных и речных вод, м³/с; C_р, C_{пов}, C_п – концентрация одного из компонентов минерализации речных, поверхностных и подземных вод, мг/л. [1]

Гидрометрический метод оценки полезного питания и основные характеристики подземного стока

Метод основан на уравнении баланса русловых вод. На участке реки, имеющем однородные гидрогеологические условия, в период движения выбираются два створа. За короткий промежуток времени производится измерение расходов в верхнем Q_в и нижнем Q_н створах и вычисляются соответствующие объемы стока W_в и W_н.

Учитываются балансовые составляющие в объемных величинах, а именно: приточность и склоновый сток $W_{пр}$, осадки W_x , выпавшие на водную поверхность, испарение с водной поверхности W_v , ΔW изменение объема воды в русле за расчетный период. По полученным величинам составляются два общих уравнения:

При оценке подземного питания

$$W_{подг} = W_n - W_v - W_{пр} + W_e - W_x - \Delta W \quad (3.10.1.4)$$

При оценке подземных потерь

$$W_{пот} = W_v - W_n + W_{пр} - W_e + W_x - \Delta W \quad (3.10.1.5)$$

Поверхностный и подземный сток находится под воздействием природных условий. Сток, являясь переменной величиной, имеет то или иное значение под влиянием нескольких факторов и является их функцией.

Для исследования законов пространственного распределения стока и повторяемости во времени применяется аппарат математической статистики и теории вероятности.

Применение этих методов основано на том, что многие характеристики гидрогеологического и гидрологического режима представляют собой последовательность случайных величин, обладают статистической закономерностью и подчиняются законам вероятностного процесса.

Методы математической статистики и теории вероятности применяются в исследовании большого ряда наблюдений и позволяют произвести их количественный и качественный анализ.

Существуют следующие статистические методы:

1. Корреляционные зависимости;
2. Расчеты обеспеченности и вероятности явлений и т.д. [5]

Корреляционные зависимости

Корреляция – способ выявления статистических связей между несколькими переменными величинами. Под статистическими связями подразумеваются такие, в которых каждому значению одной величины соответствуют несколько значений другой.

К таким связям относятся связи между природными (гидрологическими, метеорологическими и гидрогеологическими) величинами. Например, инфильтрационное питание связано с осадками, испарением и величиной поверхностного стока; максимальные уровни в реках в период весеннего половодья зависят одновременно от запасов воды в снеге к моменту снеготаяния, от температуры воздуха в период снеготаяния, грунтов поверхности водосбора и других факторов.

Расчеты обеспеченности вероятности явлений

При расчетах обеспеченности вероятности явлений применяется приближенный способ построения кривой обеспеченности.

При этом способе используются значения инфильтрационного питания за определенный период, определяется амплитуда значений питания. Полученная амплитуда разбивается на равные интервалы (Градации) и подсчитывается, какое число раз в заданный интервал попадает значение

инфильтрационного питания. Число интервалов (n) приближенно можно рассчитать по соотношению

$$n < 5 \lg N, (3.10.1.6)$$

где N – число лет наблюдений

Амплитуда разбивается на полученное число интервалов через 10 мм.

Каждого интервала выбирается число случаев попадания значения w , мм и записывается в графу повторяемости, вычисленное в % от общего числа наблюдений, называется частотой. Повторяемостью называется число случаев попадания значения w , мм в каждый интервал.

Продолжительностью называется сумма повторяемости, а обеспеченность – сумма частот. Продолжительность рассчитывается как последовательная сумма числа случаев в абсолютных величинах и процентах.

По этим данным строятся графики повторяемости и продолжительности, на осях которых по вертикали откладываются значения инфильтрационного питания с указанием наибольшего и наименьшего их значения, а по горизонтали – проценты. Повторяемость откладывается в середине интервала, затем строится ступенчатый график распределения. Продолжительность относится к концу интервала и проводится плавная кривая накопленных частот, которая в гидрологии называется кривой обеспеченности. [1]

3.11 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ПО ОСНОВАМ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОМЕТРИИ

№ п/п	Темы по рабочей программе	Контрольные вопросы и задания
1	Введение. Жидкость и ее физические свойства	<p>1. Объем бензина при температуре 15°C составляет 33,5 м³. Каким будет объем этого же количества бензина при температуре 5°C, учитывая, что коэффициент температурного расширения бензина $\beta_t = 0,00065$ 1/°C?</p> <p>2. Удельный вес нефти при температуре 15°C равен 9000Н/м³, при этом кинематическая вязкость равна $0,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с. Определить динамическую вязкость нефти. Исходные единицы Международной системы единиц (СИ).</p> <p>3. Удельный вес нефти при температуре 15°C, равен 8830Н/м³, кинематическая вязкость 0,4 см²/с. Определить динамическую вязкость нефти.</p> <p>4. Какому значению равняется плотность при $t = 40$С, что такое плотность?</p>
2	Основы гидростатики	<p>1. Определить избыточное давление на забое скважины глубиной 3650м. Скважина заполнена глинистым раствором плотностью 1600кг/м³.</p>

		<p>2. На сколько снизится забойное давление в скважине глубиной 3200м, если глинистый раствор плотностью 1600кг/м^3 заменить водой плотностью 1000кг/м^3?</p> <p>3. Определить атмосферное давление на озеро, если полное гидростатическое давление на глубине 50 м, равно $6 \cdot 10^5\text{Па}$ и $\rho g = 9810\text{Н/м}^3$.</p> <p>4. Гидростатическое давление – это...</p> <p>5. Какими свойствами обладает гидростатическое давление</p> <p>6. Избыточное давление на глубине моря $h=300\text{м}$ составляет $3,09 \cdot 10^6\text{Па}$. Определить удельный вес морской воды.</p> <p>7. Какие виды гидростатического давления существуют?</p> <p>8. Определить абсолютное и избыточное давления на дно открытого резервуара, наполненного водой. Глубина воды в резервуаре $h=4\text{м}$.</p> <p>9. Назовите основное уравнение гидростатики. При бурении вскрыт напорный водоносный пласт, вода из которого начала фонтанировать. Скважина была заглушена, а установленный манометр показал избыточное давление $0,45 \cdot 10^5\text{Па}$ при $\rho g=9810\text{Н/м}^3$. Определить, на какую высоту от устья скважины будет подниматься вода. Как иначе называется избыточное давление. Определить атмосферное давление на поверхность озера, если полное гидростатическое давление на глубине 50м равно $6 \cdot 10^5\text{Па}$, а $\rho g=9810\text{Н/м}^3$.</p>
3	<p>Основы гидродинамики</p>	<p>1. Определить расход воды в трубе диаметром 35см, если при определении скорости трубкой Пито получено $h=28\text{см}$ и $f=0,97$.</p> <p>2. Определить расход воды в трубе диаметром 35см, если при определении скорости трубкой Пито получено $h=28\text{см}$ и $f=0,97$.</p> <p>3. Как выглядит уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости.</p> <p>4. Установить расход воды в трубе диаметром 56см, если при определении скорости трубкой Пито получено $h=34\text{см}$ и $\varphi=0,97$.</p> <p>5. Определить постоянную водомера Вентури А, если $D=300\text{мм}$, $d=112\text{мм}$; $h=0,6\text{м}$; $\mu=0,98$; расход воды в трубе 35л/с, $\alpha=1$.</p> <p>6. Определить диаметр суженной части водомера Вентури, по которому подается вода с расходом $Q=2,8\text{м}^3/\text{с}$. Диаметр трубопровода $D=0,5\text{м}$; разность уровней воды в пьезометрах $h=0,35\text{м}$, $\mu=0,98$.</p> <p>7. Кем выведено уравнение Бернулли? При помощи чего</p>

		<p>можно вывести данное уравнение?</p> <p>8. Пренебрегая потерями напора, определить расход воды, который можно пропускать по трубопроводу, чтобы вакуум в суженной части был равен 29430Па. Диаметр трубопровода $d_1=230\text{мм}$, диаметр суженной части $d_2=120\text{мм}$. Манометрическое давление в сечении 1-1 $p_1=79240\text{Па}$.</p> <p>9. Определить теоретическую скорость движения воды в трубе, если в пьезометре 1 уровень поднялся на высоту $h_1=78\text{см}$, а в трубке пито 2, на высоту $h_2=90\text{см}$.</p> <p>10. Для чего вводятся потери напора</p> <p>11. Определить диаметр d суженной части водомера Вентури, по которому подается вода с расходом $Q=7\text{м}^3/\text{сут}$. Диаметр трубопровода $D=0,6\text{м}$, разность уровней воды в пьезометрах $h=0,35\text{м}$, $\alpha_1=\alpha_2=1$; $\mu=0,98$. Уравнение Бернулли для струйки не вязкой жидкости</p>
4	Режимы движения жидкости и гидравлическое сопротивление	<p>1. Если вместо диаметра подставить гидравлический радиус, что получится?</p> <p>2. Чему будет равняться критическое число Рейнольдса в открытых руслах и каналах?</p> <p>3. Как определить критическую скорость, зная число Рейнольдса?</p> <p>4. При каких значениях Числа Рейнольдса по Павловскому режим движения будет изменяться?</p> <p>5. Вода с температурой $t=12^\circ\text{C}$ подается по трубе диаметром $d=4\text{см}$. Расход потока $Q=70\text{см}^3/\text{с}$. Определить режим потока и описать характер движения струйки краски, введенной в цент поперечного сечения трубы. При каком расходе изменится режим движения</p> <p>6. Вода с температурой $t=16^\circ\text{C}$ подается по трубе диаметром $d=4000\text{мм}$. Расход потока $Q=170\text{см}^3/\text{с}$. Определить режим потока и описать характер движения струйки краски, введенной в цент поперечного сечения трубы. При каком расходе изменится режим движения</p> <p>7. По трубе диаметром $d_1=40\text{мм}$ подается вода со скоростью $4,96\text{ см/с}$ и температурой 12°C. Труба постепенно сужается до диаметра $d_2=20\text{мм}$. Определить расход воды и режимы движения в широкой и узкой частях трубы.</p> <p>8. Определить движения воды и нефти по гладкой трубе диаметром 10мм. Скорость движения 10см/с, кинематическая вязкость воды $\nu_{\text{в}}=0,01\text{см}^2/\text{с}$, нефти $\nu_{\text{н}}=0,5\text{ см}^2/\text{с}$.</p> <p>9. Вычислить критическую скорость $v_{\text{кр}}$ движения</p>

		<p>воды по гладким трубам диаметрам 10 и 0,1см. При температуре $t=20^{\circ}\text{C}$ вязкость воды принять $= 0,001 \text{ см}^2/\text{с}$.</p> <p>10. Определить, будет ли в водоносном песчаном пласте происходить движение по закону Дарси при следующих условиях: скорость фильтрации $v=86,4\text{м/сут}$; коэффициент активной пористости песка $n=0,3$; эффективный диаметр частиц песка $d_e=1\text{мм}$; кинематическая вязкость воды $= 0,01\text{см}^2/\text{с}$.</p> <p>Определить движения нефти по прямоугольному лотку, ширина основания которого 20см. Высота слоя нефти в лотке составляет 30см; скорость течения нефти $v=40\text{см/с}$; кинематическая вязкость нефти $= 0,5\text{см}^2/\text{с}$.</p> <p>Вода при температуре $t=15^{\circ}\text{C}$ подается по трубе диаметром $d=0,1\text{м}$ с расходом $Q=30\text{л/с}$. Определить режим движения и скорость, при которой он может измениться.</p> <p>Определить по формуле Павловского режим движения воды в пористой среде при температуре $t=10^{\circ}\text{C}$, скорость фильтрации $=0,12 \text{ см/с}$, при диаметре $d=0,004 \text{ см}$ и пористости $n=0,35$.</p> <p>Определить расход воды в трубе с краном, если длина трубы $L=30\text{м}$, диаметр трубы $d=200\text{мм}$, высота воды в напорном баке $H=4\text{м}$, $\lambda=0,03$.</p> <p>Определить потери напора в трубопроводе длиной $L=500$ при расходе $Q=100$. Трубы чугунные диаметром $d=250\text{мм}$, температура воды $t=10^{\circ}\text{C}$; кинематическая вязкость воды $= 0,0131$, $\lambda=0,028$.</p>
5	Напорное движение в трубах	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что представляют собой длинные водопроводы? 2. Где применяется всасывающий трубопровод? 3. От чего зависит явления гидроудара? 4. Какая формула применяется для расчета скорости распространения ударной волны? 5. Определить потери напора при движении в стальном трубопроводе длиной 1000м и диаметром 200мм, расход воды 30л/с. 6. Определить свободный напор $h_{\text{св}}$ в конце прямого чугунного трубопровода, если расход воды 50 л/с; отметка верхнего бака 210м, отметка потребителя 105м, длина трубопровода 500м; диаметр трубопровода 250мм. 7. Определить расход воды откачиваемой насосом, если диаметр трубопровода 200мм, вакуумметрическая высота во всасывающей трубе 600см, высота центра насоса над урезом воды в озере 587см, длина трубопровода 15см, $d/R=0,8$; $\alpha=1,0$; $\lambda=0,03$. 8. Определить скорость движения воды в трубе, если в

		<p>пъезометре уровень поднялся на высоту 6,5см; а в трубке пито на 80см; $\varphi=0,96$.</p> <p>9. Определить скорость движения воды в трубе, если в пъезометре В уровень поднялся на высоту 67 см; а в трубке Пито на высоту 75см; $\varphi=0,96$.</p>
6	Истечение жидкостей из отверстий и насадок	<p>1. С какой целью была разработана теория истечения жидкости?</p> <p>2. Какие виды движения жидкости существуют?</p> <p>3. Чем отличается затопленное отверстие от не затопленного отверстия?</p> <p>4. Какие виды сжатия существуют?</p> <p>5. По какой формуле определяется расход воды в тонкой стенке при постоянном напоре?</p> <p>6. В теле бетонной плотины заложена круглая труба диаметром 2м и длиной 7,5м, через которую пропускается вода. Определить расход через эту трубу при напоре $H=9$м.</p> <p>7. Цилиндрический бак диаметром 1м наполнен водой до уровня 2м. В дне бака есть отверстие диаметром 0,1м. Определить время истечения всей воды при постоянном и переменном напорах.</p>
7	Истечение жидкости через водосливы	<p>1. Определить коэффициент расхода воды через треугольный водослив с углом при вершине $\varphi=60^\circ$, если $Q=0,124$ м³/с.</p> <p>2. Определить расход воды Q через треугольный водослив при напоре $H=0,874$ м. угол при вершине водослива $\varphi=45^\circ$.</p> <p>3. Определить расход воды Q через трапецеидальный водослив при $H=0,343$ м. Ширина водослива $b=1,18$.</p> <p>4. Определить расход воды Q через трапецеидальный водослив при $H=0,735$ м и ширине водослива $b=2,63$.</p> <p>5. Определить ширину b трапецеидального водослива, если расход воды $Q=661$л/с, а напор на водосливе $H=0,263$.</p> <p>6. Определить расход Q воды через прямоугольный незатопленный водослив без бокового сжатия при $H=0,57$ м. Ширина водослива $b=2,45$; высота ребра водослива над дном верхнего бьефа $R_{в.б}=0,6$м.</p> <p>7. Определить расходы воды Q через прямоугольный незатопленный водослив без бокового сжатия при $H=0,37$ м. Ширина водослива $b=3,40$; высота ребра водослива над дном верхнего бьефа $R_{в.б}=0,45$м.</p> <p>8. Определить расход воды Q прямоугольного водослива, если напор $H=0,2$ м; высота ребра водослива над дном верхнего бьефа $R_{в.б}=0,4$м и расход воды на водосливе</p>

		Q=1500л/с.
8	Движение воды в открытых руслах и каналах	<p>1. Как определить гидравлические потери?</p> <p>2. По каким критериям выбирается сечение канала?</p> <p>3. Какое сечение канала наиболее выгодное?</p> <p>4. Какие плюсы имеет трапециевидная форма сечения каналов?</p> <p>5. Как рассчитывают скорость движения воды в канале.</p> <p>6. Что произойдет, если скорость будет выбрана неправильно?</p> <p>7. Трапецеидальный канал проложен в суглинках. Ширина канала по дну 8,5м при уклоне 0,0001; глубина воды 1,7м; длина канала 1км. Поток при температуре 20⁰С несет очень мелкие илистые частицы. Вычислить скорость и расход потока, установить режим движения и потери напора h_w определить, отвечает ли канал наивыгоднейшему сечению, проверить условия размыва и заиления.</p>
9	Уровень воды	<p>1. Что такое Гидропосты? Какие они бывают?</p> <p>2. Как вычислить уклон по абсолютным отметкам?</p> <p>3. Вычислить гидравлический радиус, если площадь сечения $\omega=645\text{м}^2$, а смоченный периметр $\chi=187\text{м}$.</p> <p>4. Вычислить площадь сечения ω, смоченный периметр χ и гидравлический радиус R для канала прямоугольной формы, если B=43м и h=2,5м.</p> <p>5. Вычислить гидравлический радиус для канала, поперечное сечение которого имеет трапецеидальную форму, если B=30м, $h_{cp}=5\text{м}$ и коэффициент откоса m=2</p>
10	Глубина рек	<p>1. Вычислить среднюю глубину водного сечения при $\omega=168\text{м}^2$, расстоянии от постоянного начала до уреза правого берега 53м, до уреза левого берега 174м.</p> <p>2. Определить, можно ли заменить гидравлический радиус средней глубиной для русла, у которого площадь сечения 324м², смоченный периметр 142м и ширина русла 127 м.</p> <p>3. Какие современные методы определения глубины существуют?</p> <p>4. От чего зависит организация промерных работ?</p> <p>5. Какие характеристики подсчитывают после промерных работ?</p>
11	Скорость течения воды	<p>1. Вычислить среднюю скорость v_{cp} на вертикали для открытого, свободного от водной растительности русла при следующих исходных данных $v_{пов}=0,64\text{м/с}$, $v_{0,2}=0,60\text{м/с}$ $v_{0,6}=0,58\text{м/с}$ $v_{0,8}=0,50\text{м/с}$, $v_{дно}=0,42\text{м/с}$</p> <p>2. Определить среднюю скорость v_{cp} на вертикали по формуле Железнякова при следующих исходных данных:</p>

		глубина $h=3,5\text{м}$, наибольшая скорость на поверхности $v_{\text{max}}=0,95\text{м/с}$, коэффициент формулы Шези $C=40,1\text{м}^{0,5}/\text{с}$
12	Расходы воды	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что называется расходом реки? 2. Какие способы определения расхода существуют? 3. На чем основывается аналитический метод? 4. Где применяется объемный метод? 5. Когда использую метод смешения? 6. Вычислить аналитическим методом расход воды р.Оки, измеренный детальным способом, при уровне воды 231см над нулем графика, гидроствор совпадает со створом основного водомерного поста.
13	Виды воды на земле. Круговорот воды в природе и водный баланс. Речной сток.	<ol style="list-style-type: none"> 1. В каких сферах вода встречается на Земле? 2. Что представляет собой каждая сфера Земли? 3. Сколько круговоротов воды существует? 4. Что такое водный баланс? 5. Методы определения водного баланса. 6. Что представляет собой практическая формула водного баланса? 7. Понятие речного стока. 8. Факторы, влияющие на речной сток (перечислить).
14	Методы расчленения гидрографов речного стока	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое гидрограф речного стока? 2. Какие параметры связи существуют между грунтовыми и поверхностными водами? 3. Какие методы расчленения гидрографов существуют? 4. На чем основаны методы расчленения гидрографов?
15	Гидрометрический метод оценки полезного питания.	<ol style="list-style-type: none"> 1. На чем основан метод оценки полезного питания? 2. Что соответствует характеристике естественных ресурсов? 3. Как вычисляется модуль подземного стока? 4. Что такое естественные ресурсы подземных вод?
16	Статистические методы при расчетах поверхностного и подземного стока	<ol style="list-style-type: none"> 1. Какова цель применения статистических методов к расчетам поверхностного и подземного стока? 2. Что такое корреляция и как оценивается теснота связи между исследуемыми явлениями? 3. Как производится графическая медианная проверка? 4. Какой порядок корреляции вычислений? 5. Как используются корреляционные зависимости? 6. Каков порядок расчета при точном способе построения кривой обеспеченности?

Глоссарий

БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД — количественное выражение кругооборота грунтовой воды определенного района. Приходная часть баланса грунтовых вод составляет за счет питания атмосферными осадками (а также конденсации водяных паров) и поглощения вод рек, озер и т. д., расходная часть — за счет подземного стока и испарения с поверхности грунтовых вод.

БЕЗНАПОРНЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ — воды в пластах горных пород, ограниченные поверхностью («свободная» поверхность), давление на которую равно атмосферному.

БОЛОТНЫЕ ВОДЫ — воды, связанные с болотными отложениями. Для болотных вод характерно сравнительно высокое содержание железа и органических веществ. Вследствие неполного разложения растительных остатков. Болотные воды имеют обычно кислую (реже центральную) реакцию и агрессивны по отношению к бетону. Высокая подвижность железа в болотных водах приводит к образованию в болотах железистых минералов вивианита ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) и сидерита (FeCO_3) при $\text{pH} = 7,2 - 7,4$.

ВЛАГОЕМКОСТЬ ГРУНТОВ — способность грунтов вмещать в порах и удерживать на поверхности частиц то или иное количество воды. Численно величина влагоемкости выражается влажностью в долях единицы или в процентах от веса абсолютно сухого грунта. Различают влагоемкость следующих видов (см.): 1) гигроскопическую (или влажность) (W_h); 2) максимальную молекулярную (W_m); 3) капиллярную (W_{ii}); 4) полную (W_f).

ВЛАЖНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД — количество воды, содержащееся в данный момент в порах, трещинах и других пустотах пород в естественных условиях. Определяется разностью веса образца влажной породы и веса того же образца после высушивания при $105 - 110^\circ$. Различают весовую влажность — процентное отношение веса воды к весу образца породы после его высушивания, объемную влажность — отношение объема воды к объему породы, приведенную влажность — процентное отношение объема воды, заключенной в породе, к объему всей породы и другие формы выражения влажности.

ВНУТРЕННИЕ (интерстициальные, связанные) ВОДЫ — воды в зоне пластичности пород, где поры, трещины и другие пустоты отсутствуют и где воды являются конституционными или цеолитными. (См. *Вода «минералах.»*)

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ — количество поверхностных и подземных вод, которые могут быть использованы для различных целей народного хозяйства.

ВОДНЫЙ БАЛАНС — соотношение между приходом и расходом воды в пределах конкретного района. Составными частями водного баланса являются атмосферные осадки, поверхностные воды, испарение и сток воды (поверхностный и подземный). (См. *Балансовое уравнение.*)

ВОДОЗАБОР — инженерное сооружение по захвату подземных вод или воды из реки и водохранилища в водопроводные, оросительные, гидроэнергетические и другие системы. Подземные выработки устраивают в

виде одиночных скважин или колодцев, системы скважин или колодцев, кяризов (см.) или подземных водосборных галерей, сооружаемых для каптажа (см.) родников и т. д.

ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ — однородные или близкие по фациально-литологическому составу и гидрогеологическим свойствам пласты горных пород в пределах гидрогеологических бассейнов (см.). Соответствуют выдержанным по простиранию фациально-литологическим типам отложений отдельных седиментационных ритмов. Различные водоносные горизонты отличаются друг от друга фациально-литологическим составом водовмещающих пород и гидрогеологическими особенностями.

ВОДОНОСНЫЙ КОМПЛЕКС — комплекс водоносных горизонтов, одинаковых или разных по литологическому составу (однотипный или разнотипный) и, кроме того, одинаковых или разных по характеру скважности (пористости). В зависимости от характера скважности водоносный комплекс может быть назван однородно-водоносным или неоднородно-водоносным.

ВОДОУПОР — относительно (по сравнению с водонепроницаемыми слоями) водонепроницаемый слой горной породы. Различают: 1) водоупорную кровлю — водоупорную породу, покрывающую водоносный горизонт; 2) водоупорное ложе — водоупорную породу, подстилающую водоносный горизонт (пласт, слой и т. д.).

ВОРОНКА ДЕПРЕССИИ — понижение зеркала безнапорных вод или пьезометрической поверхности напорных вод при откачке воды из выработки (колодец, карьер и др.). Наибольшее понижение уровня создается у выработки. По мере удаления от выработки величина понижения уровня уменьшается и стремится к нулю.

ВОСХОДЯЩИЙ ИСТОЧНИК — источник, вода которого имеет восходящее движение. Вода выбивает из пор, трещин, карстовых и других пустот снизу под гидростатическим давлением.

ВЫСОТА КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ — высота столба воды, который могут удерживать капиллярные силы (поверхностное натяжение, развивающееся в порах горной породы на границе раздела вода — воздух). Высота капиллярного поднятия пропорциональна диаметру капилляра. Высота капиллярного поднятия для некоторых горных пород указана в помещенной ниже таблице.

Породы	Капиллярное поднятие (Н.,). см
Песок крупнозернистой	2,0-3,5
» среднезернистый	12,0 — 35,0
» мелкозернистый	35,0 — 120,0
Супесь	120,0 — 350,0
Суглинок	350,0 — 650,0
Глина легкая	650,0-1200,0

ГАЗЫ, РАСТВОРЕННЫЕ В ВОДЕ — газы, входящие в состав воды и отображающие газовый состав той части земной оболочки, где залегает природная вода. Эти газы могут находиться в растворенном или в свободном состоянии (спонтанные газы). Количество газов, находящихся в природных водах, колеблется от 10^{-4} до 10^{-6} %. Максимальное содержание газов, достигающее 0,1%, встречается в водах восходящих минеральных источников; основным газовым компонентом этих вод является углекислота (CO_2). Среди газов, растворенных в природных водах, встречаются главным образом O_2 , Na , CO_2 , H_2S , Ar , H_2 , Rn , CH_4 , тяжелые углеводороды и гелий.

ГЕНЕЗИС ПОДЗЕМНЫХ ВОД — процессы формирования подземных вод под влиянием естественно-исторических факторов, а также производственной деятельности человека. Происхождение вод в литосфере как природного образования может быть обусловлено конденсацией паров воздуха, инфильтрацией поверхностных вод, захоронением вод бассейнов и т. д. Процесс формирования химического состава подземных вод генетически может быть связан со взаимодействием подземных вод и вмещающих их горных пород, с проникновением в подземные воды с поверхности различных инградиентов минерализации, с гравитационной дифференциацией инградиентов минерализации и т. д.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД — классификация подземных вод, основанная на генетических признаках. Например, по условиям формирования выделяют подземные воды: выщелачивания, седиментационные, возрожденные и т. д., а по преобладающим ингредиентам химического состава — гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и т. д.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД — совокупность генетических процессов, связанных определенной последовательностью. Г. Н. Каменский (1947 г.) выделил три генетических цикла: 1) инфильтрационный, или континентальный; 2) морской, или осадочный; 3) метаморфический, или магматический.

ГИДРАВЛИКА — наука об условиях и законах равновесия и движения жидкостей и способах применения этих законов к решению практических задач. Знание законов движения жидкостей необходимо для развития водных путей сообщения, гидроэнергетики, осушения и орошения земель, водоснабжения, канализации, гидромеханизации и т. п.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ — см. *Напорный градиент*.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР — сумма пьезометрического и скоростного напоров.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ — давление, оказываемое движущимися струйками воды на частицы породы. Численно оно равно напорному градиенту. Гидродинамическое давление по достижении напорным градиентом критической величины может вызывать общее смещение породы с ее разрыхлением, как это иногда наблюдается в откосах каналов или в нижнем бьефе плотин.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ — напряжение в

насыщенных водой грунтах, возникающее при изменении внешнего давления.

ГИДРОИЗОБАТЫ — линии на плане (карте), соединяющие точки одинаковых глубин от земной поверхности (обычно неровной) до поверхности грунтовых вод.

ГИДРОИЗОГИПСЫ — линии на плане (карте), соединяющие точки одинаковых высот поверхности грунтовых вод над условной нулевой плоскостью. **ГИДРОИЗОПЛЕТЫ** — линии на вертикальном разрезе, соединяющие точки одинаковых уровней воды в разных колодцах в разное время. Гидроизогипсы служат для выявления динамики грунтовых вод.

ГИДРОИЗОПЬЕЗЫ (пьезоизогипсы) — линии на плане, соединяющие точки одинаковых напоров напорных вод

ГИДРОИЗОТЕРМЫ — линии на разрезе, а также на карте, соединяющие точки с одинаковой температурой воды в той или иной водоносной породе.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ НАПОР (по Н. Н. Павловскому) — запас потенциальной энергии, выражаемый суммой двух величин: отметки точки относительно принятой плоскости сравнения и приведенной высоты давления. Гидростатический напор определяют по подъему воды в пьезометрической трубке, т. е. с учетом атмосферного (или другого) давления на водную поверхность.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ — уровень, до которого поднимается грунтовая вода в скважине или колодце. Гидростатический уровень измеряют от принятой плоскости сравнения, например от уровня моря, поверхности земли, поверхности водоупорного пласта и т. п.

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ — давление столба жидкости над условным уровнем, состоящее из давления на свободной поверхности жидкости и избыточного давления (произведения глубины погружения рассматриваемой точки на объемный вес жидкости). Измеряется в единицах высоты столба жидкости или в атмосферах.

ГИДРОХИМИЯ — наука о химии природных вод. Основной задачей современной гидрохимии является установление генетических зависимостей между химическим составом воды и явлениями, определяющими его характер.

ГЛИНИСТАЯ ФРАКЦИЯ — входящая в состав рыхлых грунтов группа частиц размером $< 0,005$ мм. Количественно выражается в процентах к общему весу всех фракций грунта. Глинистая фракция обычно представлена глинистыми минералами (см.).

ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ — вторичные водные силикаты, алюмосиликаты и ферросиликаты, а также простые окислы и гидраты окислов кремния, железа и алюминия, составляющие основную массу глин, аргиллитов и тонких ($< 0,005$ мм) фракций некоторых других осадочных пород. Наиболее распространенными глинистыми минералами являются каолинит, монтмориллонит, бейдолит, галлуазит, иллит и др.

ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ (давление горных пород) — давление горных

пород, окружающих горные выработки, на стенки и крепь этих выработок.

ГРАНУЛА — часть сложно построенной коллоидной частицы (мицеллы), состоящей из ядра и неподвижного слоя ионов, имеющих электрический заряд, противоположный заряду ядра.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ (механический) АНАЛИЗ — определение размеров и количественного соотношения частиц, слагающих рыхлую горную породу. Самым простым видом гранулометрического анализа является так называемый ситовый анализ. Разделение на фракции частиц породы, которые проходят через сита с отверстиями 0,25 мм, производят методом отмучивания. Для гранулометрического анализа глинистых грунтов применяют ареометрический метод (см.).

ДЕБИТ (производительность) СКВАЖИНЫ (КОЛОДЦА) — объем воды, выдаваемой скважиной (колодцем) в единицу времени. Определяется в литрах в секунду или в кубических метрах в секунду, час или в сутки. Близкий к дебиту термин «расход» рекомендуется употреблять по отношению к подземным потокам.

ДЕБИТОМЕТР — прибор, записывающий кривую дебита скважины или колодца во времени.

ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ -разность между напорами в двух точках подземного потока по пути его движения.

ДЕПРЕССИОННАЯ КРИВАЯ — линия, образованная пересечением вертикальной плоскостью депрессионной поверхности подземного потока по направлению его течения.

ДЕПРЕССИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ — пьезометрическая поверхность напорных или свободная поверхность безнапорных вод, снижающаяся к месту их выхода на поверхность земли, к месту перетекания в более глубокие водопроницаемые породы, к пункту откачки (скважина, колодец, шахты и др.). В последнем случае депрессионная поверхность имеет форму воронки и называется депрессионной воронкой.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПОРОДЫ — содержание воды в породе в условиях ее естественного залегания. Количественное содержание воды в породе выражается: 1) весовой влажностью — отношением веса воды к весу скелета породы; 2) объемной влажностью — отношением объема воды к объему породы; 3) приведенной влажностью — отношением объема воды к объему скелета; 4) относительной влажностью — отношением объема воды к объему пор породы. Естественная влажность породы выше уровня грунтовых вод меняется во времени. Ниже этого уровня влажность максимальна для данной пористости породы или близка к максимальной величине, а относительная влажность равна единице или близка к ней.

ЖИВОЕ СЕЧЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПОТОКА — поперечное сечение подземного потока жидкости, перпендикулярное направлению потока.

ЗОНА ГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ — близкая к дневной поверхности часть земной коры, в которой температура горных пород в течение года изменяется в зависимости от колебаний температуры

воздуха. Величина зоны годовых колебаний температуры разная — до 30 м. При возрастании глубины в арифметической прогрессии амплитуда годовых колебаний температуры уменьшается в геометрической прогрессии; например, для Тбилиси на глубине 2 м амплитуда достигает $21^{\circ} - 11^{\circ} = 10^{\circ}$, на глубине 3 м составляет $18^{\circ} - 14^{\circ} = 4^{\circ}$, а на глубине 4 м равна $16^{\circ} - 14^{\circ} = 2^{\circ}$.

ЗОНА НАСЫЩЕНИЯ — часть земной коры, в которой проницаемые горные породы насыщены водой.

ИЗОПЬЕЗЫ (гидроизопьезы) — линии на плане или карте, соединяющие точки одинаковых пьезометрических уровней.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС — толща горных пород, расположенных в стратиграфической последовательности и характеризующихся сходством или закономерной изменчивостью инженерно-геологических характеристик.

ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ВОДЫ — подземные воды, образовавшиеся путем просачивания атмосферных вод через поры и трещины горных пород.

ИНФИЛЬТРАЦИЯ — просачивание воды по порам и трещинам. Отношение количества осадков, просочившихся в грунт, к количеству выпавших осадков (в %) называют коэффициентом инфильтрации.

КАПИЛЛЯРНАЯ ЗОНА (кайма) — зона, разделяющая зону аэрации и зону насыщения, связанная гидравлически с последней. В капиллярной зоне поры, трещины и другие пустоты капиллярных размеров насыщены водой, удерживаемой в подвешенном состоянии капиллярными силами.

ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ — течение жидкости (или газа) в виде отдельных, очень тонких слоев (или параллельных струй), не перемешивающихся друг с другом. Ламинарное течение происходит только до определенной (критической) скорости (см.). При скоростях, превышающих критическую, ламинарное течение переходит в турбулентное течение (см.).

МЕХАНИКА ГРУНТОВ — научная дисциплина, изучающая напряжения, деформации, условия прочности и устойчивости грунтов, изменения их состояния и свойств под влиянием внешних, главным образом механических, воздействий. Используются решения теорий упругости и пластичности, а также положения коллоидной химии и грунтоведения.

ОБЛАСТЬ РАЗГРУЗКИ (область выклинивания, дренажа) ПОДЗЕМНЫХ ВОД — участок, где подземные воды выходят из водоносного пласта на дневную поверхность или в поверхностные водотоки и водоемы.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ГОРНОЙ ПОРОДЫ (степень влажности) — влажность, выраженная в процентах по отношению к объему всех пор данной породы.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ГРУНТА — отношение абсолютной величины деформации изучаемого образца грунта под внешней нагрузкой к первоначальным его размерам (до приложения нагрузки).

ПЛАСТИЧНОСТЬ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД — способность глинистых пород изменять свою форму (деформироваться) под действием внешних сил без разрыва сплошности и сохранять полученную при деформации новую форму после прекращения действия внешних сил. Пластичные свойства глинистых пород зависят от влажности породы, степени дисперсности, минералогического состава, концентрации ионов, состава обменных катионов и пр.

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОДИНАМИКА (подземная гидравлика) — отраслевое направление науки о движении воды, нефти и газа в пластах, сложенных пористыми и трещиноватыми породами.

ПОДЗЕМНЫЙ СТОК — перемещение подземных вод под действием гидравлического напора или силы тяжести, происходящее в процессе круговорота влаги в природе. Подземный сток количественно характеризуется теми же величинами, что и поверхностный сток: расходом, модулем, объемом и т. п.

ПРИВЕДЕННАЯ ПОРИСТОСТЬ — отношение объема пор горной породы (грунта) к объему скелета горной породы (грунта), выражаемое обычно в долях единицы. (Нерекомендуемый синоним: коэффициент пористости.)

ПРИВЕДЕННЫЕ ПЛАСТОВЫЕ ДАВЛЕНИЯ — замеренные пластовые давления, приведенные (пересчитанные) к определенной горизонтальной плоскости с целью снятия влияния разности в глубинах замеров давлений в отдельных скважинах и к не горизонтальности пласта.

ПРИВЕДЕННЫЙ РАДИУС ПИТАНИЯ КОЛОДЦА - радиус кругового контура питания, концентричного колодцу, при котором обеспечивается фактически существующий дебит колодца во время откачки при асимметричной воронке депрессии.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД — способность горных пород пропускать через себя жидкости и газы. В качестве единицы измерения проницаемости горных пород принят расход $1 \text{ см}^3/\text{сек}$ жидкости вязкостью 1 сантипуаз через поперечное сечение породы площадью 1 см^2 при перепаде давления 1 ат на 1 см (1 дарси). П. г. п. является основным показателем продуктивности нефтеносных пластов (см. *Дарси*). Коэффициент проницаемости равен коэффициенту фильтрации, умноженному на коэффициент вязкости жидкости.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА — разность давлений в данной точке и в атмосфере. Измеряется пьезометром (см.).

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ (напорный) УРОВЕНЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД — уровень, устанавливающийся в скважинах-пьезометрах при вскрытии напорных вод. Пьезометрический уровень подземных вод выражается в атмосферах или абсолютных отметках.

РАДИУС ВЛИЯНИЯ СКВАЖИНЫ - расстояние от скважины, из которой производится откачка, до границы зоны ее влияния. Зона влияния скважины определяется гидродинамическим полем данной скважины. В однородном пласте гидродинамическое поле работающей скважины

определяется рядом концентрических окружностей, центры которых совпадают с вертикальной осью скважины. Радиус влияния скважины непрерывно увеличивается во времени, и его пределом теоретически являются границы (контуры) водоносного пласта.

СВЯЗАННЫЕ ВОДЫ — подземные воды, связанные физически или химически с твердым веществом горных пород и потому сами по себе неподвижные в противоположность свободным гравитационным (адгерентным) водам. Различают две группы связанных вод: 1) воды внутри твердого вещества породы; 2) воды в мельчайших порах и трещинах горных пород или на поверхности твердого вещества горных пород, удерживаемые силами молекулярного притяжения. Первая группа включает воды: а) конституционные; б) кристаллизационные; в) гидратные, или цеолитные. Ко второй группе относятся пленочная (рыхло связанная) и гигроскопическая (прочно связанная) воды.

СКЕЛЕТ ГРУНТА — твердые минеральные частицы, входящие в состав грунта.

СТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД - естественный, не нарушенный откачкой или нагнетанием уровень подземных вод.

ТАЛИК — участок горной породы в районе многолетней мерзлоты с положительной средней годовой температурой, сухой или заключающий в себе капельножидкую воду. Талик может находиться над мерзлой геозоной, или в ней, или под ней. Талик имеет большое значение для водоснабжения в зоне многолетней мерзлоты.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ — параметры, определяющие физико-химические особенности природных вод. К ним относятся показатели концентрации водородных ионов (рН) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ — удельный вес, температура, прозрачность, цвет, мутность, запах, вкус, электропроводность и др.

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА — разность между величиной грунтового питания реки до устройства водохранилища и после.

Перечень использованной литературы

Общая гидрогеология

1. Завалей В. А. «Поиски и разведка подземных вод», Алматы 2002 г.
2. Гордеев П.В., Шемелина В.А., О.К. Шулякова «Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии». М. «Высшая школа», 1991г.
3. Климентов П. П. «Общая гидрогеология». М.: Высшая школа, 1990 г.
4. Зверев В.П.: Подземная гидросфера. - М.: Научный мир, 2011
5. Кирюхин В.А.: Общая гидрогеология. - СПб.: Санкт-Петербургский горный институт им. Г.В. Плеха, 2008
6. О недрах и недропользовании (с изменениями и дополнениями по состоянию на 24.05.2018 г.)
7. Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов от 22 апреля 2015 года № 10774
8. СНиП РК 4.01-02-2009 Водоснабжение Наружные сети и сооружения
9. СНиП РК 4.01-03-2011 ВОДООТВЕДЕНИЕ. НАРУЖНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ

Инженерная геология

1. Фролов А.Ф. «Инженерная геология», Москва Недра 1993г.
2. Ломтадзе В.Д. «Инженерная геология», Л.Недра, 1994.
3. Механика грунтов. Методическое пособие к лабораторным работам. Ульяновск, 2003 г.
4. Определение физико-механических свойств грунтов при проектировании оснований зданий и сооружений. Методическое пособие к лабораторным работам. Тверь, 2006 г
5. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика./ Учебник – СПб.: Наука, 2001.

Основы гидравлики и гидрометрии

1. Цивин М.Н., Абраменко П.И. «Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах», Киев, 2003г.
2. Сугурбеков Т.К «Основы гидравлики и гидрометрии», Астана 2013
3. Лучшева А.А. Основы гидравлики и гидрометрии. М., "Недра", 1990.
4. Лучшева А.А., Чаповский А.Е. Сборник задач и руководство к практическим занятиям по основам гидравлики и гидрометрии, Москва Недра 1990г.
5. Невский В.В. Гидравлика, гидрология, гидрометрия, Москва Транспорт 1998 г.
6. Рабинович Е.З. Гидравлика. М., "Недра", 1990.

КИМКИНА В.М., САЛАМАТИНА А.С.,
МАКИШЕВ Д.Н., ТЮРИН В.М.

ПРОСТЕЙШИЕ ПОЛЕВЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Подписано в печать 10.12.2018 г.
Формат 60*84 1/8
Печать цифровая
Усл. печ. л. 20,5. Тираж 32 экз.

Отпечатано компания «Профи Полиграф»