НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»
кафедра: «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Дисциплина «Гидрогеология»

Образовательная программа 6В07201 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Лекция «Движение подземных вод»

1 часть

Разработчики:
Пономарева Е.В., PhD, ассоциированный профессор (доцент) кафедры ГРМПИ
Пономарева М.В., профессор кафедры ГРМПИ

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Общие понятия о движении подземных вод
2. Классификация подземных потоков

Подземные воды в большинстве случаев находятся в движении.

Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, называется динамикой подземных вод.

Подземные воды могут передвигаться в горных породах как путем *инфильтрации*, так и *фильтрации*.

При *инфильтрации* передвижение воды происходит при частичном заполнении пор воздухом или водяными парами, что обычно наблюдается в зоне аэрации. При *фильтрации* движение воды происходит при полном заполнении пор или трещин водой. Масса этой движущейся воды создает *фильтрационный поток*.

Законы движения подземных вод применяются при гидрогеологических расчетах водозаборов, дренажей, определения запасов подземных вод и т.п.

Движение подземных вод может быть:

– *установившимся, неустановившимся и переменным;*

– *напорным, безнапорным и напорно-безнапорными;*

– *ламинарным (параллельно-струйчатым) и турбулентным (вихревым)*.

При *установившемся движении* все элементы фильтрационного потока (*скорость, расход, направление* и др.) не изменяются во времени. Во многих случаях эти изменения настолько малы, что для практических целей ими можно пренебречь.

Фильтрационный поток называется неустановившимся, если основные его элементы изменяются не только от координат пространства, но и от времени.

Подземный поток становится переменным, то есть приобретает неустановившийся характер движения под действием различных естественных и искусственных факторов (неравномерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации и т. д.).

Для *безнапорных потоков* характерно неполное заполнение водой поперечного сечения водопроницаемого пласта.

Безнапорные потоки имеют свободную поверхность, движение воды в них происходит под действием силы тяжести.

Напорные потоки характеризуются полным заполнением поперечного сечения водопроницаемого пласта водой, имеется пьезометрический уровень, движение воды происходит как под действием силы тяжести, так и за счет упругих свойств воды и водовмещающих пород.

Напорно-безнапорные потоки образуются при откачке воды из скважин, если пьезометрический уровень опускается ниже кровли напорного водоносного пласта.

При *ламинарном движении* струйки воды передвигаются без завихрений, параллельно друг другу. Ламинарный характер движения воды наблюдается не только в пористых, но и в трещиноватых породах с коэффициентом фильтрации до 300–400 м/сут. В породах с крупными трещинами и пустотами, с коэффициентом фильтрации более 300–400 м/сутки, а также в хорошо промытых галечниках движение воды в отдельных случаях носит *вихревой характер*, или *турбулентный*. Этот тип движения в горных породах наблюдается сравнительно редко.

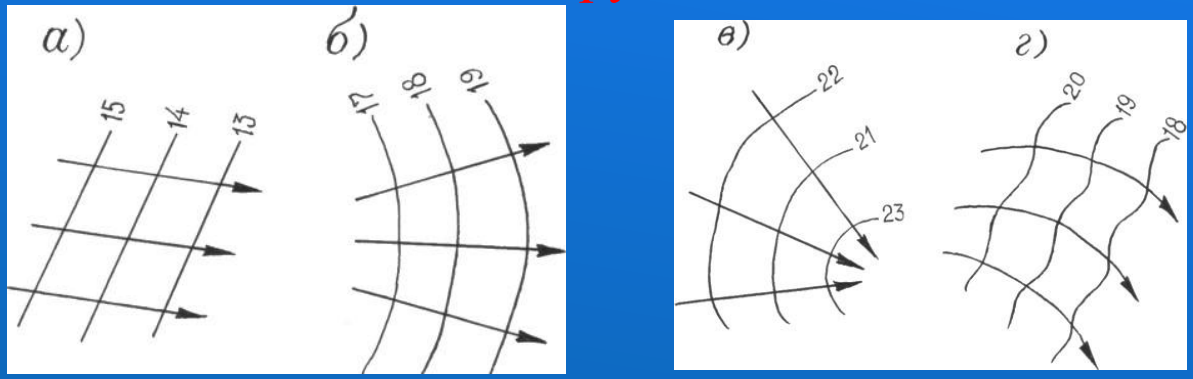
Фильтрационные потоки в плане можно рассматривать как *плоские* или *радиальные*.

Плоским называется поток подземных вод, в котором струйки направлены более или менее параллельно друг другу.

Радиальный поток отличается различным направлением струек: сходящимся или расходящимся. Примером радиального потока может служить движение грунтовых вод при откачке воды из скважины.

Фильтрационные потоки в плане можно рассматривать как плоские (струйки направлены более или менее параллельно друг другу), так и радиальные (сходящиеся или расходящиеся) и криволинейные.

Потоки грунтовых вод



а)- плоский; б) – радиальный расходящийся; в) – радиальный сходящийся; г) – криволинейный

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Фильтрационные подземные потоки как в плане, так и в разрезе имеют естественные границы. Границами *напорного* потока в разрезе служат *нижний* и *верхний водоупор*, а *безнапорного* – *водоупор (снизу)* и *свободная поверхность (сверху)*. Границей потоков в разрезе может быть также плоскость раздела пород с различной водопроницаемостью.

Решение задач о движении подземных вод, выбор метода гидрогеологического расчета и расчетной схемы производят на основе схематизации природных гидрогеологических условий.

При этом учитывают основные особенности фильтрационного потока подземных вод (характер движения, гидравлические характеристики, фильтрационные свойства пород, границы водоносных горизонтов и т.д).

В зависимости от степени учета особенностей потока подземных вод решение конкретных фильтрационных задач выполняется на основе простых или строгих аналитических или численных методов.

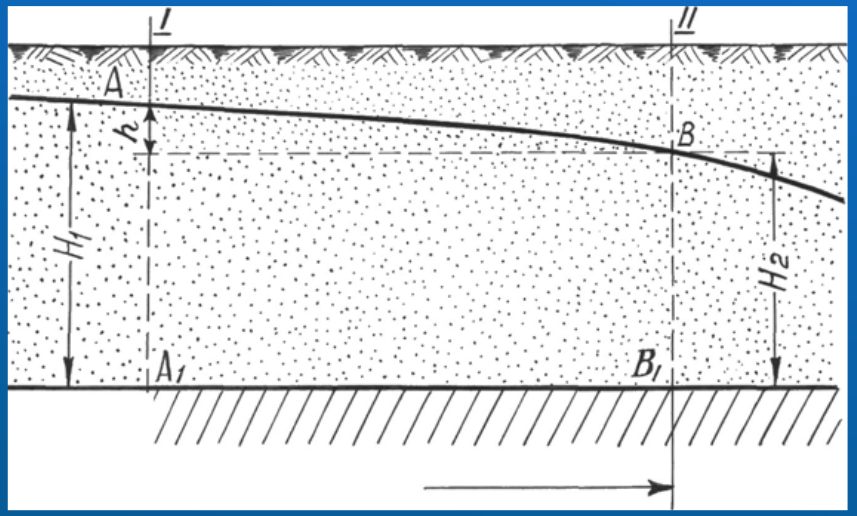
В особо сложных случаях используют методы моделирования, что позволяет наиболее полно учитывать сложные природные условия, что повышает достоверность гидрогеологических прогнозов.

Основные законы движения подземных вод

Движение воды в горных породах происходит при разности уровней ее в двух сечениях. Разность уровней $h = H_1 - H_2$ создает напор, под действием которого вода от сечения *I* движется в направлении сечения *II*.

Скорость подземного потока *v* зависит от напора и длины пути фильтрации *L*. С увеличением напора она возрастает, а с увеличением пути фильтрации уменьшается.

Гидравлический уклон (гидравлический градиент) выражает падение напора воды на единицу пути фильтрации и вычисляется как отношение напора к длине пути: $I=h/l$.



Разрез участка подземного потока

AB – уровень подземных вод;
$A_1 B_1$ – водоупорное ложе;
h – напор;
l – длина пути фильтрации между сечениями *I* и *II*

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Линейный закон фильтрации (закон Дарси)

Движение подземных вод в пористых породах (песок, галечник, супеси, суглинки) имеет ламинарный (параллельно струйчатый) характер, то есть без разрывов, с плавным изменением скорости, и подчиняется *основному закону фильтрации – закону Дарси*.

Ламинарный характер движения обычно наблюдается и в трещиноватых породах при небольшой ширине трещин, а в ряде случаев и в кавернозных известняках.

Закон Дарси выражается формулой: $Q = kF(h/l)$,

где Q – расход (количество фильтрующейся воды в единицу времени, м^3/сутки); k – коэффициент фильтрации, м/сутки; F – площадь поперечного сечения потока, м^2; h – напор или разность уровней в двух сечениях; l – длина пути фильтрации, м.

Так как $h/l = I$, получим $Q = kFI$.

Если обе части равенства разделить на F и учесть при этом, что $Q/F = v$, получим $v = kI$, где v – скорость фильтрации.

Уравнение показывает, что *при ламинарном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в первой степени.*

Скорость фильтрации по формуле $v = Q/F$ не отвечает действительной скорости движения воды в породе.

Это связано с тем, что в формулу входит величина F, отражающая все сечение фильтрующейся породы, а вода, течет лишь через часть сечения, равную площади пор и трещин породы. Поэтому величина v является *кажущейся*.

Действительную скорость движения воды $v_д$ определяют с учетом пористости породы $v_д = Q/F_n = v/n$, где n – пористость, выраженная в долях единицы.

Так как величина пористости всегда меньше единицы, то действительная скорость движения воды всегда значительно выше скорости фильтрации (примерно в 3-4 раза). Например, в галечниках при n = 0,25 действительная скорость движения подземных вод будет в 4 раза выше скорости фильтрации.

В глинистых породах часть пор занята связанной водой и вода передвигается только через открытые поры, поэтому в данном случае в формулу вводят не n, а $n_{акт}$ (*активную пористость*).

Движение подземных вод в грубообломочных и сильно трещиноватых скальных породах с крупными пустотами большой протяженности имеет *турбулентный* (вихревой) характер. *Движение турбулентного потока не подчиняется закону Дарси*. Для выражения фильтрации воды в породах с крупными пустотами и трещинами, в хорошо промытых галечниках, в трубах и каналах, А.А. Краснопольский предложил формулу, характеризующую нелинейный закон фильтрации.

Формула А. А. Краснопольского:

$$v = k_k \sqrt{I} = k_k I^{\frac{1}{2}}$$

где k_k – коэффициент фильтрации породы в формуле Краснопольского, определяемый опытным путем в поле; I – гидравлический уклон.

Расход потока, по А. А. Краснопольскому:

$$Q = k_k F \sqrt{I}$$

Из уравнения следует, что *при турбулентном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в степени* $^1/_2$.

Закон Дарси, или линейный закон фильтрации, справедлив для преобладающего числа случаев фильтрации в самых разнообразных породах, поэтому его называют *основным законом движения подземных вод*. Однако закон Дарси не является всеобщим.

Современная теория движения подземных вод разработана почти исключительно на основе закона Дарси.

Это объясняется тем, что, линейный закон фильтрации справедлив при действительной скорости движения подземных вод U до 1000 м/сут., или при скорости фильтрации v до 400 м/сут., а эти значения скорости значительно превышают скорость естественного потока подземных вод в песчаных и обломочных породах и могут встретиться только в карстовых пустотах и крупных трещинах.

Методы определения коэффициента фильтрации

Коэффициент фильтрации, характеризующий водопроницаемость горных пород может определяться следующими тремя методами:

1) опытными откачками в полевых условиях. Это наиболее точный метод определения коэффициента фильтрации водосодержащих пород. В ненасыщенных породах вместо откачек применяют опытные наливы в шурф или в скважину;

2) в лабораторных условиях – фильтрационными приборами. Это менее точный способ определения коэффициента фильтрации, позволяющий определить водопроницаемость не больших образцов рыхлых грунтов (высотой 10–15 см), обычно не сохранивших естественной структуры;

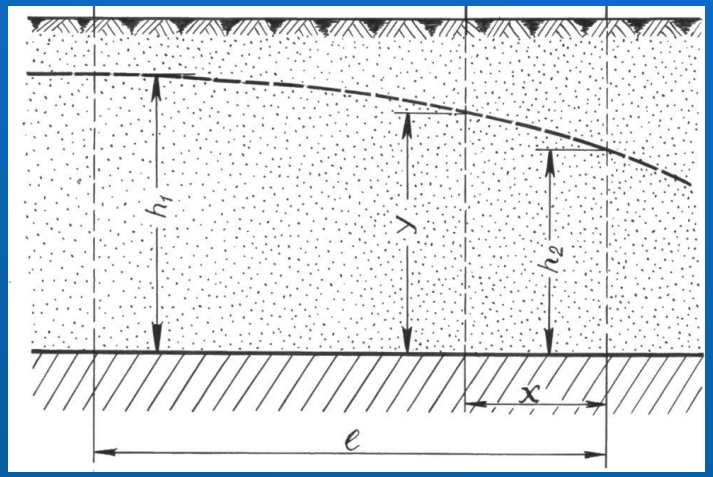
3) по эмпирическим формулам, по гранулометрическому составу и пористости. Самый дешевый и простой, но и наименее точный способ определения коэффициента фильтрации песчаных пород. Его следует широко применять при разведке месторождений полезных ископаемых, источников водоснабжения, участков гидротехнического технического строительства и при гидрогеологической съемке, когда водопроницаемость песков, залегающих на большой площади, опытными откачками определить невозможно.

Движение подземных вод в естественных условиях

Подземные воды могут двигаться в виде безнапорного потока (то есть со свободным уровнем, на поверхности которого давление равно атмосферному) и в виде напорного (то есть когда водоносный пласт полностью заполнен водой и пьезометрический уровень устанавливается выше его кровли).

Безнапорный поток

На схеме представлено движение грунтовых вод горизонтальном пласте, то есть в водоносном пласте, подстилаемом горизонтально залегающим водоупором.



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Расход грунтового потока шириной B согласно уравнению $Q = kFI$ равен $Q = kFI = kBh_{ср}I$,

где $h_{ср}$ – средняя мощность грунтового потока.

Подставив в уравнение значения $Q=(h1+h2)/2$ и $I=(h1+h2)/l$ получим уравнение расхода грунтового потока

$$Q = kB\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}$$

При ширине потока $B = 1$ получим выражение единичного расхода грунтового потока:

$$q = k\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}.$$

Для построения уровня грунтовых вод между сечениями I и II или, для построения кривой депрессии находят мощность грунтового потока (ординату кривой депрессии) y в сечении III, отстоящем от сечения II на произвольном расстоянии x.

Уравнение единичного расхода для участка между сечениями III и II:

$$q = k\frac{y_1^2 - h_2^2}{2x},$$

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{2gx}{k}},$$

подставляя в формулу значение q, получим формулу для вычисления мощности грунтового потока в промежуточном сечении, в которую не входит расход потока:

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2}.$$

Расход грунтовых вод в *наклонном пласте* вычисляют по приближенной формуле Г. Н. Каменского:

$$Q = kB\frac{h_1^2 - h_2^2}{2}\cdot\frac{H_1 - H_2}{l},$$

где H_1 *и* H_2 – отметки уровня грунтовых вод абсолютные или относительные, отсчитываемые от произвольной линии сравнения *00*.

Напорный поток

Расход напорных вод при ширине потока B независимо от направления уклона верхнего и нижнего водоупоров:

$$Q = kB\frac{M_1 - M_2}{2}\cdot\frac{H_1 - H_2}{l},$$

где M_1 и M_2 – значения мощности водоносного пласта, заменяемые при угле наклона пласта менее 10° расстоянием между кровлей и почвой пласта, измеряемым по вертикали в скважине.

Схема грунтовых вод в наклонном пласте

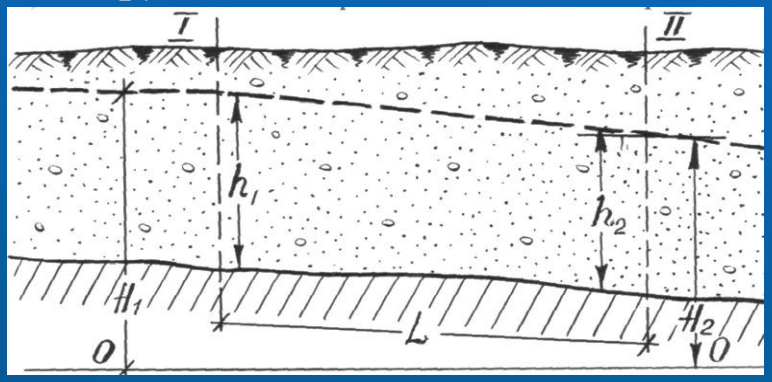
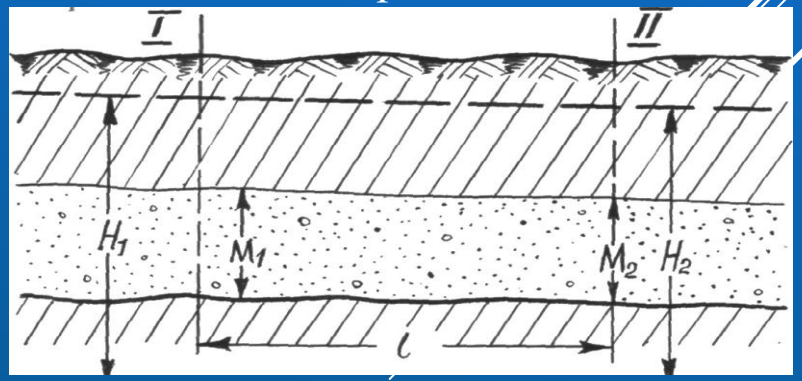


Схема напорного потока



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Движение подземных вод к водосборным сооружениям

Теория движения подземных вод разработана применительно к определению притока воды к вертикальным и горизонтальным водосборам. К *вертикальным водосборам* относятся буровые скважины, колодцы, шурфы и вертикальные стволы шахт; к *горизонтальным* – осушительные канавы, каптажные галереи, штреки и др.

Вертикальные водосборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, называются *грунтовыми колодцами*, а водосборы, вскрывающие напорные воды – *артезианскими колодцами*.

Грунтовые и артезианские колодцы могут быть совершенными и несовершенными.

Совершенными называются колодцы, доведенные до водоупора и имеющие проницаемые стенки в пределах всей толщи пласта от подошвы его до динамического уровня воды в колодце.

Несовершенными называются колодцы, не доведенные до водоупора или имеющие проницаемые стенки в пределах части водоносной толщи.

Грунтовый совершенный колодец

При откачке воды из грунтового колодца уровень воды в нем понизится на величину *S*. Вокруг колодца уровень притекающей воды также понизится и примет форму *депрессионной воронки*.

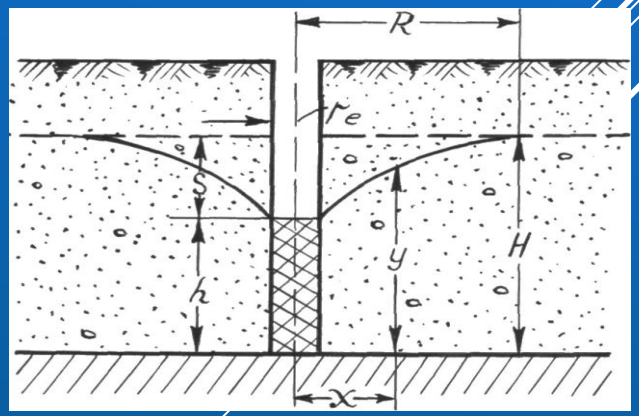
Расстояние, на котором сказывается понижение уровня воды в колодце, называется радиусом влияния колодца. Количество притекающей к колодцу воды (*расход колодца, дебит колодца*) в любом сечении на расстоянии ***x*** от оси колодца согласно линейному закону фильтрации равно $Q = FkI$.

Площадь поперечного сечения потока F, движущегося к колодцу, равна площади боковой поверхности цилиндра радиусом x и высотой y, то есть $F = 2\pi xy$. Произведя математические преобразования, получим формулы притока воды в колодец:

$$Q_1 = \frac{1.36k\left(H^2 - h^2\right)}{\lg R - \lg r}.$$

$$Q_1 = \frac{1{,}36k\left(H^2 - h^2\right)}{\lg R - \lg r} = \frac{1{,}36k(2H - S)S}{\lg R - \lg r}.$$

Схема грунтового совершенного колодца



где k – коэффициент фильтрации, м/сут.;
H – мощность водоносного горизонта, м;
h – высота пониженного уровня воды в колодце от водоупора, м;
R и r – соответственно радиус влияния и радиус колодца, м.

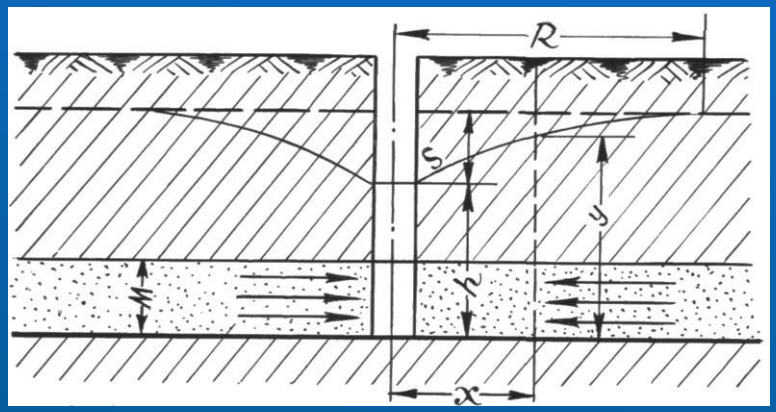
https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Артезианский совершенный колодец

При откачке воды из артезианского колодца вода будет притекать в него со всех сторон в пределах пласта мощностью *M*. Уровень воды в колодце понизится на величину *S*. Это указывает, что у колодца напор в пласте снижается и напорный уровень устанавливается на высоте *h* от водоупорного ложа. Происходит снижение напора в пласте в пределах радиуса влияния. Количество притекающей воды в колодец по закону Дарси: $Q = FkI$, где F – площадь поперечного сечения потока на расстоянии x от оси колодца $F = 2\pi xM$. Приток воды в артезианский колодец находится по формуле:

$$Q = \frac{2{,}73kM(H-h)}{\lg R - \lg r} = \frac{2{,}73kMS}{\lg R - \lg r},\ м^3/сут.,$$

Схема притока воды в артезианский колодец



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

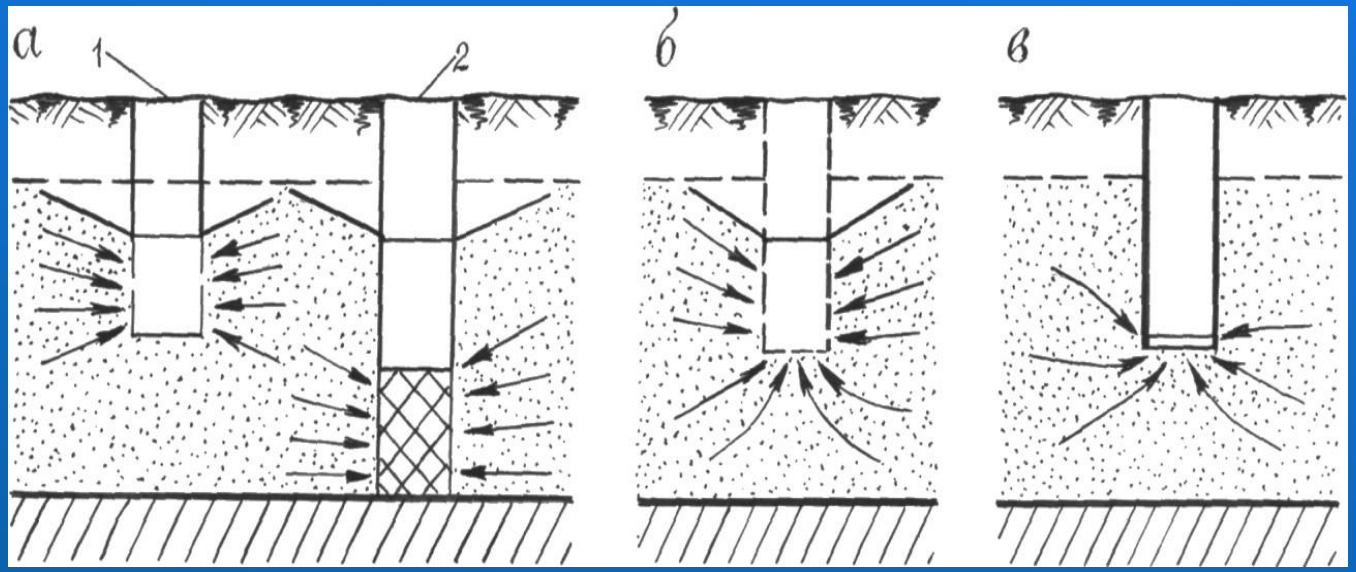
где k – коэффициент фильтрации, м/сутки; M – мощность напорного водоносного пласта, м; S – понижение уровня воды в колодце, м; R – радиус влияния, м; r – радиус колодца, м.

Радиус влияния артезианского колодца следует брать по данным наблюдений. Приближенно его можно определить по формуле, выведенной И. П. Кусакиным для группы грунтовых колодцев, принимая за H высоту столба воды в колодце от водоупора до пьезометрического уровня.

Несовершенные грунтовые колодцы

Несовершенные грунтовые колодцы в зависимости от наличия и положения фильтра могут быть с проницаемыми стенками и глухим дном, с проницаемыми стенками и дном, с непроницаемыми стенками и проницаемым дном.

Типы несовершенных грунтовых колодцев



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

а – колодец с проницаемыми стенками и глухим дном: 1 – с незатопленным фильтром, 2 – с затопленным фильтром; б – колодец с проницаемыми стенками и дном; в – колодец с проницаемыми стенками и проницаемым дном

В несовершенных артезианских колодцах фильтр может примыкать к верхнему или нижнему водоупору или быть установленным в средней части водоносного слоя.

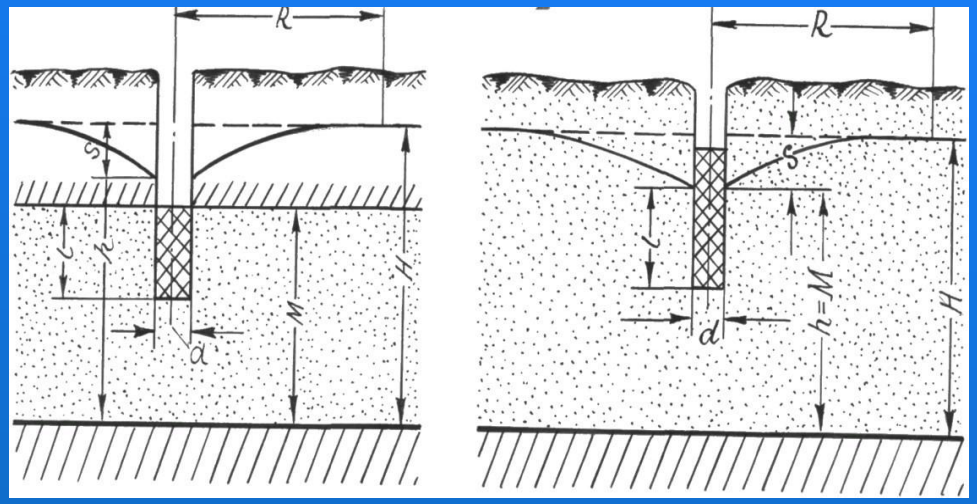
Приток в несовершенный колодец меньше, чем в совершенный, потому что струйкам воды, движущимся к несовершенному колодцу, приходится преодолевать большее сопротивление при входе в колодец и совершать больший путь, чем при движении к совершенному колодцу. Величина притока зависит от длины и расположения фильтра в колодце.

Приток воды в несовершенный артезианский или грунтовый колодец с проницаемыми стенками и глухим дном равен притоку в эквивалентный по дебиту совершенный колодец, имеющий меньший диаметр d_p, величину которого подсчитывают по формуле:

$$d_p = \alpha d,$$

где d_p – расчетный (условный) диаметр совершенного колодца, м; α – поправочный коэффициент на несовершенство колодца; d – диаметр несовершенного колодца, м.

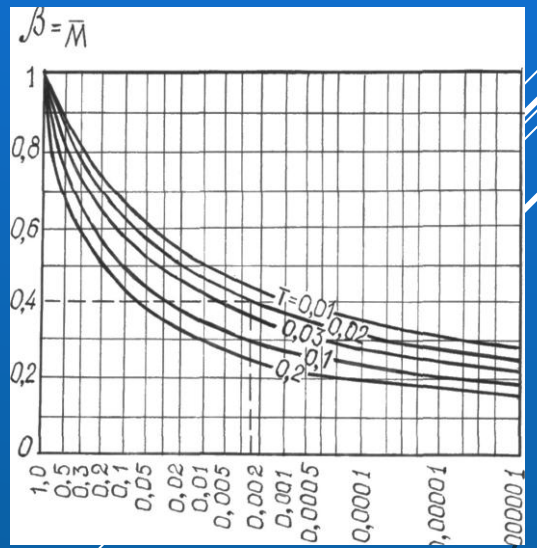
Несовершенный артезианский и грунтовый колодцы



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Коэффициент несовершенства колодца (скважины) α определяют по графику.

По вертикальной оси графика отложена величина $\beta=l/M$, где l – длина фильтра; M – мощность напорного водоносного горизонта. По горизонтальной оси графика отложены значения α для пяти случаев значений $\gamma=d/l$.



В грунтовом колодце для расчета коэффициента α за мощность водоносного горизонта M можно приближенно принять превышение динамического уровня над водоупором, а за величину l – работающую часть фильтра колодца.

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

После определения по графику величины а и подсчета по формуле $d_p=\alpha d$, значения расчетного диаметра совершенного колодца d_p приток воды в артезианский или грунтовый колодец определяется соответственно по формулам притока воды в грунтовый или совершенный колодец подстановкой вместо r значения: $r_p=d_p/2$.

Приток воды из пласта большой мощности в несовершенный артезианский колодец, только вскрывший водоносный пласт, или в грунтовый колодец с проницаемым дном равен:

при полусферической форме дна:

$$Q = \pi dSk, \quad м^3 / сут.,$$

при плоской форме дна:

$$Q = 2dSk, \quad м^3 / сут.,$$

где d – диаметр несовершенного колодца, м;

S – понижение уровня воды в колодце, м,

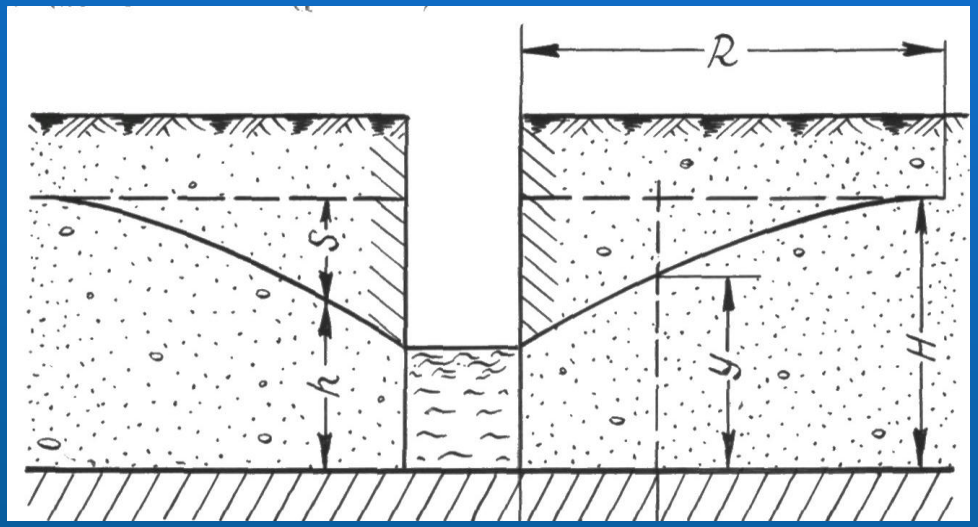
k – коэффициент фильтрации; м/сут.

Горизонтальная канава, доведенная до водоупора

Горизонтальные водосборы разделяются на *совершенные*, доведенные до основания водоносного пласта, и *несовершенные* (подвешенные), прорезающие водоносный слой не на всю мощность.

В несовершенные водосборы вода поступает не только через стенки, но и через дно. Поступающая вода движется к канаве в слоях грунта, расположенных выше и ниже ее дна, причем характер и направление движения струек зависят от глубины залегания водоупорного ложа.

Простейшим видом горизонтального водосбора является дренажная канава, или галерея, доведенная до горизонтально залегающего водонепроницаемого ложа.



https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Единичный расход канавы, то есть приток в канаву длиной 1 м с одной стороны определяется по формуле:

$$h_{ср} = \frac{H+h}{2} \cdot g = kh_{ср}I$$

Для участка между канавой и границей ее влияния средняя мощность водоносного слоя и средняя величина гидравлического уклона равна:

$$I = \frac{H-h}{l}.$$

Формула для вычисления единичного потока воды в канаву с одной стороны (при ее длине 1 м):

$$g = k\frac{H^2-h^2}{2R}.$$

Приток в канаву длиной B с одной стороны:

$$Q = kB\frac{H^2-h^2}{2R} \text{ или}$$

$$Q = kB\frac{H^2-h^2}{2}I$$

Для получения притока в канаву с обеих сторон надо величину Q удвоить.

Искусственное понижение уровня подземных вод для осушения водоносных пластов широко применяют в период строительства и эксплуатации сооружений. Необходимость в защите от подземных вод возникает при отрывке котлованов в водонасыщенных грунтах, ликвидации аварий на действующих коллекторах и других сооружениях, а также при подтоплении уже застроенной территории.

При выборе рационального способа водопонижения учитывают не только характер возводимого или построенного сооружения, размер осушаемой зоны, но и конкретные геологические и гидрогеологические условия.

Основной задачей расчетов является достоверное определение возможного водопритока к дренажным и водопонизительным устройствам.

Временное понижение уровня подземных вод (на период строительства) называют *строительным водопонижением*, длительное водопонижение (обычно несколько лет и более) – *дренажом*.

Различают *естественный* и *искусственный* дренаж.

Осушение местности при *естественном дренаже* происходит путем естественного стока подземных вод в понижениях (долины, реки, впадины).

При *искусственном дренаже* уровень подземных вод снижается путем сбора и отвода воды специально построенными дренами.

Дрены, или каналы-осушители, не только собирают воду, но и транспортируют ее в сторону от дренирующей площади, то есть от той зоны, где обеспечено искусственное понижение уровня подземных вод.

Водопонизительные дрены могут быть *совершенными* и *несовершенными*. В первом случае они прорезают весь осушаемый водоносный пласт, во втором – до водоупора не доходят.

В зависимости от конструкции водоприемных устройств и характера расположения их в толще грунтов различают:

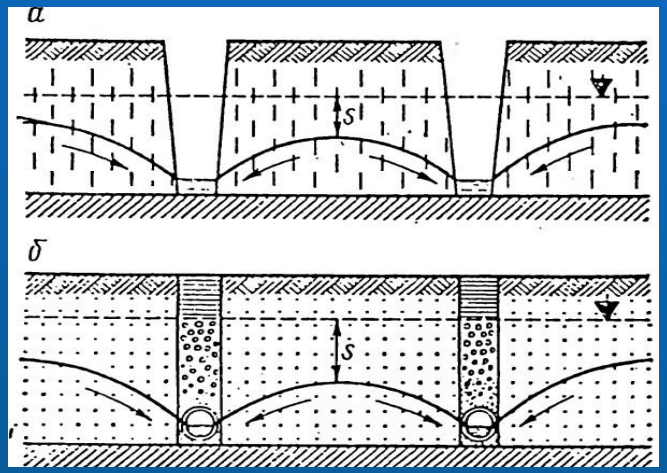
– горизонтальный;

– вертикальный;

– комбинированный дренаж.

Горизонтальный дренаж обеспечивает понижение уровня отводом воды с помощью канав (траншей), подземных галерей и других горизонтальных дрен. Отток воды при горизонтальном расположении дрен происходит самотеком. Для этого дренам придают необходимый уклон.

Глубина заложения горизонтальных дрен обычно не более 5-6 м. Дренажные воды сбрасываются в открытые водные протоки или сеть ливневой канализации. Горизонтальный дренаж может быть *открытым (осушительные каналы)* и *закрытым (трубчатые дрены в траншее)*. В закрытой траншее для предохранения дренажной трубы от заиления вокруг нее устраивают обсыпку из нескольких слоев песка и гравия.



Дренажные траншеи:
а – открытые; *б* – закрытые

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

К разновидностям горизонтального дренажа могут быть отнесены и *лучевые водозаборы* с горизонтальными лучами-дренами, которые применяют на крупных водопонизительных системах в условиях водообильного водоносного горизонта.

Вертикальный дренаж обеспечивает понижение уровня подземных вод откачкой насосами или сбросом воды в нижележащие водопроницаемые породы.

Вертикальный дренаж осуществляют с помощью

– водопонизительных скважин;

– иглофильтровых установок;

– поглощающих скважин;

– открытого водоотлива.

Общей их чертой является вертикальное расположение водоприемных устройств.

Водопонизительные скважины оборудуют погружными насосами или всасывающими устройствами.

Скважины располагают по контуру будущего котлована сооружения. Вокруг скважин при откачке воды образуются депрессионные воронки, которые, смыкаясь друг с другом, создают общее понижение подземных вод. Такие скважины относятся преимущественно к средствам глубокого водопонижения (свыше 15 м).

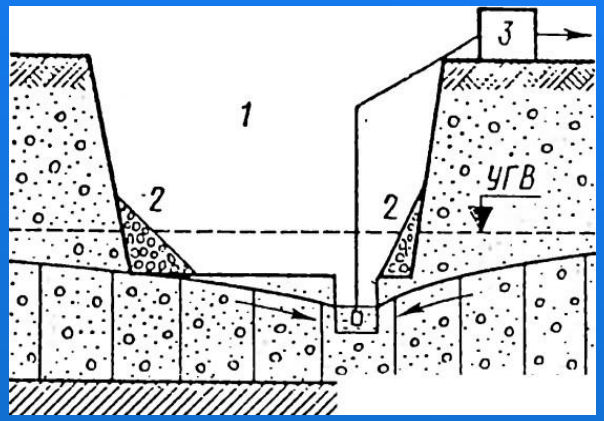
Иглофильтровые установки состоят из системы иглофильтров (тонких металлических труб длиной 7-9 м с фильтром на их нижних концах), которые устанавливают вокруг котлованов или вдоль траншей и присоединяют к всасывающему коллектору. Легкие иглофильтровые установки (ЛИУ) понижают уровень подземных вод на 4,5 м (одним ярусом) в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1-2 до 40-50 м/сут. При глубоком водопонижении применяют два или три яруса установок. Для осушения тонкозернистых песков и супесей, плохо отдающих воду, с $k_ф$ = 0,01–1,0 м/сут применяют *эжекторные иглофильтры*. С их помощью в водонасыщенном грунте создается вакуум, улучшается водоотдача и эффект водопонижения усиливается.

Осушение глинистых грунтов текучей консистенции с $k_ф$ < 0,1 м/сут основано на *электроосмотическом явлении*. Под действием электротока вода вместе с положительно заряженными нонами перемещается от металлического штыря – анода к иглофильтру – катоду и затем откачивается.

Поглощающие скважины устраивают для понижения уровня путем сброса воды верхних водоносных горизонтов в нижние. Принимающий пласт должен иметь уровни ниже подошвы осушаемого пласта и быть достаточно водообильным. *Открытый водоотлив* – наиболее простой и дешевый способ водопонижения Однако при этом способе грунтовые воды могут вызвать обрушение и оплывание откосов котлованов, выпор и другие фильтрационные деформации грунтов, поэтому открытый водоотлив целесообразен лишь в устойчивых грунтах типа гравийно-галечных.

В песчаных грунтах его необходимо сочетать с глубинным водопонижением, при котором откосы котлованов будут уплотняться.

Открытый водоотлив



1 – котлован; 2 – пригрузка откосов; 3 – насос

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

В сложных гидрогеологических условиях целесообразно применение различных технических средств для водопонижения.

При наличии напорных и грунтовых вод снижение пьезометрического уровня подземных вод может быть достигнуто с помощью *вододонизительных скважин* или *эжекторных иглофильтров*, а снижение грунтовых вод – с помощью *легких иглофильтровых установок* или *открытого водоотлива*.

Комбинированный тип дренажа объединяет вертикальные и горизонтальные дрены.

В зависимости от их расположения в плане по отношению зданий и сооружений различают линейные, кольцевые (контурные), площадные и точечные системы.

Рассмотрим применение различных систем в строительном водопонижении, то есть при *кратковременном характере водопонижения на период строительства*.

Линейные системы водопонизительных установок используют для защиты вытянутых в плане выемок типа траншей.

Кольцевые (или контурные) системы водопонизительных установок применяют при значительных размерах осушаемой зоны, когда линейно расположенные установки не в состоянии осушить водоносный пласт. В зависимости от требуемой глубины понижения и сложности гидрогеологических условий используют один или несколько контуров водопонизительных установок.

Площадные системы водопонизительных установок применяют для понижения уровня подземных вод в пределах всего осушаемого участка.

При *длительном водопонижении (дренаж)* системы дренажных устройств также классифицируются в зависимости от их расположения и назначения. Выделяют дренажи:

– головной и береговой (линейные системы);

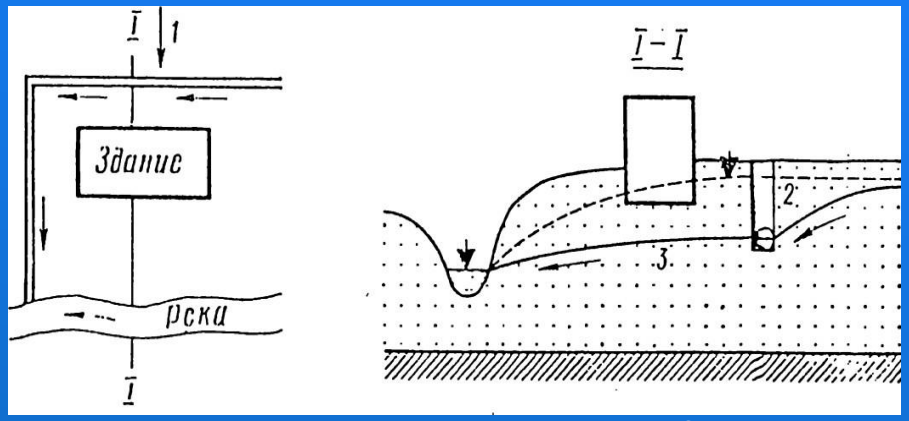
– кольцевой (контурные системы);

– систематический (площадные системы);

– пластов (точечные системы).

Головной дренаж используют для понижения уровня грунтового потока, питание которого осуществляется со стороны. Грунтовые воды перехватываются горизонтальными или вертикальными дренами, закладываемыми выше защищаемого участка (рис.29).

Головной дренаж (план и разрез)



1 – направление потока грунтовых вод; 2 – головная дрена;
5 – сниженный уровень грунтовых вод

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Береговой дренаж применяют для перехвата подземных вод в районах, расположенных вблизи открытых водотоков или водоемов. С его помощью отводят фильтрационный поток, движущийся в береговую зону со стороны реки в период паводка, при подъеме уровня воды в водохранилище и др.

Кольцевой дренаж проектируют для борьбы с подтоплением отдельных сооружений с глубокими фундаментами, например, подземных емкостей (резервуаров). Он может обеспечить полный перехват воды по контуру защищаемого участка, снизить напоры и уровни подземных вод и тем самым предотвратить «всплывание» подземных емкостей при их опорожнении.

Систематический дренаж целесообразен для защиты от подтопления больших территорий путем равномерного осушения равнинного участка с неглубоким залеганием подземных вод.

Систематический горизонтальный дренаж состоит из отдельных дрен, собирающих воду из грунта, и коллектора, отводящего воду за пределы дренируемого участка (а).

Систематический вертикальный дренаж объединяет вертикальные дрены (б).

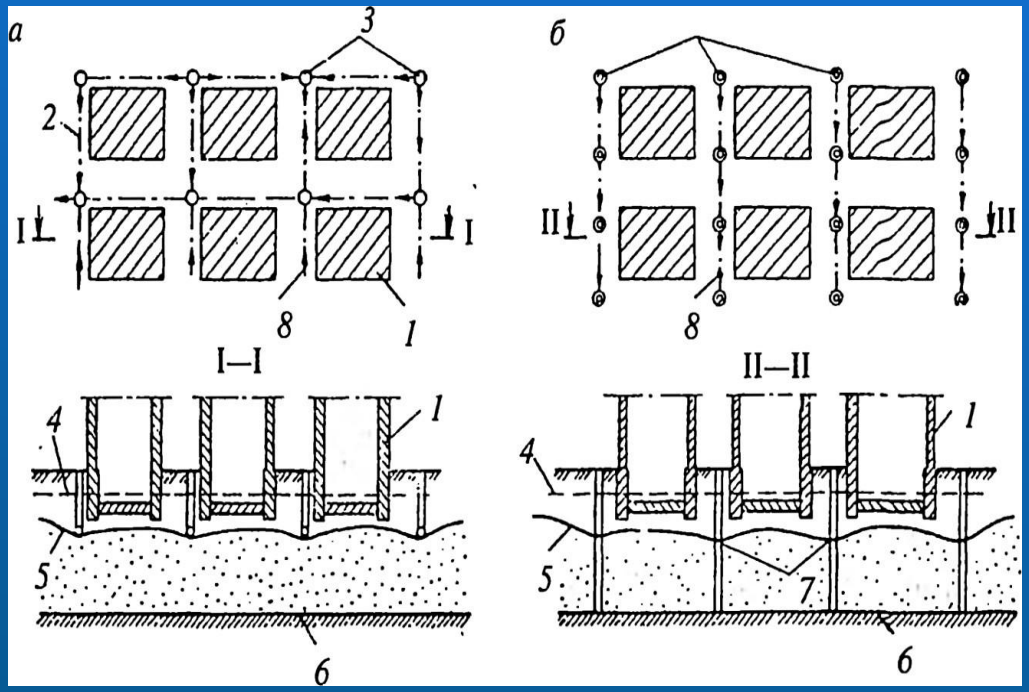


Схема систематического дренажа

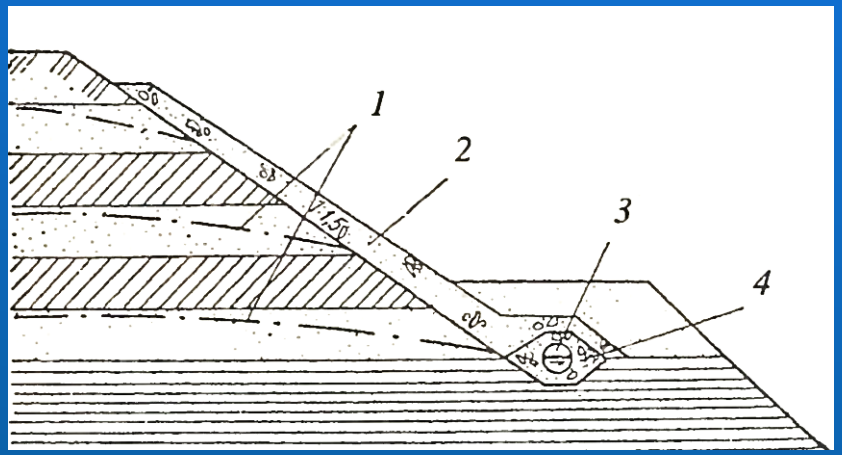
а – горизонтального;

б – вертикального: 1 – контур защищаемого сооружения; 2 – ось горизонтального дренажа; *3* – смотровые колодцы; *4* – непониженный уровень грунтовых вод; *5* – пониженный уровень грунтовых вод; 6 – водоупор; 7 – вертикальные дрены; *8* – направление отвода дренажных вод

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh

Пластовый дренаж представляет собой слой фильтрующего материала (песок, песчано-гравийные смеси, щебень), который укладывается в основании дренируемого сооружения или на откосах котлованов, карьеров. Вода из пластового дренажа отводится с помощью труб, лотков или канав. В условиях городской застройки обычно прибегают к устройству не одной, а нескольких систем дренажа.

Пластовый дренаж на откосах котлована



1 – пониженные уровни подземных вод; *2* – песчаная пригрузка; *3* – дренажная труба; *4* – засыпка гравием

https://studref.com/302785/stroitelstvo/dvizhenie_podzemnyh