

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Решение типовых задач



Дальневосточный федеральный университет
Школа естественных наук
Департамент наук о Земле

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Решение типовых задач

Учебно-методическое пособие

Для студентов, обучающихся
по направлению подготовки 05.04.01 «Геология»

Составитель:

И.А. Лисина, кандидат географических наук,
доцент Департамента наук о Земле ШЕН ДВФУ;

Учебное электронное издание

Владивосток



2021

© Лисина И.А., составление, 2021

© Оформление. ФГАОУ ВО ДВФУ, 2021

УДК 556.3076)
ББК 26.35р-32

Гидрогеология. Решение типовых задач : учебно-методическое пособие : для студентов, обучающихся по направлению подготовки 05.04.01 «Геология» / составитель И.А. Лисина. – Владивосток : Издательство Дальневосточного федерального университета, 2021. – [47 с.]. – Дата публикации: 29.01.2021. – Текст. Изображения : электронный.

Пособие содержит вводные теоретические пояснения, задачи и примеры их решения. Основными задачами практической части курса являются: освоение принципов схематизации и типизации гидрогеологических условий; получение навыков расчета количественных характеристик фильтрационных потоков и решения ряда практических задач, связанных с определением подземного питания рек и водоемов.

В данном пособии представлены теоретические основы и примеры решения задач по фильтрационным потокам подземных вод с постоянным и переменным расходом в однородных и неоднородных коллекторах, а также задания для самостоятельного решения.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:
Веб-браузер Internet Explorer версии 6.0 или выше,
Opera Версии 7.0 или выше, Google Chrome 3.0 или выше.

Компьютер с доступом к сети Интернет.
Минимальные требования к конфигурации и операционной системе
компьютера
определяются требованиями перечисленных
выше программных продуктов.

Размещено на сайте 29.01.2021
Объем 1,52 Мб

Дальневосточный федеральный университет
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10
E-mail: editor_dvfu@mail.ru
Тел.: (423) 226-54-43

© Лисина И.А, составление, 2021
© Оформление. ФГАОУ ВО ДВФУ, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОСТОЯННЫМ РАСХОДОМ В ОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ	8
Примеры решения задач	14
Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с постоянным расходом в однородных коллекторах»	16
2. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОСТОЯННЫМ РАСХОДОМ В НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ	20
Примеры решения задач	23
Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с постоянным расходом в неоднородных коллекторах».....	29
3. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ	33
Примеры решения задач	39
Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с переменным расходом»	42
ЛИТЕРАТУРА	46

ВВЕДЕНИЕ

Законы движения подземных вод используются при гидрогеологических инженерных расчетах водозаборов, дренажей, определении притоков воды к строительным котлованам.

Основные задачи, решаемые в рамках данного направления:

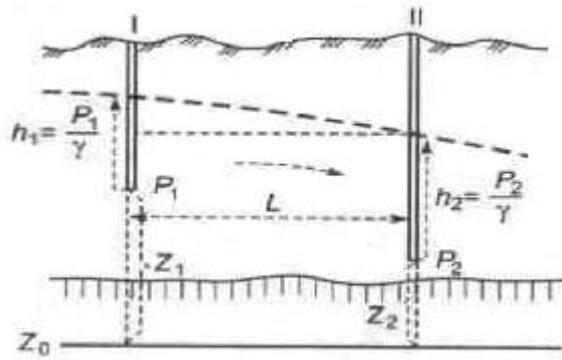
1. Определение водопроницаемости пород и водопродимости водоносных горизонтов.
2. Определение расхода потока подземных вод.
3. Определение скорости движения подземных вод.
4. Прогноз режима водоносных горизонтов.
5. Построение кривых депрессионной поверхности водоносных горизонтов.
6. Определение запасов и ресурсов подземных вод.
7. Определение водопритока к водозаборным и водоприемным сооружениям.

Фильтрация – движение подземных вод под действием гидравлического уклона потока через систему полностью водонасыщенных и сообщающихся между собой пор и трещин горных пород. Инфильтрация протекает в условиях неполного заполнения пор водой в породах зоны аэрации.

Фильтрационные потоки различают по характеру движения (установившийся и неустановившийся), гидравлическому состоянию (безнапорные, напорные и напорно-безнапорные). Движение потоков в основном ламинарное (параллельным), в крупных трещинах и пустотах может быть турбулентным (завихряющемся). В плане фильтрационные потоки можно рассматривать как плоские и радиальные (сходящиеся (например, к колодцу) и расходящиеся).

Основные особенности движения подземных вод:

1. Потери скорости на трение в подземных водах происходят по всей толще потока.
2. Движение подземных вод обуславливается гидростатическим напором и уклоном зеркала грунтовых вод или пьезометрической поверхности.



$H=Z+p/\gamma$ - Гидростатический напор – высота точки над плоскостью сравнения.

p/γ - Пьезометрический напор – это высота на которую должна подниматься вода над данной точкой потока под влиянием гидростатического давления P в этой точке.

3. Интенсивность падения напора при переходе от сечения к сечению – **напорный градиент или гидравлический уклон.**

I_{cp} – гидравлический уклон на значительном участке.

$$I_{cp} = \frac{H_1 - H_2}{x} = \frac{\Delta H}{x}$$

Если водоупор горизонтальный, то плоскость сравнения совмещается с ним и гидростатический напор равен мощности потока $H_1=h_1$, $H_2=h_2$.

Если водоносный пласт на всем своем протяжении имеет одинаковый литологический состав, то он называется *однородным*. Если же литологический состав водоносного пласта изменяется в горизонтальном или в вертикальном направлении (что встречается в природе гораздо чаще), то водоносный пласт называется *неоднородным*.

Движение подземных вод в природных условиях обусловлено сложным влиянием разнообразных факторов и активной хозяйственной деятельностью человека, роль которых часто невозможно описать математическими уравнениями. Поэтому при гидрогеологических расчетах, как правило, приходится прибегать к схематизации природных условий и использованию упрощенных схем.

Для расчета подземного питания рек, озер и других водоемов могут применяться различные методы и приемы. Использование того или иного

способа расчета определяется целевым назначением исследований, характером водотока или водоема и степенью изученности гидрогеологических и гидрологических условий. Методы решений могут быть весьма разнообразными. Это могут быть строгие или приближенные аналитические решения, численные методы, основанные на замене дифференциальных уравнений конечно-разностными уравнениями, методы моделирования и приближенные методы экстраполяции опытных данных.

Разнообразие природных условий, различная степень гидрогеологической изученности объектов исследования и разнообразие практических задач создают определенные трудности в выборе надежного метода расчета и получении достаточно точных результатов. Непременным условием применения любого метода расчета подземного стока в реки и водоемы является получение надежно обоснованных гидрогеологических, гидрологических и гидрохимических параметров, входящих в расчетные уравнения, схемы и модели.

Гидрогеологические или гидродинамические методы основаны на изучении режима подземных вод и определении гидродинамических параметров водоносного пласта, подземного потока и водозабора прямыми измерениями. Данные о подземном стоке в бассейне могут быть получены на основе современных методов аналитических решений плановой фильтрации. Для этого необходимо иметь достаточно детальные сведения об уровненом режиме подземных вод в расчётных створах, о гидрогеологических условиях бассейна реки в целом или отдельных ее участков, о характере гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод, а также надежную информацию о физико-механических и водных свойствах пород водоносных горизонтов.

Гидрогеологические методы исследования и расчета подземного стока достаточно эффективны и в ряде случаев их применение является единственным способом получения надежных результатов. Эти методы наиболее полно раскрывают гидродинамические условия формирования подземного стока из отдельных горизонтов (комплексов), выявляют степень

дренирования и особенности разгрузки подземных вод в реки и водоемы, отображают процессы образования и изменения подпора подземных вод в периоды паводков и паводков. Они позволяют не только обнаружить, но и оценить величину подруслового стока.

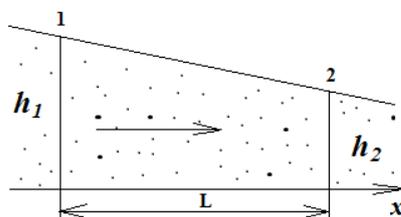
Приводимые ниже гидрогеологические расчеты подземного питания водотоков и водоемов опираются на известную закономерность Дарси, математическое выражение которой имеет вид

$$Q = K \cdot F \cdot I$$

где K — коэффициент фильтрации водоносного пласта; I — гидравлический уклон подземного потока; F — площадь поперечного сечения потока. Это уравнение в общем виде выражает расход фильтрационного потока [4].

1. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОСТОЯННЫМ РАСХОДОМ В ОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Движение грунтовых вод при горизонтальном залегании водоупора и отсутствии инфильтрации



$$H=h \quad \frac{d}{dx} \left(h \frac{dh}{dx} \right) = 0 \quad (1)$$

1) Описать положение кривой депрессии в зависимости от x - $h_x = f(x)$.

Если внести h под знак дифференциала в формуле (1), то получим

$$\frac{d^2 \left(\frac{h}{2} \right)^2}{dx^2} = 0 \quad \frac{d \left(\frac{h}{2} \right)^2}{dx} = C_1 \quad (2)$$

$$d \left(\frac{h}{2} \right)^2 = C_1 dx \quad (3)$$

$$\left(\frac{h}{2} \right)^2 = C_1 dx + C_2 \quad (4)$$

$$h^2 = 2C_1 x + 2C_2 \quad (5)$$

Учитывая граничные условия

1) Выразить расход потока.

$$q = -Kh \frac{dH}{dx}$$

Разделяем переменные

$$\frac{q}{K} \int \frac{1}{h} dx = - \int dH \quad (11)$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$\frac{q}{Kh_{\text{ср}}} \int_{x_1}^{x_2} dx = - \int_{H_1}^{H_2} dH \quad (12)$$

$$\frac{q}{Kh_{\text{ср}}} (x_2 - x_1) = -(H_2 - H_1) \quad (13)$$

$$q = K \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (14)$$

Согласно формуле 14 при решении расходных задач прослеживается зависимость напора от расстояния.

2) Описать положение кривой депрессии.

В любом сечении x положение кривой можно найти исходя из уравнения 14.

$$q = K \frac{h_1 + h_x}{2} \cdot \frac{H_1 - H_x}{x} \quad (15)$$

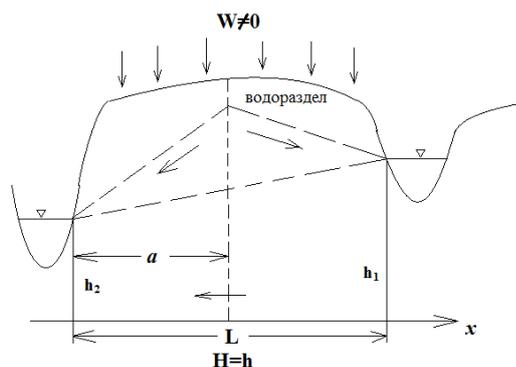
$$K \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} = K \frac{h_1 + h_x}{2} \cdot \frac{H_1 - H_x}{x} \quad (16)$$

$$h_x = H_x - Z_x \quad (17)$$

$$(h_1 + h_2) \frac{H_1 - H_2}{L} = (h_1 + H_x - Z_x) \frac{H_1 - H_x}{x} \quad (18)$$

$$Z_x = Z_1 \pm i \cdot x$$

Движение грунтовых вод в междуречном массиве при наличии инфильтрации



1) Описать положение кривой депрессии.

Запишем уравнение неустановившегося движения при горизонтальном залегании водоупора в виде

$$\frac{d}{dx} \left(h \frac{dh}{dx} \right) + \frac{W}{K} = 0 \quad (19)$$

$$d \left(h \frac{dh}{dx} \right) = -\frac{W}{K} dx \quad (20)$$

$$h \frac{dh}{dx} = -\frac{W}{K} x + C_1 \quad (21)$$

$$h \cdot dh = -\frac{W}{K} x dx + C_1 dx \quad (22)$$

$$\frac{h^2}{2} = -\frac{W}{K} \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (23)$$

$$h_{x=0} = h_2 \quad h_{x=L} = h_1$$

$$C_2 = \frac{h_2^2}{2} \quad (24)$$

$$\frac{h_1^2}{2} = -\frac{W}{K} \frac{L^2}{2} + C_1 L + \frac{h_2^2}{2}$$

$$\frac{h_1^2 - h_2^2}{2} + \frac{W}{2K} L^2 = C_1 L$$

$$C_1 = \frac{W}{K} \frac{L}{2} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (25)$$

$$\frac{h^2}{2} = -\frac{W}{K} \frac{x^2}{2} + \frac{W}{K} \frac{L}{2} x + \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} x + \frac{h_2^2}{2}$$

Выделив из этого выражения h получаем уравнение кривой депрессии

$$\boxed{h^2 = -\frac{W}{K} x^2 + \left(\frac{h_1^2 - h_2^2}{L} + \frac{W}{K} L \right) x + h_2^2} \quad (26)$$

2) Выразить расход потока.

$$q = Kh \frac{dh}{dx} = \frac{Kd}{dx} \frac{h^2}{2} = \frac{K}{2} \frac{d}{dx} (h^2)$$

$$q = \frac{K}{2} \left(-\frac{W}{K} 2x + \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} + \frac{W}{K} L \right)$$

$$\boxed{q = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} + W \left(\frac{L}{2} - x \right)} \quad (27)$$

Движение напорных вод в пласте постоянной мощности

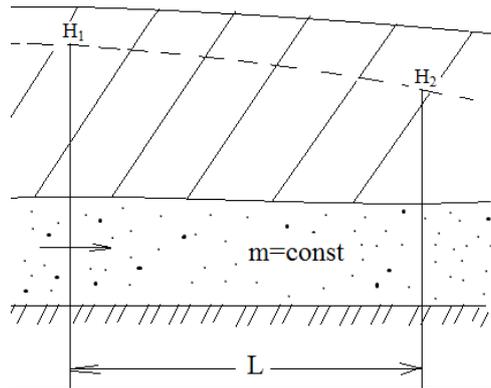
$$\frac{d^2 H}{dx^2} = 0 \quad \frac{dH}{dx} = C_1 \quad dH = C_1 dx$$

1) Описать положение кривой депрессии

$$H = C_1 x + C_2 \quad (28)$$

$$H|_{x=0} = H_1 \quad H|_{x=L} = H_2$$

$$C_2 = H_1 \quad H_2 = C_1 L + H_1$$



$$C_1 = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

C_2 и C_1 подставляем в формулу (28)

$$H = \frac{H_2 - H_1}{L} x + H_1$$

$$\boxed{H = H_1 - \frac{H_1 - H_2}{L} x} \quad \text{- уравнение кривой депрессии} \quad (29)$$

Описывает положение пьезометрической линии в зависимости от x .

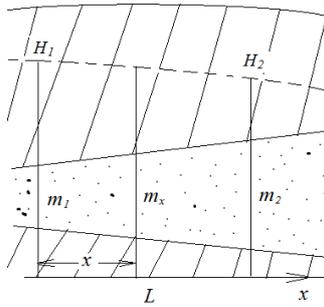
2) Выразить расход потока.

$$q = -Km \frac{dH}{dx} = -Km \frac{d}{dx} \left(H_1 - \frac{H_1 - H_2}{L} x \right) = Km \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (30)$$

Движение напорных вод в пласте переменной мощности

$$m_2 > m_1$$

$$m_x = m_1 + \frac{m_2 - m_1}{L} x \quad (31)$$



1) Выразить расход потока.

Исходя из формулы единичного расхода при расширяющемся пласте

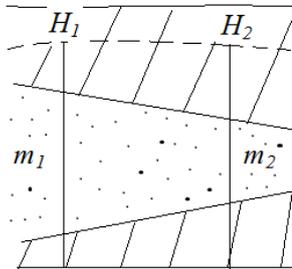
$$q = K \frac{m_2 - m_1}{L} \cdot \frac{H_1 - H_2}{\ln \frac{m_2}{m_1}} \quad (32)$$

$$q_{1-x} = K \frac{m_x - m_1}{x} \cdot \frac{H_1 - H_x}{\ln \frac{m_x}{m_1}} \quad (33)$$

2) Описать положение пьезометрической кривой.

$$H_x = H_1 - \frac{m_2 - m_1}{m_x - m_1} \cdot \frac{\ln \frac{m_x}{m_1}}{\ln \frac{m_2}{m_1}} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} x \quad (34)$$

При обратном соотношении $m_1 > m_2$



$$m_x = m_1 - \frac{m_1 - m_2}{L} x \quad (35)$$

1) Выразить расход потока.

$$q = K \frac{m_1 - m_2}{L} \cdot \frac{H_1 - H_2}{\ln \frac{m_2}{m_1}} \quad (36)$$

2) Описать положение пьезометрической кривой.

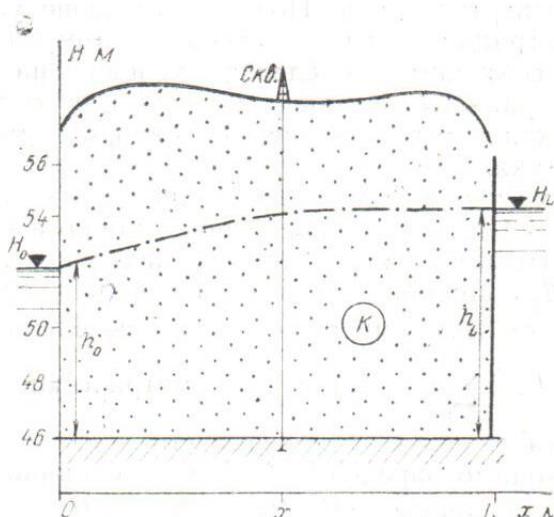
$$H_x = H_1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_x} \cdot \frac{\ln \frac{m_x}{m_1}}{\ln \frac{m_2}{m_1}} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} x \quad (37)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Междуречье шириной 390 м сложено мелкозернистыми песками со средним коэффициентом фильтрации 5,8 м/сут. В западной реке уровень воды располагается на отметке 52,2 м, тогда как в восточной реке на отметке 54,3 м. Инфильтрационное питание отсутствует. Водоупорное ложе горизонтально и залегает на отметке 46,1 м.

Необходимо определить единичный расход перетока вод из одной реки в другую и минимальную глубину скважины необходимую, чтобы вскрыть подземные воды в 100 м от западной реки, где отметка поверхности земли 61,3 м.

Решение. Имеем линейный неограниченный поток безнапорных вод с параметрами: $L=390$ м; $K=5,8$ м/сут; $h_0 = 52,2-46,1=6,1$ м; $h_L = 54,3-46,1=8,2$ м; $w=0$; $i=0$.



Расчетная схема задачи 1.

В этом случае согласно уравнению (10) имеем

$$q = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} = 5,8 \frac{6,1^2 - 8,2^2}{2 \cdot 390} = -0,22 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Удельный расход имеет отрицательное значение, так как фильтрация направлена в сторону числа координат.

Высоту потока грунтовых вод определяем с помощью уравнения (8)

$$h_{200} = \sqrt{h_0^2 - \frac{2q}{K}x} = \sqrt{6,1^2 + \frac{2 \cdot 0,22}{5,8} 200} = 7,2 \text{ м}$$

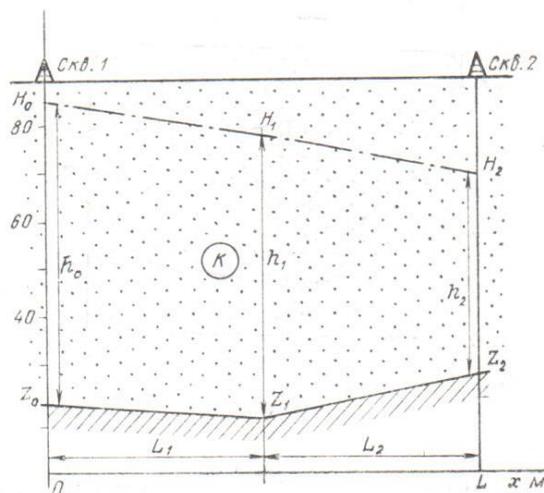
При отметке водоупорного ложа 46,1 м отметка уровня грунтовых вод в 200 м от западной реки $H_{200} = 46,1 + 7,2 \text{ м} = 53,3 \text{ м}$.

В этом случае, для того чтобы вскрыть грунтовые воды, необходимо пробурить скважину более $61,3 - 53,3 = 8,0 \text{ м}$.

Задача 2. Грунтовые воды вскрыты двумя скважинами на расстоянии 1,8 км. В скважине 1 уровень грунтовых вод находится на отметке 85,0 м, а водоупорное ложе на отметке 21,0 м. В скважине 2 уровень грунтовых вод замерен на отметке 70,0 м, водоупорное ложе на отметке 27,0 м. Средний коэффициент фильтрации водонасыщенных мелкозернистых песков равен 5,2 м/сут.

Необходимо определить единичный расход подземных вод вдоль створа скважин и отметку уровня грунтовых вод в 900 м от скважины 1, где водоупорное ложе понижается до отметки 18,0 м.

Решение: Имеем линейный неограниченный поток безнапорных вод с наклонным водоупорным ложем.



Расчетная схема задачи 2.

Можно предполагать, что водоупорное ложе вначале понижается от отметки 21,0 м до 18,0 м, а затем поднимается до отметки 27,0 м. В связи с этим можно выделить два участка с разными значениями уклона водоупорного ложа (L_1 и L_2) с внутренней границей между ними. Тогда фильтрационный поток может быть охарактеризован следующими параметрами:

$$L=1800 \text{ м}; L_1=900 \text{ м}; L_2=900 \text{ м};$$

$$K=5,2 \text{ м/сут};$$

$$H_0=85,0 \text{ м}; h_0=85,0-21,0=64,0 \text{ м}; H_2=70,0 \text{ м}; h_2=70,0-27,0=43,0 \text{ м};$$

$$z_0=21,0 \text{ м}; z_1=18,0 \text{ м}; z_2=27,0 \text{ м};$$

$$\text{на первом участке (при } x < 900 \text{ м)} \quad i_1 = \frac{18 - 21}{900} = -3,3 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{на втором участке (при } x > 900 \text{ м)} \quad i_2 = \frac{27 - 18}{900} = -1,0 \cdot 10^{-2}$$

$$w = 0.$$

Для решения задачи воспользуемся уравнением

$$H_j = H_{j-1} - \frac{2H_{j-1} - z_{j-1} - z_j}{2} - \sqrt{\left(\frac{2H_{j-1} - z_{j-1} - z_j}{2}\right)^2 - \frac{2q}{K} L_j}$$

Задавая разные значения q при известных величинах $H_0, z_0, z_1, z_2, L_1, L_2, K$ можно рассчитать значения H_1 и H_2 . Необходимо подобрать такое значение q , при котором рассчитанное значение H_2 равно 70,0 м.

За исходное значение q примем расход воды при условии одного уклона водоупорного ложа между скважинами:

$$q = 5,2 \frac{64,0+43,0}{2} \frac{85,0-70,0}{1800} = 2,3 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

При таком единичном расходе $H_1=78,6$ м; $H_2=71,0$ м. Видимо искомый расход воды больше 2,3 м²/сут.

При $q=2,40$ м²/сут имеем $H_1=78,3$ м; $H_2=70,3$ м.

При $q=2,45$ м²/сут имеем $H_1=78,2$ м; $H_2=69,9$ м.

При $q=2,44$ м²/сут имеем $H_1=78,2$ м; $H_2=70,0$ м.

Очевидно, что единичный расход между скважинами равен 2,44 м²/сут, а отметка уровня грунтовых вод на половине пути между скважинами равна 78,2 м [8].

Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с постоянным расходом в однородных коллекторах»

Обязательным условием при решении задач является построение расчетной схемы.

Задача 1. Две скважины, расположенные вдоль потока на расстоянии 560 м друг от друга, вскрыли водоносные пески мощностью 2,0 м в скважине 1 и 5,0 м в скважине 2. Уровень воды в обеих скважинах поднялся выше кровли песков и установился на абсолютных отметках 274,0 м в скважине 1 и 252,0 м в скважине 2.

Определить единичный расход потока водоносного пласта, если его коэффициент фильтрации равен 32,0 м/сут.

Задача 2. Определить единичный расход подземных вод в песчаном пласте, вскрытом двумя скважинами, расположенными вдоль потока на расстоянии 325 м.

В скважине 1 мощность пласта 11,5 м, а уровень воды поднялся выше кровли пласта и установился на отметке 26,19 м. В скважине 2, мощность пласта в которой 8,76 м, уровень воды поднялся выше кровли до отметки 24,64 м. Коэффициент фильтрации водоносного пласта 55,0 м/сут.

Задача 3. Пласт однородных крупнозернистых песков с коэффициентом фильтрации 45,0 м/сут вскрыт скважинами 1 и 2 на расстоянии 600 м. В скважине 1 мощность пласта 12,0 м, а уровень воды установился на 11,0 м выше кровли. В скважине 2 мощность пласта 15,0 м, а уровень воды установился на 6,0 м выше его кровли. Ложе пласта горизонтально.

Определить единичный и общий расход потока приближенным и точным способом. Ширина потока 400 м.

Задача 4. На берегу озера в 700 м от его уреза скважиной вскрыта подземная вода на отметке 30,0 м. Мощность водонасыщенной части пласта в скважине равна 8,0 м. Уровень воды в озере стоит на отметке 25,0 м, а водоупор залегает на 7,0 м ниже этого уровня. Коэффициент фильтрации водонасыщенных песков 12,0 м/сут.

Определить единичный расход потока и ординату уровня подземных вод в 350 м от скважины, построить кривую депрессии.

Задача 5. На водоразделе между двумя каналами подземные воды залегают в среднезернистых песках с коэффициентом фильтрации 9,3 м/сут. В

западном канале отметка уровня воды 41,3 м, а отметка водоупорного ложа 35,2 м. В восточном канале отметка уровня воды 42,7 м, а отметка водоупорного ложа 33,8 м. Расстояние между каналами 300 м.

Определить единичный расход подземных вод между каналами и отметку уровня подземных вод в середине водораздела, построить депрессионную кривую.

Задача 6. В скважине 1 уровень подземных вод находится на абсолютной отметке 120,0 м, водоупорное ложе – на отметке 110,0 м. В скважине 2 уровень грунтовых вод располагается на отметке 115,0 м, а водоупор – на отметке 100,0 м. расстояние между скважинами 1 км, коэффициент фильтрации водоносного песка 14,0 м/сут.

Определить уклон поверхности подземных вод, расход потока при его ширине 200 м и ординату кривой депрессии в сечении, расположенном на половине расстояния между скважинами.

Задача 7. Грунтовый поток в однородных мелкозернистых песках с коэффициентом фильтрации 7,5 м/сут имеет мощность 23,0 м в скважине 2 при глубине залегания водоупора 25,0 м и 15,0 м в скважине 1 при глубине залегания водоупора 33,0 м. Устья скважин находятся на абсолютных отметках 79,0 м и 83,0 м соответственно. Расстояние между скважинами 1,2 км.

Определить расход потока шириной 200 м, положение уровня подземных вод на расстоянии 400 и 800 м, построить кривую депрессии.

Задача 8. Три скважины расположены вдоль потока подземных вод. Водоносен пласт среднезернистого песка с коэффициентом фильтрации 21,0 м/сут. Расстояние между скважинами 1 и 2 140 м, между 2 и 3 60 м. Ложе пласта горизонтально. Мощность пласта меняется от 20,0 м в скважине 1 до 18,0 м в скважине 2 и до 11,0 м в скважине 3. Уровень вод во всех скважинах устанавливается выше кровли потока: в скважине 1 на 25,0 м, в скважине 3 на 29,4 м.

Определить: единичный расход потока подземных вод; положение уровня воды в 70 и 170 м от скважины I ; градиенты (уклоны) напора на двух соседних участках потока; построить пьезометрическую кривую.

Задача 9. В междуречном массиве шириной 780 м происходит фильтрация воды из левой реки в правую.

Необходимо определить удельный расход этого перетока и построить кривую депрессии грунтовых вод, если известно, что водоупорное ложе погружается с отметки 12,4 м у левой реки до 11,0 м на расстоянии 360 м, затем поднимается до отметки 11,8 м на расстоянии 240 м и далее горизонтально до правой реки. Мощность фильтрационного потока у уреза левой реки 7,3 м, около уреза правой реки 2,8 м. Коэффициент фильтрации постоянный, равен 30,0 м/сут.

Задача 10. Водоносный пласт мощностью 16,0 м с коэффициентом фильтрации 9,0 м/сут сверху и снизу ограничен горизонтально залегающими водонепроницаемыми глинами. С одной стороны, он вскрыт рекой с уровнем воды на 11,0 м и выше кровли водоносного пласта. С другой стороны, он до водоупорного ложа вскрыт оврагом, в котором подземные воды выходят в виде многочисленных источников. Расстояние от реки до оврага 2,2 км.

Определить характер фильтрационного потока, его единичный расход и отметку пьезометрического уровня на середине междуречья.

Задача 11. Песчаный пласт мощностью 19,0 м с коэффициентом фильтрации 11,0 м/сут питается водой реки, которая вскрывает его до водоупорного ложа. Уровень воды в реке на 9,0 м выше кровли водоносного пласта. Дренируется пласт на расстоянии 1200 м другой рекой, в которой уровень воды на 16,0 м ниже той же кровли. Пласты залегают горизонтально.

Определить характер фильтрационного потока, его единичный расход и отметку пьезометрического уровня в середине междуречья [8].

2. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОСТОЯННЫМ РАСХОДОМ В НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Коэффициент фильтрации в границах отдельного водоносного пласта заметно меняется. Если его максимальные и минимальные значения отличаются менее чем в 10 раз, коллектор можно считать относительно однородным. В этом случае величина коэффициента фильтрации определяется, как среднеарифметическая всех его определений.

Когда максимальное и минимальное значения замеренных величин коэффициента фильтрации в пределах одного водоносного пласта различаются более чем в 10 раз, коллектор следует считать неоднородным. В этом случае расчет средней величины коэффициента фильтрации в используемом модельном потоке зависит от типа неоднородности.

Движение жидкостей в пластах приобретает совершенно своеобразный характер, когда на большом протяжении в изменении проницаемости наблюдаются явные закономерности. Отметим следующие четыре случая.

1. Пласт разделяется по мощности на несколько слоев; в каждом из слоев проницаемость в среднем одинакова, но отлична от проницаемости соседних слоев.

2. Проницаемость пласта скачкообразно (резко) изменяется при переходе через какую-либо границу. Такой границей может быть порог фациальной изменчивости одного и того же пласта, поверхность соприкосновения двух разных пластов вдоль сброса и т. д.

3. Проницаемость пласта непрерывно увеличивается или уменьшается в каком-либо направлении.

4. Во всех точках пласта одинаковое значение коэффициента проницаемости в одном направлении резко отличается от значения коэффициента проницаемости в другом направлении.

Если фильтрационная неоднородность описывается условиями: упорядоченная неоднородность в плане или упорядоченная неоднородность в

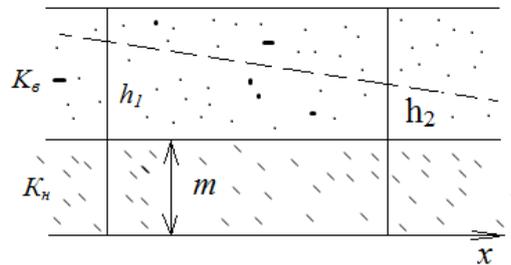
разрезах, то в уравнение для однородных пород подставляются средние коэффициенты по уравнениям

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_1 F_1 + T_2 F_2 + \dots + T_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad K_{\text{ср}} // = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \dots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$K_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\frac{m_1}{K_1} + \frac{m_2}{K_2} + \dots + \frac{m_n}{K_n}}$$

Уравнение движения подземных вод в двухслойной среде

Поток разделяется на два: верхний – это поток грунтовых вод на горизонтальном водоупоре; нижний – поток постоянной мощности. Верхний слой менее проницаемый.



$$q = q_{\text{в}} + q_{\text{н}} \quad (38)$$

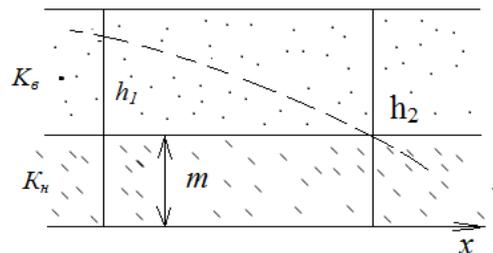
Согласно уравнениям 10 и 30 общий расход запишется в виде

$$q = K_{\text{в}} \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} + K_{\text{н}} m \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (39)$$

Эти уравнения «работают» при условии, что $K_{\text{в}}$ и $K_{\text{н}}$ одного порядка.

Если они отличаются больше чем в 100 раз, то движение рассматривается так: в верхнем слое вертикальная фильтрация, в нижнем слое движение в горизонтальном направлении.

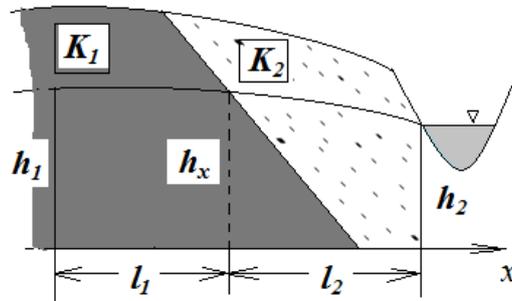
Если кривая депрессии находится в пределах одного пласта, то нужно знать L_x . При этом считаем, что $h_2=0$.



$$q = K_{\text{в}} \frac{h_1^2}{2L_x} + K_{\text{н}} m \frac{h_1}{L_x} \quad (40)$$

$$L_x = K_H m \frac{h_1}{q} + K_B \frac{h_1^2}{2q} \quad (41)$$

Движение подземных вод в пласте с резкой сменой водопроницаемости в горизонтальном направлении



При условии, что K_1 и K_2 одного порядка приводим к случаю перпендикулярной неоднородности $K_{cp} = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}}$.

Расход потока находим используя уравнение Дюпюи и при условии, что $l_1 + l_2 = L$

$$q = K_{cp} \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2}} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2(l_1 + l_2)} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 \left(\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2} \right)} \quad (42)$$

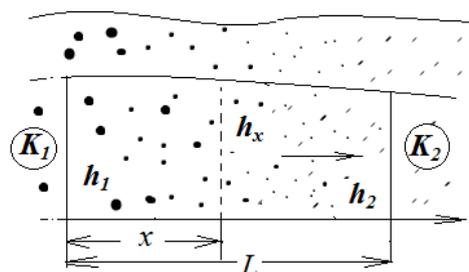
$$q_1 = K_1 \frac{h_1^2 - h_x^2}{2l_1} = q_2 = K_2 \frac{h_x^2 - h_2^2}{2l_2}$$

Положение кривой депрессии определяем по уравнению

$$h_x = \sqrt{\frac{K_1 h_1^2 l_2 + K_2 h_2^2 l_1}{K_2 l_1 + K_1 l_2}} \quad (43)$$

Из уравнения следует: чем более проницаема порода, тем более пологой будет кривая депрессии.

Уравнение движения подземных вод при постепенной смене водопроницаемости



$$K_2 > K_1$$

Согласно уравнению вычисления коэффициента фильтрации: в любой точке сечения при постепенной смене фильтрации по направлению движения воды

$$K_x = K_1 + \frac{K_2 - K_1}{L} x$$

Единичный расход для рассматриваемого случая вычисляется по формуле

$$q = \frac{K_2 - K_1}{\ln \frac{K_2}{K_1}} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (44)$$

Для любого сечения расход воды может быть определен по уравнению

$$q_{1-x} = \frac{K_x - K_1}{\ln \frac{K_x}{K_1}} \cdot \frac{h_1^2 - h_x^2}{2L} = q$$

Уравнение кривой депрессии для данного случая имеет вид

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{K_2 - K_1}{K_x - K_1} \cdot \frac{\ln \frac{K_x}{K_1}}{\ln \frac{K_2}{K_1}} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} x} \quad (45)$$

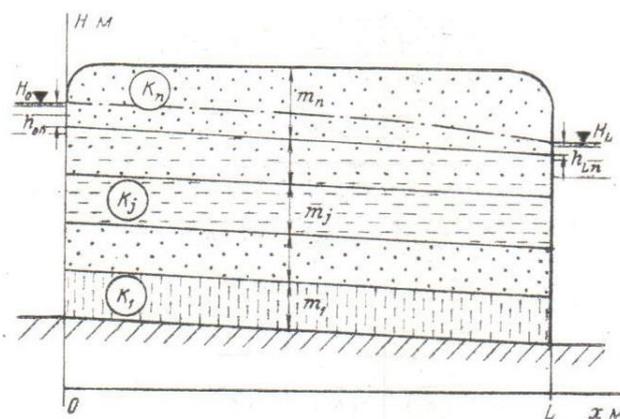
Примеры решения задач

Поперечная (слоистая) неоднородность.

Предположим, что необходимо определить количество воды, которое фильтруется из одной реки в другую через междуречье, и построить депрессионную кривую, если водоносный пласт состоит из нескольких слоев с разными коэффициентами фильтрации и сверху перекрыт водоупорной кровлей. Если уровни воды в реках расположены выше водоупорной кровли, то фильтрационный поток имеет напорный характер.

Предположим, что в состав водоносного пласта входит n слоев с коэффициентами фильтрации $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_n$ и мощностями $m_1, m_2, \dots, m_j, \dots, m_n$. Когда линии тока фильтрационного потока ориентированы вдоль слоев, единичный расход потока можно представить, как сумму единичных расходов отдельных слоев

$$q = \sum_{j=1}^n q_j = J \sum_{j=1}^n K_j m_j. \quad (46)$$



Расчетная схема линейных потоков подземных вод при поперечной (слоистой) неоднородности коллектора

Умножив и разделив правую часть этого уравнения на суммарную мощность пласта получим

$$q = \frac{\sum_{j=1}^n K_j m_j}{m} m \cdot J. \quad (47)$$

Из этого уравнения следует, что в случае поперечной (слоистой) неоднородности средний коэффициент фильтрации рассчитывается по уравнению

$$K_{\text{ср}} = \frac{(\sum_{j=1}^n m_j K_j)}{m} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j}{m} / \quad (48)$$

Это уравнение применимо лишь к фильтрационным потокам, в которых линии токов ориентированы вдоль отдельных слоев и не пересекают границы между ними. Поэтому оно может использоваться только в случае напорных фильтрационных потоков.

В случае безнапорных вод линии тока криволинейны и при поперечной неоднородности пересекают границы между слоями разной проницаемости. Поэтому использовать общий средний коэффициент фильтрации не рекомендуется.

При незначительных градиентах напора, когда уровень грунтовых вод не выходит за границы одного однородного по проницаемости слоя, можно допустить, что линии токов в остальных слоях ориентированы вдоль разделяющих их границ. Тогда общий расход водоносного пласта с поперечной (слоистой) неоднородностью можно представить, как сумму двух слагаемых:

расхода безнапорного потока в самом верхнем не полностью насыщенном слое и расхода остальных полностью насыщенных слоев.

Предположим, что междуречье сложено слоями пород разной проницаемости. Мощности слоев: $m_1, m_2, \dots, m_j, \dots, m_n$, соответствующие коэффициенты фильтрации: $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_n$. При этом уровни воды в реках, разделенных междуречьем, располагаются так, что самый верхний слой насыщен не полностью. Водонасыщенная часть его при $x=0$ равна h_{n0} , а при $x=L$ равна h_{nL} . В этом случае общий расход водоносного пласта можно представить, как сумму

$$q = q_n + \sum_{j=1}^{n-1} q_j. \quad (49)$$

Тогда

$$q = K_n \frac{h_{n0} + h_{nL}}{2} J + J \sum_{j=1}^{n-1} K_j m_j = \left(K_n \frac{h_{n0} + h_{nL}}{2} + \sum_{j=1}^{n-1} T_j \right) J. \quad (50)$$

Депрессионная кривая в этом случае строится относительно нижней границы верхнего водоносного слоя n согласно уравнению

$$i = \frac{z_L - z_0}{L} = \frac{H_L - h_L - H_0 + h_0}{L}.$$

В этом случае

$$h_{nx} = -\frac{ix}{2} + \sqrt{\left(h_{n0} - \frac{ix}{2} \right)^2 - \frac{2q_n}{K_n} x}. \quad (51)$$

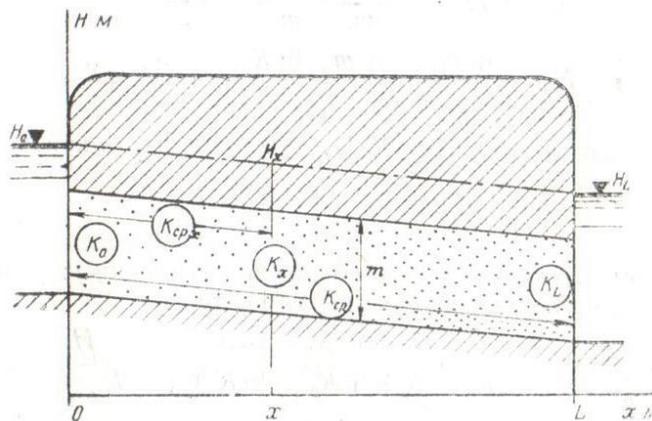
Продольная неоднородность.

При продольной неоднородности величина коэффициента фильтрации может меняться плавно и закономерно или резко и непоследовательно. Продольная неоднородность, при которой величина коэффициента фильтрации меняется постепенно, как функция пути фильтрации, называется упорядоченной. Продольная неоднородность при которой наблюдается чередование участков с разной, но относительно постоянной средней проницаемостью называется неупорядоченной.

Предположим, что на исследуемом нами междуречье коэффициент фильтрации меняется вдоль фильтрационного потока постепенно от значения K_0 при $x=0$ до K_L при $x=L$. Фильтрационный поток сверху ограничен

водоупорной кровлей и имеет постоянную мощность. Можно допустить присутствие линейной зависимости между K и x :

$$K_x = K_0 - \frac{K_0 - K_L}{L} x. \quad (52)$$



Расчетная схема линейного потока напорных подземных вод при продольной упорядоченной неоднородности коллектора

Тогда единичный расход в любом сечении x можно выразить в виде дифференциального уравнения

$$q = -K_x m \frac{dH}{dx} = -\left(K_0 - \frac{K_0 - K_L}{L} x\right) m \frac{dH}{dx}$$

или

$$-q \cdot \frac{dx}{m\left(K_0 - \frac{K_0 - K_L}{L} x\right)} = dH. \quad (53)$$

Интегрируя левую часть последнего уравнения в интервале значений x от 0 до L , а правую в интервале соответствующих значений гидростатического напора от H_0 до H_L и решая его относительно единичного расхода получим

$$q = m \frac{K_0 - K_L}{\ln K_0 - \ln K_L} \frac{H_0 - H_L}{L}. \quad (54)$$

Из уравнения 54 следует, что в случае продольной упорядоченной неоднородности средний коэффициент фильтрации можно рассчитывать, пользуясь уравнением

$$K_{ср} = \frac{K_0 - K_L}{\ln K_0 - \ln K_L}. \quad (55)$$

Это уравнение справедливо и для безнапорных вод. Поэтому для последних применимо уравнение

$$q = \frac{K_0 - K_L}{\ln K_0 - \ln K_L} \frac{h_0 + h_L}{2} \frac{H_0 - H_L}{L}. \quad (56)$$

В тех случаях, когда продольная упорядоченная неоднородность сопровождается изменением мощности водонасыщенного пласта, можно допустить линейную зависимость между водопроницаемостью ($T = mK$) и расстоянием фильтрации согласно уравнению $T_x = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{L} x$. В этом случае аналогичным образом можно показать справедливость уравнения

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_0 - T_L}{\ln T_0 - \ln T_L}. \quad (57)$$

При построении депрессионной кривой в условиях продольной упорядоченной неоднородности необходимо учитывать переменный характер величины среднего коэффициента фильтрации. В случае напорных подземных вод

$$H_x = H_0 - \frac{\ln m_0 - \ln m_x}{m_0 - m_x} \frac{q}{K_{\text{ср}}} x = H_0 - \frac{\ln m_0 - \ln m_x}{m_0 - m_x} \frac{\ln K_0 - \ln K_x}{K_0 - K_x} q \cdot x \quad (58)$$

Или пользуясь уравнением 57 можно записать короче

$$H_x = H_0 - \frac{\ln T_0 - \ln T_x}{T_0 - T_x} q \cdot x. \quad (59)$$

Если в этом уравнении выразить q через граничные условия при $x=0$ и $x=L$ согласно уравнению 54, тогда

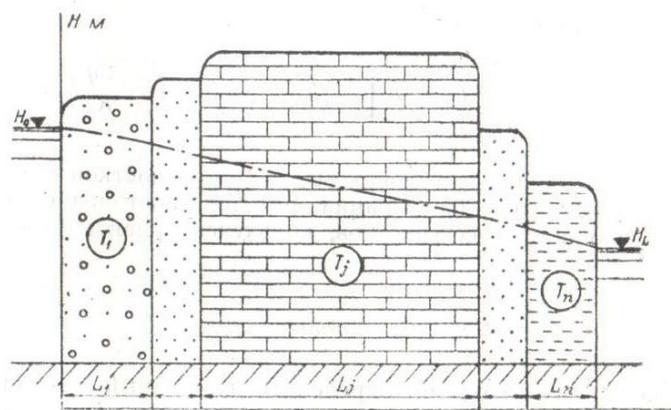
$$H_x = H_0 - \frac{(K_0 - K_L) (\ln K_0 - \ln K_x)}{(K_0 - K_x) (\ln K_0 - \ln K_L)} \frac{H_0 - H_L}{L} \cdot x. \quad (60)$$

В случае безнапорных подземных вод

$$H_x = H_0 - \left(h_0 - \frac{ix}{2} \right) + \sqrt{\left(h_0 - \frac{ix}{2} \right)^2 - 2q \frac{\ln K_0 - \ln K_x}{K_0 - K_x} x}. \quad (61)$$

Продольная неупорядоченная неоднородность.

Когда фильтрационные свойства коллектора меняются вдоль линий токов резко и неупорядоченно, вдоль потока выделяются участки в пределах которых величины коэффициентов можно принять постоянными. Таким образом весь поток делится внутренними границами четвертого рода на l участков длиной $L_1, L_2, \dots, L_j, \dots, L_l$. Каждый из них имеет свой средний коэффициент фильтрации $K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_l$.



Расчетная схема линейного потока безнапорных подземных вод при продольной неупорядоченной неоднородности коллектора

В этом случае единичный расход подземных вод в границах каждого отдельного участка можно определить через уравнение

$$q = T_j \frac{H_{j-1} - H_j}{L_j}. \quad (62)$$

Из этого уравнения следует, что

$$H_{j-1} - H_j = q \frac{L_j}{T_j}. \quad (63)$$

Так как величина на всех выделенных участках имеет одно и тоже значение, следовательно

$$q = \frac{H_0 - H_l}{\left(\sum_{j=1}^l \frac{L_j}{T_j}\right)} = L / \left(\sum_{j=1}^l \frac{L_j}{T_j}\right) \frac{(H_0 - H_l)}{L}. \quad (64)$$

Из этого уравнения следует, что в случае продольной неупорядоченной неоднородности среднему градиенту напора всего потока в целом соответствует

$$T_{\text{ср}} = \frac{L}{\left(\sum_{j=1}^l \frac{L_j}{T_j}\right)} = \left(\sum_{j=1}^l L_j\right) / \left(\sum_{j=1}^l \frac{L_j}{T_j}\right). \quad (65)$$

Если мощность пласта постоянна, то

$$T_{\text{ср}} = m \sum_{j=1}^l L_j / \sum_{j=1}^l \frac{L_j}{K_j}. \quad (66)$$

Поэтому средний коэффициент фильтрации в случае продольной упорядоченной неоднородности определяется уравнением

$$K_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^l L_j / \sum_{j=1}^l \frac{L_j}{K_j}. \quad (67)$$

В тех случаях, когда фильтрация подземных вод направлена перпендикулярно к напластованию, длины участков разной проницаемости равны мощности отдельных пластов ($L_j=m_j$). Поэтому при оценке перетока подземных вод через водоупорные комплексы

$$K_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^l m_j / \sum_{j=1}^l \frac{m_j}{K_j}. \quad (68)$$

Для построения депрессионной кривой в случае продольной неупорядоченной неоднородности прежде всего необходимо определить значения гидростатического напора в сечениях внутренних границ.

Если известна величина единичного расхода, то эти значения можно рассчитать, пользуясь рекуррентными уравнениями:

для напорных вод

$$H_j = H_{j-1} - \frac{L_j}{T_j} q$$

для безнапорных вод

$$H_j = H_{j-1} - \left(h_{j-1} - \frac{i}{2} L_j \right) + \sqrt{\left(h_{j-1} - \frac{i}{2} L_j \right)^2 - 2q \frac{L_j}{K_j}}. \quad (69)$$

Определив граничные условия выделенных участков с постоянными коэффициентами фильтрации, рассчитывают депрессионные кривые в границах этих участков, пользуясь уравнениями

$$H_x = H_0 - \frac{q}{Km} x = H_0 - \frac{H_0 - H_L}{L} x$$

или

$$H_x = H_0 - \left(h_0 - \frac{ix}{2} \right) + \sqrt{\left(h_0 - \frac{ix}{2} \right)^2 - \frac{2q}{K} x} \quad [8].$$

Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с постоянным расходом в неоднородных коллекторах»

Обязательным условием при решении задач является построение расчетной схемы.

Задача 1. Коренной берег речной долины сложен крупнозернистыми гравелистыми песками с коэффициентом фильтрации 24,6 м /сут. К коренному склону прислонена речная терраса шириной 75,0 м, сложенная мелкозернистыми аллювиальными песками с коэффициентом фильтрации 1,9 м/сут. Мощность водонасыщенных песков у уреза реки равна 7,4 м, а в скважине, расположенной в 400 м от реки, 20,1 м. Пески коренного берега и террасы подстилаются водонепроницаемыми глинами.

Определить единичный расход и мощность грунтового потока на границе песков разной проницаемости.

Задача 2. В скважинах, расположенных в 1400 м друг от друга, получены следующие данные: в скважине 1 водоносный пласт имеет мощность 4,6 м и коэффициент фильтрации 1,5 м/сут, а уровень воды поднялся до абсолютной отметки 165,6 м; в скважине 2 водоносный пласт имеет мощность 23,7 м и коэффициент фильтрации 10,5 м/сут, а уровень воды поднялся до абсолютной отметки 184,6 м.

Определить единичный расход потока и отметку пьезометрического уровня в 700 м от скважины 1.

Задача 3. Грунтовые воды заключены в неоднородных по фильтрационным свойствам песках. В скважине 1 вскрыт поток воды мощностью 6,5 м в тонкозернистых песках с коэффициентом фильтрации 2,3 м/сут. В скважине 2 вскрыт фильтрационный поток мощностью 16,1 м в крупнозернистых песках с коэффициентом фильтрации 25,3 м/сут. Пески меняют свои фильтрационные свойства постепенно и подстилаются горизонтально залегающими глинами. Скважины расположены в 550 м друг от друга.

Определить единичный расход грунтового потока и отметку его уровня на расстоянии 200 м от скважины 1.

Задача 4. Определить скорость перетока подземных вод из нижнего водоносного комплекса в верхний через пачку разделяющих их плохопроницаемых пород.

При вскрытии подземных вод уровни установилась в верхнем комплексе на отметке 118,6 м, в нижнем комплексе на отметке 120,8 м. Пачка плохо проницаемых пород включает суглинки мощностью 1,4 м с коэффициентом фильтрации 0,12 м/сут, супесь мощностью 4,8 м с коэффициентом фильтрации 0,92 м/сут и глину мощностью 3 см с коэффициентом фильтрации 0,044 м/сут.

Задача 5. В скважинах, расположенных на расстоянии 780 м друг от друга, получены следующие данные: в скважине 1 водоносный пласт имеет мощность 35,7 м и коэффициент фильтрации 7,2 м/сут, а уровень воды поднялся до абсолютной отметки 171,4 м; в скважине 2 водоносный пласт имеет мощность 14,6 м и коэффициент фильтрации 1,8 м/сут, а уровень воды поднялся до абсолютной отметки 168,1 м.

Определить единичный расход потока и пьезометрическую отметку уровня воды в 400 м от скважины 1.

Задача 6. Речная терраса шириной 38,0 м сложенная тонкозернистыми глинистыми песками, прислонена к коренному берегу долины, который сложен трещиноватыми мергелями. Коэффициент фильтрации песков 0,75 м/сут, коэффициент фильтрации мергелей 27,0 м/сут. У уреза реки мощность водонасыщенных песков равна 4,8 м, а в скважине, в 340 м от уреза реки, мощность водонасыщенной части мергелей 15,4 м. Пески и мергели подстилаются горизонтально залегающими глинами.

Определить единичный расход грунтового потока и его мощность на границе пластов разной водопроницаемости.

Задача 7. Грунтовые воды заключены в неоднородных по фильтрационным свойствам песках. В скважине 1 вскрыты грунтовые воды мощностью 14,6 м в тонкозернистых песках с коэффициентом фильтрации 0,85 м/сут. В скважине 2 обнаружен фильтрационный поток мощностью 6,4 м в крупнозернистых песках с коэффициентом фильтрации 21,8 м/сут. Пески подстилаются горизонтальным водоупором. Скважины расположены на расстоянии 620 м друг от друга.

Определить единичный расход грунтового потока и отметку его уровня на расстоянии 200 м от скважины 1.

Задача 8. Водонасыщенная толща из трех разных по водопроницаемости пластов вскрыта двумя скважинами, расположенными вдоль потока на расстоянии 800 м друг от друга. Нижний пласт имеет мощность 12,6 м и коэффициент фильтрации 5,3 м/сут. Средний пласт имеет мощность 0,6 м и коэффициент фильтрации 14,5 м/сут. Водонасыщенная часть верхнего пласта имеет мощность 8,6 м в скважине 1 и 1,3 м в скважине 2. Коэффициент фильтрации этого пласта равен 3,3 м/сут. Уровни подземных вод вскрыты на абсолютных отметках 107 м в скважине 1 и 104 м в скважине 2.

Определить единичный расход потока подземных вод.

Задача 9. Определить скорость перетока вод из нижнего водоносного комплекса в верхний через пачку плохо проницаемых пород. При вскрытии вода поднялась в верхнем водоносном комплексе до абсолютной отметки 112,5 м, а в нижнем – 98,4 м. Пачка плохо проницаемых пород включает средние суглинки мощностью 2,3 м с коэффициентом фильтрации 0,065 м/сут, тонкозернистый пылеватый песок мощностью 27,2 м с коэффициентом фильтрации 0,85 м/сут и глины мощностью 5 см с коэффициентом фильтрации 0,007 м/сут.

Задача 10. Речная терраса шириной 28,0 м, сложенная тонкозернистыми песками, прислонена к коренному берегу долины, который сложен плотными трещиноватыми мергелями. Коэффициент фильтрации песков 1,25 м/сут, а мергелей 25,0 м/сут. У уреза реки мощность водонасыщенных песков равна 5,8 м, а в скважине, в 430 м от уреза реки, мощность водонасыщенной части мергелей 16,5 м. Пески и мергели подстилаются горизонтально залегающими глинами.

Определить единичный расход и мощность грунтового потока на границе пластов разной водопроницаемости.

Задача 11. Определить единичный расход воды, фильтрующийся из водохранилища в соседнюю балку через разделяющий их водораздел шириной

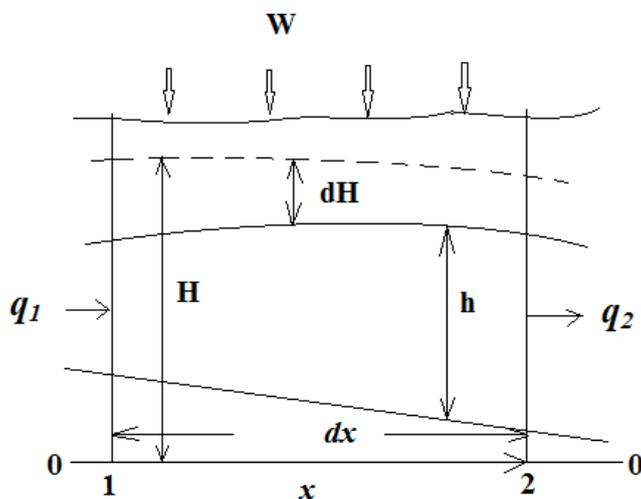
1200 м, и мощность грунтового потока на границе пород разной проницаемости.

Водораздел сложен толщей гравелистых песков с коэффициентом фильтрации 25,3 м/сут и супесями речной террасы шириной 43 м и коэффициентом фильтрации 1,2 м/сут. Пески и супеси подстилаются горизонтально залегающими глинами. Мощность водонасыщенных супесей террасы у реки равна 24,5 м. В балке воды выходят в виде цепочки нисходящих источников [8].

3. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ

Расход потока на пути фильтрации, как правило, меняет свои значения. На это оказывает влияние инфильтрация, конденсация и испарение влаги на свободной поверхности грунтовых вод.

Рассмотрим движение подземных вод при соблюдении следующих условий: поток одномерный $V_y=0$; $V_z=0$; фильтрационная среда однородная $K=const$; питание инфильтрационное W ; водоупор наклонный; соблюдается предпосылка Дюпюи (вертикальная составляющая фильтрационной скорости потока не учитывается ввиду ее незначительности, а горизонтальная принимается постоянной по глубине в каждом сечении); воды грунтовые; ширина потока 1 м; длина потока dx ; мощность потока h ; напор H .



*Расчетная схема линейного потока безнапорных подземных вод с
инфильтрационным питанием*

Выберем промежуток dx и рассмотрим баланс в этом элементе.

$$q_1 \cdot dt + W \cdot dx \cdot dt - q_2 \cdot dt = dV = (q_1 + W \cdot dx - q_2) \cdot dt \quad (70)$$

$$dH = \frac{\partial H}{\partial t} dt$$

$$dV = \mu \frac{\partial H}{\partial t} dt \cdot dx, \quad (71)$$

μ - коэффициент водоотдачи.

Приравняем (70) и (71) и сократим на dt .

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} dx = q_1 + W dx - q_2 \quad - \text{уравнение баланса} \quad (72)$$

$$q_1 = -Kh \frac{\partial H}{\partial x} \quad - \text{единичный расход потока на 1 м ширины} \quad (73)$$

$$q_2 = q_1 + dq_1 = q_1 + \frac{\partial q_1}{\partial x} dx \quad (74)$$

Уравнение (73) подставляем в формулу (74)

$$q_2 = -Kh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-Kh \frac{\partial H}{\partial x} \right) dx = -Kh \frac{\partial H}{\partial x} - K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) dx \quad (75)$$

Подставляем формулу (73) и (75) в уравнение баланса (72)

$$-Kh \frac{\partial H}{\partial x} + W dx - \left[-Kh \frac{\partial H}{\partial x} - K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) dx \right] = \mu \frac{\partial H}{\partial t} dx \quad (76)$$

$$\boxed{K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t}} \quad (77)$$

- Основное уравнение неустановившегося движения – уравнение Буссинеска.

Встречающиеся случаи:

- 1) двумерное движение

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + K \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial H}{\partial y} \right) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (78)$$

- 2) неоднородная среда (вводим коэффициент фильтрации под знак дифференциала $Kh=T$ (коэффициент водопроницаемости))

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (79)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (80)$$

- 3) горизонтальный водоупор ($H=h$)

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + W = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \quad (81)$$

- 4) установившееся движение (уровень не изменяется) $\mu \frac{\partial H}{\partial t} = 0$

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + W = 0 \quad (82)$$

Уравнение (80) приобретает вид

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + K \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial H}{\partial y} \right) + W = 0 \quad (83)$$

- 5) водопроницаемость потока постоянна ($T=\text{const}$)

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{W}{T} = 0 \quad (84)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{W}{T} = 0$$

- 6) инфильтрация отсутствует, т.е. $W=0$ и получаем уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = 0 \quad (85)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0$$

Уравнение Буссинеска (77) является нелинейным, поэтому его решение даже при сравнительно простых начально-краевых условиях связано со

значительными математическими трудностями. Приведение нелинейного уравнения к линейному виду называется *линеаризация*, путем выведения одной переменной из-под знака дифференциала. h или T заменяют какой-то постоянной величиной, например, h_{cp} или T_{cp} .

$$\frac{kh}{\mu} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{W}{\mu} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (86)$$

$$\frac{kh}{\mu} = \frac{T}{\mu} = a \quad (87)$$

a - коэффициент уровнепроводности – характеризует скорость изменения уровня в потоке грунтовых вод.

$$a \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{W}{\mu} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (88)$$

Для двухмерного потока

$$a \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \right) + \frac{W}{\mu} = \frac{\partial H}{\partial t} \quad (89)$$

Уравнение неустановившегося движения подземных вод в конечных разностях.

Метод конечных разностей – метод расчета по уравнению, в котором бесконечно малые величины заменяются малыми, но конечными величинами; в гидрогеологии, по предложению Г.Н. Каменского применяется для расчетов неустановившегося движения грунтовых вод. Гидродинамические расчеты по прогнозу и оценке условий неустановившейся фильтрации подземных вод выполняются с учетом фактора времени. При этом искомые значения параметров потока подземных вод определяются как функции координат пространства и времени.

Г.Н. Каменский применил для решения пределы $\lim \frac{\Delta H}{\Delta x}$ и $\frac{\Delta H}{\Delta t}$, поток рассматривается как полоса шириной 1 м.

Рассмотрим баланс воды в элементе за промежуток Δt

$$\Delta V = q_1 \cdot \Delta t + W \frac{l_{12} + l_{23}}{2} \Delta t - q_2 \cdot \Delta t = \left(q_1 + \frac{l_{12} + l_{23}}{2} W - q_2 \right) \Delta t \quad (90)$$

$$\Delta V = \mu \cdot \Delta H_2 \frac{l_{12} + l_{23}}{2} \quad (91)$$

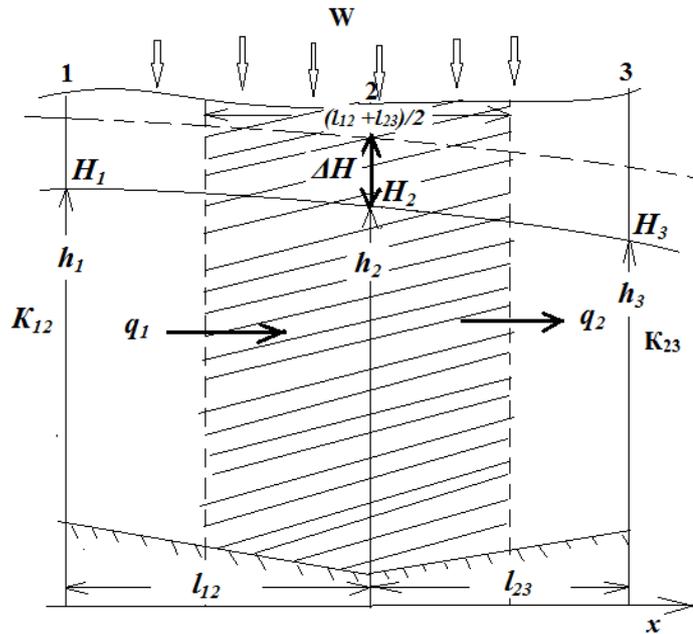
μ - коэффициент водоотдачи (недостатка насыщения)

$$\mu \cdot \Delta H_2 \frac{l_{12} + l_{23}}{2} = \left(q_1 - q_2 + \frac{l_{12} + l_{23}}{2} W \right) \Delta t \quad (92)$$

$$\Delta H_2 = H_{2,s+1} - H_{2,s} \quad (93)$$

$s+1$ – конечный момент времени

s – начальный момент времени



Расчетная схема линейного потока безнапорных подземных вод для решения методом конечных разностей

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= K_{12} \frac{h_{1,s} + h_{2,s}}{2} \frac{H_{1,s} - H_{2,s}}{l_{12}} \\ q_2 &= K_{23} \frac{h_{2,s} + h_{3,s}}{2} \frac{H_{2,s} - H_{3,s}}{l_{23}} \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

$$\mu \frac{(H_{2,s+1} - H_{2,s})}{\Delta t} = \frac{K_{12} \frac{h_{1,s} + h_{2,s}}{2} \frac{H_{1,s} - H_{2,s}}{l_{12}} - K_{23} \frac{h_{2,s} + h_{3,s}}{2} \frac{H_{2,s} - H_{3,s}}{l_{23}} + W \frac{l_{12} + l_{23}}{2}}{\frac{l_{12} + l_{23}}{2}} \quad (95)$$

$$\mu \frac{(H_{2,s+1} - H_{2,s})}{\Delta t} = \frac{1}{l_{12} + l_{23}} \left[K_{12} \frac{(h_{1,s} + h_{2,s})(H_{1,s} - H_{2,s})}{l_{12}} - K_{23} \frac{(h_{2,s} + h_{3,s})(H_{2,s} - H_{3,s})}{l_{23}} \right] + W \quad (96)$$

$H=h$

$$\mu \frac{(h_{2,s+1} - h_{2,s})}{\Delta t} = \frac{1}{l_{12} + l_{23}} \left(K_{12} \frac{(h_{1,s}^2 + h_{2,s}^2)}{l_{12}} - K_{23} \frac{(h_{2,s}^2 + h_{3,s}^2)}{l_{23}} \right) + W \quad (97)$$

Обычно выбирают один интервал по пространству. Допустим среда однородная. Мощность слоя однородная

$$\left. \begin{aligned} l_{12} = l_{23} = \Delta x \\ K_{12} = K_{23} \\ \frac{h_{1,s}+h_{2,s}}{2} \approx \frac{h_{2,s}+h_{3,s}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (98)$$

$$\mu \frac{(H_{2,s+1} - H_{2,s})}{\Delta t} = 2 \frac{K h_{cp}}{\Delta x^2} (H_{1,s} - 2H_{2,s} + H_{3,s}) + W \quad (99)$$

$$H_{2,s+1} - H_{2,s} = \frac{2K h_{cp} \Delta t}{\mu \Delta x^2} \left(\frac{H_{1,s} + H_{3,s}}{2} - H_{2,s} \right) + \frac{W \Delta t}{\mu} \quad (100)$$

Для горизонтального водоупора

$$h_{2,s+1} - h_{2,s} = \frac{2K h_{cp} \Delta t}{\mu \Delta x^2} \left(\frac{h_{1,s} + h_{3,s}}{2} - h_{2,s} \right) + \frac{W \Delta t}{\mu} \quad (101)$$

Δx и Δt подбираем таким образом, что

$$\frac{2K h_{cp} \Delta t}{\mu \Delta x^2} = 1 \quad (102)$$

Тогда уравнение 100 преобразуется

$$H_{2,s+1} - H_{2,s} = \frac{H_{1,s} + H_{3,s}}{2} - H_{2,s} + \frac{W \Delta t}{\mu} \quad (103)$$

$$H_{2,s+1} = \frac{H_{1,s} + H_{3,s}}{2} + \frac{W \Delta t}{\mu} \quad (104)$$

Для горизонтального водоупора

$$\boxed{h_{2,s+1} = \frac{h_{1,s} + h_{3,s}}{2} + \frac{W \Delta t}{\mu}} \quad \text{формула Каменского} \quad (105)$$

Уровень воды в среднем сечении на конечный момент времени равен среднему уровню из соседних сечений. Часть уровня вызвана инфильтрацией.

Такие модели используются для прогноза затопления при строительстве водохранилищ и при расчете инфильтрационного питания.

При наличии фильтрационного питания величина единичного расхода не постоянна, а является функцией x . Сечение, в котором единичный расход равен 0, называется водоразделом. Расстояние до водораздела от начала координат ($x=b$) определяется уравнением

$$b = \frac{L}{2} - \frac{K}{w} \frac{h_1 + h_L}{2} \frac{H_1 - H_l}{L} \quad (106)$$

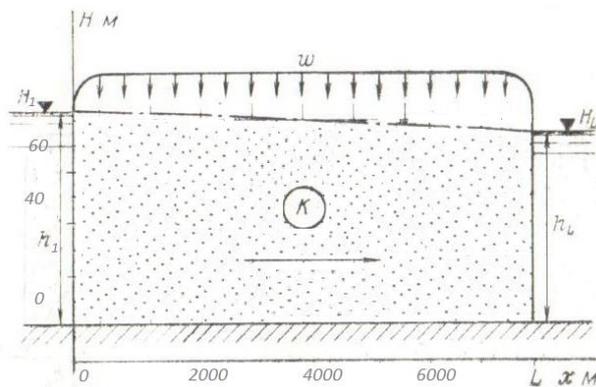
Водораздел на междуречье смещается в сторону той реки, в которой уровень поднимается быстрее.

Примеры решения задач

Задача 1. Междуречье шириной 8 км сложено супесями, которые подстилаются плотными горизонтально залегающими водоупорными породами. Мощность водонасыщенных супесей у рек равна 73,0 м и 65,0 м. Коэффициент фильтрации 23 м/сут. В инфильтрационном питании участвует лишь 25% годового количества осадков, которое достигает 530 мм.

Необходимо определить единичный расход подземных вод в реке и построить депрессионную кривую.

Решение. Имеем линейный неограниченный поток с параметрами: $L=8000$ м; $K=23$ м/сут; $h_1=73,0$ м; $h_L=65,0$ м; $w=0,53 \cdot 0,25/365=3,63 \cdot 10^{-4}$ м/сут; $i=0$.



Расчетная схема задачи 1

Величина единичного расхода является функцией расстояния от начала координат, т.к. инфильтрация не равна нулю. Единичный расход в левую реку соответствует $x=0$. Поэтому согласно уравнению

$$q_x = K \frac{h_1 + h_L}{2} \frac{H_1 - H_L}{L} = \frac{L}{2} w + x \cdot w \quad (107)$$

при горизонтальном водоупорном ложе

$$q_x = K \frac{h_1^2 - h_L^2}{2L} - \frac{L}{2} w + x \cdot w, \quad (108)$$

единичный расход в левую реку определяется уравнением

$$q_1 = 23 \frac{73^2 - 65^2}{2 \cdot 8000} - \frac{8000}{2} 3,63 \cdot 10^{-4} = 0,14 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Единичный расход подземных вод в правую реку соответствует $x=L$.

Поэтому

$$q_{8000} = K \frac{h_1^2 - h_L^2}{2L} + \frac{L}{2} w = 23 \frac{73^2 - 65^2}{2 \cdot 8000} + \frac{8000}{2} 3,63 \cdot 10^{-4} = 3,04 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Единичные расходы имеют положительные значения. Это значит, что подземные воды перетекают из левой реки в правую и водораздел между ними отсутствует.

Для построения депрессионной кривой при разных значениях x вычисляем мощность фильтрационного потока по уравнению

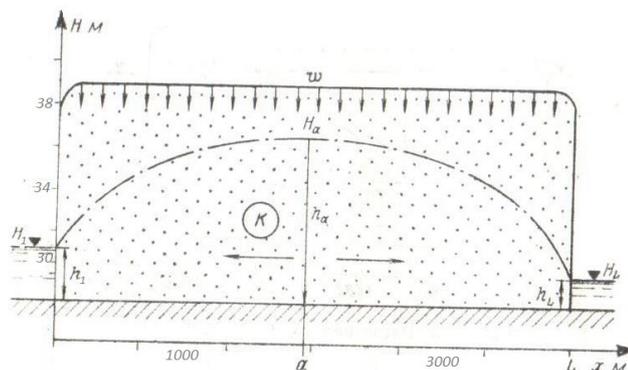
$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{2q_1}{K}x - \frac{w}{K}x^2} = \sqrt{73^2 - \frac{2 \cdot 0,14}{23}x - \frac{3,63 \cdot 10^{-4}}{23}x^2}$$

$$= \sqrt{5329 - 1,22 \cdot 10^{-2}x - 1,6 \cdot 10^{-5}x^2}$$

Задача 2. Междуречный массив шириной 4 км сложен аллювиальными песками, коэффициент фильтрации которых в среднем равен 23 м/сут. Уровни воды в реках находятся на отметках 30,4 и 28,6 м. водоупорное ложе горизонтальное и имеет отметку 25,6 м. Инфильтрационное питание составляет 30% от годового количества осадков (460 мм).

Необходимо определить единичные расходы в реках и положение водораздела.

Решение. Имеем линейный неограниченный фильтрационный поток безнапорных вод с инфильтрационным питанием и параметрами: $L=4000$ м; $K=23$ м/сут; $h_1=30,4-25,6=4,8$ м; $h_L=28,6-25,6=3$ м; $w=0,46 \cdot 0,25/365=3,15 \cdot 10^{-4}$ м/сут; $i=0$.



Расчетная схема задачи 2

Аналогично задаче 1

$$q_1 = 23 \frac{4,8^2 - 3^2}{2 \cdot 4000} - \frac{4000}{2} 3,15 \cdot 10^{-4} = -0,59 \text{ м}^2/\text{сут}$$

$$q_{4000} = 23 \frac{4,8^2 - 3^2}{2 \cdot 4000} + \frac{4000}{2} 3,15 \cdot 10^{-4} = 0,67 \text{ м}^2/\text{сут}$$

В этом случае величины единичных расходов воды имеют разные знаки. Это свидетельствует о разгрузке подземных вод в обе реки и о наличии водораздела подземных вод на междуречье. Расстояние до водораздела от уреза левой реки, согласно уравнению 106, равно

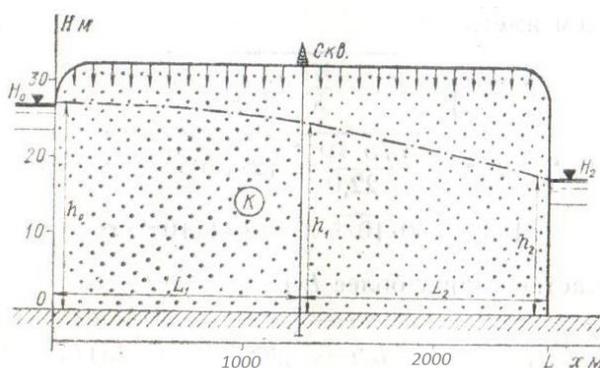
$$b = \frac{L}{2} - \frac{K}{w} \frac{h_1^2 - h_L^2}{2L} = \frac{4000}{2} - \frac{23}{3,15 \cdot 10^{-4}} \frac{4,8^2 - 3^2}{2 \cdot 4000} = 1872 \text{ м}$$

Водораздел сдвинут от середины междуречья в сторону реки с более высокой отметкой.

Задача 3. Междуречье сложено песками с коэффициентом фильтрации 6,0 м/сут, которые на отметке 50,0 м подстилаются горизонтально залегающими глинами. Уровень воды в реках, разделенных междуречьем равен соответственно 77,0 м и 68,0 м. расстояние между реками 2,5 км. Среднегодовое количество осадков 540 мм.

Необходимо определить величину инфильтрационного питания как долю количества осадков, если известно, что в скважине, пробуренной на середине междуречья, уровень воды вскрыт на отметке 75,1 м.

Решение. Имеем линейный неограниченный поток безнапорных вод с параметрами: $L_1=L_2=1250$ м; $K=6$ м/сут; $h_0=77,0-50,0=27,0$ м; $h_1=75,1-50,0=25,1$ м; $h_L=h_2=68,0-50,0=18,0$ м; $i=0$.



Расчетная схема задачи 3

Единичный расход в сечении скважины можно оценить в границах участка L_1 и L_2 . В первом случае

$$q_1 = K \frac{h_0^2 - h_1^2}{2L_1} + \frac{L_1}{2} w$$

Во втором случае

$$q_1 = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_2} - \frac{L_2}{2} w$$

В этих двух уравнениях только q_1 и w остаются неизвестными. Решая их относительно w , получим

$$w = \frac{K}{L} \left(\frac{h_1^2 - h_2^2}{L_2} - \frac{h_0^2 - h_1^2}{L_1} \right) = \frac{6}{2500} \left(\frac{25,1^2 - 18^2}{1250} - \frac{27^2 - 25,1^2}{1250} \right) \\ = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут}$$

Это инфильтрационное питание составляет 26,9% от атмосферных осадков, равных 540 мм в год [8].

Задачи для самостоятельного решения по теме «Фильтрационные потоки подземных вод с переменным расходом»

Обязательным условием при решении задач является построение расчетной схемы.

Задача 1. Определить величины единичного расхода подземных вод в реки, разделенные междуречьем шириной 10 км, и построить кривую депрессии грунтовых вод.

Грунтовые воды содержатся в трещиноватых известняках с коэффициентом фильтрации 30,0 м/сут, которые подстилаются горизонтально залегающими глинами. Мощность водонасыщенной части пласта у урезов рек равна 90,0 и 80,0 м. Годовое количество атмосферных осадков 400 мм. В инфильтрационном питании принимает участие 30% этих осадков.

Задача 2. Междуречный массив шириной 3 км сложен древнеаллювиальными песками, коэффициент фильтрации которых 26,0 м/сут. Уровни воды в обеих реках находятся на абсолютных отметках 16,0 м. Инфильтрационное питание грунтовых вод составляет 36% от количества

годовых осадков, равного 600 мм. Водоупорное ложе залегает горизонтально на отметке 14,2 м.

Определить расстояние до водораздела и построить кривую депрессии грунтового потока.

Задача 3. Водоносный пласт с коэффициентом фильтрации 4,8 м/сут подстилается горизонтальным водоупором. Расстояние между урезами рек 3 км. Мощность грунтового потока у рек 20,5 и 12,4 м. В инфильтрационном питании участвует 15% годового количества осадков, которое равно 383 мм.

Необходимо определить положение водораздела грунтовых вод на междуречье, единичные расходы подземных вод в реки и построить депрессионную кривую.

Задача 4. Речная терраса шириной 50,0 м сложена тонкозернистыми глинистыми песками с коэффициентом фильтрации 0,7 м/сут. Терраса прислонена к коренному берегу, сложенному трещиноватыми мергелями с коэффициентом фильтрации 24,0 м/сут. Водоупорным ложем служат горизонтально залегающие глины. Мощность водонасыщенных песков у уреза реки 4,8 м, а мощность водонасыщенных мергелей в скважине, в 360 м от реки, 15,4 м.

Определить единичный расход подземных вод в реку, положение уровня грунтовых вод на границе пород разной проницаемости, если инфильтрационное питание на коренном берегу равно 0,00062 м/сут, а на террасе в 2,2 раза меньше.

Задача 5. Междуречный массив шириной 3,8 км сложен древнеаллювиальными отложениями с коэффициентом фильтрации 22,0 м/сут. Уровни воды в реках находятся на одинаковой отметке 91,2 м. Среднегодовое количество атмосферных осадков на междуречье равно 660 мм. Массив частично перекрыт моренными глинами, поэтому 1,4 км его ширины имеет инфильтрационное питание 8%, а на остальной части 28% от атмосферных осадков. Водоупорное ложе залегает горизонтально на отметке 79,2 м.

Необходимо определить отметку уровня грунтовых вод на водоразделе и в середине междуречья.

Задача 6. Определить величину инфильтрационного питания (в процентах от годового количества осадков) для междуречья шириной 2800 м. Построить депрессионную кривую уровня грунтовых вод.

Коэффициент фильтрации водоносных песков равен 7,0 м/сут. Пески залегают на горизонтальном водоупоре на абсолютной отметке 41,0 м. На междуречном массиве на расстоянии 1240 м от реки с более высоким уровнем воды пробурена скважина. Уровни воды находятся в реках на отметках 67, 0 и 48,0 м, а в скважине на отметке 68,0 м. Среднегодовое количество атмосферных осадков равно 460 мм.

Задача 7. Определить величину инфильтрации (в процентах от годового количества осадков) для междуречья, сложенного песками с коэффициентом фильтрации 6,0 м/сут. Построить депрессионную кривую уровня грунтовых вод.

Расстояние между урезами рек 2900 м. Абсолютные отметки уреза воды в реках 47,0 и 28,0 м. Водоупор горизонтальный и подстилает пески на абсолютной отметке 21,0 м. В междуречном массиве на расстоянии 1240 м от реки с более высоким уровнем воды пробурена скважина. Эта скважина вскрыла подземные воды на абсолютной отметке 48,0 м. Среднегодовое количество атмосферных осадков равно 550 мм.

Задача 8. Определить величину инфильтрации (мм/год) для междуречного массива, сложенного песками с коэффициентом фильтрации 6,0 м/сут.

Расстояние между урезами рек 2800 м. Абсолютные отметки уреза воды в реках 37,0 и 18,0 м. Водоупор горизонтальный и залегают на абсолютной отметке 11,0 м. В междуречном массиве на расстоянии 1240 м от реки с более высоким уровнем воды пробурена скважина. Эта скважина вскрыла подземные воды на абсолютной отметке 38,0 м.

Построить депрессионную кривую уровня грунтовых вод.

Задача 9. Определить положение уровня грунтовых вод в аллювиальных отложениях между рекой и осушительным каналом на водоразделе и на расстоянии 343, 760, 984, 1248 м от реки.

Расстояние от реки до канала равно 1722 м. Уровни воды в реке и канале находятся соответственно на абсолютных отметках 53,0 и 52,6 м. Водоупорное ложе располагается на отметках 40,0 м у реки и 43,7 м у канала. Коэффициент фильтрации аллювиальной толщи равен в среднем 10,0 м/сут. Среднегодовое количество атмосферных осадков равно 458 мм. В инфильтрационном питании участвует 35 % этих осадков.

Задача 10. Междуречный массив шириной 2400 м сложен песками с коэффициентом фильтрации 12,0 м/сут. Абсолютные отметки уровня воды в реках 37,5 и 38,6 м. Водоупорное ложе горизонтальное и располагается на отметке 26,0 м. Инфильтрационное питание составляет 45% от среднегодовой величины атмосферных осадков, равной 892 мм.

Определить величины перемещения водораздела и ординаты уровня воды на нем при повышении уровня воды в одной из рек на 5,0 м.

Задача 11. Необходимо построить депрессионную кривую грунтовых вод между двумя осушительными каналами аллювиальной долины и определить единичный расход этих вод в каналы.

Ширина осушаемого участка между каналами 1000 м. Коэффициент фильтрации водоносных песков 8,0 м/сут. Годовое количество осадков составляет 550 мм. В инфильтрации участвует 30% этих осадков. Уровни воды в каналах находятся на отметках 87,4 и 84,9 м. Водоупор горизонтальный с абсолютной отметкой 74,6 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавич И.И, Лучшева А.А., Семенова-Ерофеева С.М. Сборник задач по общей гидрогеологии. Москва : Недра, 1985. 412 с.
2. Гледко, Ю.А. Гидрогеология [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.А. Гледко. – Минск: Выш. шк., 2012. – 446 с.: ил. - ISBN 978-985-06-2126-9 <http://znanium.com/bookread2.php?book=508532>
3. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод: Монография / С.О. Гриневский. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 152 с.: 60x88 1/16. - (Научная мысль; Гидрогеология). (обложка) ISBN 978-5-16- 005256-4, 100 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=413174>
4. Морозов П.Н. Подземный сток и методы его определения (конспект лекций). – Л.: ЛГМИ, 1975. – 59 с.
5. Основы гидрогеологии : общая гидрогеология / Е. В. Пиннекер; Б. И. Писарский; С. Л. Шварцев .— Новосибирск : Наука : Сибирское отделение, 1980 .— 231 с. : ил. ; 27 см. — Авт. указаны на обороте тит. л. — 2 р. 70 к. (7 экз.)
6. Основы гидрогеологии : учебник для аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Геология" и специальностям "Гидрогеология и инженерная геология", "Экологическая геология", "Гидрогеология", "Геоэкология" / В.А. Всеволожский ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Изд-во Московского университета, 2007. — 448 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=10105
7. Предельский Л.В. Инженерная геология: Учебник / Л.В. Предельский, О.Е. Приходченко. Ростов-на-Дону: Феникс, 2009, 465 с.
8. Тихомиров В.В., Болотникова И.В. Практикум по инженерной гидрогеологии. – Л.: ЛГМИ, 1990. 254 с.
9. Чернышев С.Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии: Учебн. пособие / Чернышев С.Н., Чумаченко А.Н., Ревелис И.Л. – М.: Высшая школа, 2001, 254 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

«Интернет»

1. Консультант студента. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru>
2. Лань: электронная библиотека. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com>
3. Методические рекомендации по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293787/4293787480.htm>
4. Научная библиотека ДВФУ. – Режим доступа: <http://www.dvfu.ru/web/library/nb1>
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY. – Режим доступа: www.elibrary.ru
6. Образовательный геологический сайт. – Режим доступа: https://popovgeo.sfedu.ru/lecture_1
7. ЮРАЙТ: электронная библиотека. – Режим доступа: <https://www.biblioonline.ru>