

CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 04 Issue: 11 | Nov 2023 ISSN: 2660-5317
<https://cajotas.centralasianstudies.org>

К вопросу Моделирования Движения Подземных Вод На Основе Уравнений Фильтрации В Насыщенном Грунте

Усманов Шавкат Аббасович

НИИИВП заведующий лабораторией «Гидрометрии и метрологии», к.т.н. телефон:
+998998038110

Якубов Мурат Адилевич,

НИИИВП, заведующий лабораторией «Коллекторно- дренажных систем», профессор
телефон: +998901861019

Худайкулов Совет Ишанкулович

НИИИВП, заведующий лабораторией «Водохранилище и их безопасность», профессор
телефон: +998903171490

Received 28th Aug 2023, Accepted 29th Sep 2023, Online 20th Nov 2023

Аннотация. В статье рассматривается ярко выраженный вертикальный водообмен между отдельными слоями пород по вертикали и сравнительно больших горизонтальных скоростях в верхнем пласте. Приводятся уравнения и принятые условия движения грунтовых вод в двухслойном пласте. Получены выражения для величины вертикального водообмена между пластами.

Ключевые слова: водообмен, скорость, двухслойный пласт, грунтовые воды

Аннотация.

Мақолада вертикал ва юқори қатламдаги нисбатан юқори кўндаланг горизонтал тезликлар бўйлаб алоҳида жинс қатламлари ўртасида аниқ вертикал сув-туз алмашинуви кўриб чиқилган. Икки қатламли ер ости сувларининг ҳаракатланиш тенгламалари ва қабул қилинган шартлар келтирилган. Қатламлар орасидаги вертикал сув алмашинувининг қиймати учун ифодалар олинди.

Калит сўзлар: сув алмашинуви, тезлик, икки қаватли қатлам, ер ости сувлари

Грунт представляет собой трех фазную среду, состоящую из твердых частиц (скелет грунта), жидкости и воздуха, наполненного парами воды. В случае полного насыщения воздушная фаза отсутствует. Естественно, что математические соотношения, описывающие фильтрацию при полном насыщении грунта должны следовать как частный случай из более общих, полученных для движения влаги при полном насыщении. При полном заполнении пор значительная часть влаги не подвергается действию со стороны твердых частиц. Это, так называемая, грунтовая или гравитационная вода. В теории фильтрации изучают движение именно грунтовой воды, движущейся под действием силы тяжести и гидродинамического давления. При неполном насыщении силы, действующие на жидкость со стороны скелета грунта-силы сорбции и адсорбции, имеют тот же порядок, что и сила тяжести, а при малой влажности являются преобладающими. Большую роль также начинают играть силы, возникающие под действием температурного градиента, градиента концентрации растворенных в воде минеральных веществ и др.

Грунтовая или гравитационная вода в некоторой окружности грунта движется под действием температурного градиента, градиента концентрации растворенных в воде минеральных веществ. особенно это заметно в районах, где минерализация грунтовых вод повышается до 4282-5382 мг/л, с преобладанием ионов хлора до 1329 мг/л и сульфатов до 2614 мг/л. Из-за высокого уровня грунтовых вод на отдельных участках, их агрессивности в местах повышенной минерализации требуют проведения дренажа, гидроизоляции подземных частей, сооружений и защиты бетона от агрессивного воздействия.[1]

При построении математической модели действительное движение жидкости в порах (в трещинах) заменяется сплошным потоком, заполняющим все пространство, что даёт возможность изучать процесс в рамках механики сплошной среды.

Уравнение неразрывности. Выделим произвольный объём и рассмотрим поток массы жидкости через замкнутую поверхность S , ограничивающую этот объём:

$$\iint_S \rho v_n dS \quad (1)$$

где ρ -плотность жидкости, нормальная составляющая скорости фильтрации- V , если нормаль \bar{n} - внешняя по отношению к объёму, то интеграл (1) есть разность между количеством жидкости, которая вытекает и втекает в объём W через поверхность S за единицу времени. Интеграл $\iiint_W \rho f dW$ представляет собой потерю влаги в выделенном объёме в единицу времени за счет транспирации влаги грунтом и испарения её в воздушную фазу. Здесь f суммарная интенсивность транспирации и испарения. Изменение количества жидкости в объёме W за единицу времени, равно:

$$\iint_S \rho v_n dS + \iiint_W \rho f dW \quad (2)$$

можно выразить через изменение насыщенности и плотности внутри объёма с помощью интеграла:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_W \rho_w dW = \iiint_W \frac{\partial \rho_w}{\partial t} dW \quad (3)$$

W - насыщенность или влажность, доля объёма воды в грунте, t - время.

учитывая величин равенств (1.2) и (1.3), но противоположны по знаку, получаем интегральную форму уравнения неразрывности фильтрационного потока:

$$\iiint_W \frac{\partial \rho_w}{\partial t} dW = - \left(\iint_S \rho_{v_n} dS + \iiint_W \rho f dW \right) \quad (4)$$

полагая подинтегральные функции в равенстве (1.4) непрерывными, перейдем к дифференциальной форме уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} + di \mathcal{G}\bar{v} + \rho f = 0 \quad (5)$$

при $\rho = const$ $w = m = const$ m - пористость, доля объёма пор в грунте. $f = 0$ имеем уравнение неразрывности насыщенного фильтрационного потока при жестком режиме:

$$di \mathcal{G}\bar{v} = 0 \quad V$$

при $\rho \neq const$ $w \neq m \neq const$ m - пористость, доля объёма пор в грунте. $f = 0$ имеем уравнение неразрывности насыщенного фильтрационного потока при упругом режиме:

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} + di \mathcal{G}\bar{v} = 0 \quad h_1, h_2, -W, U, K_1, K_2$$

a) *Интенсивность питания грунтовых вод, заключенных в слоистой толще пород при неизвестном положении водоупора.* [2]

В ряде практических задач по изучению баланса грунтовых вод при двухслойном строении водоносных толщ пород мощность нижнего пласта оказывается неизвестной.

Искомой величины интенсивности инфильтрационного питания потока сверху W выглядит так:

$$W = \mu \frac{\Delta h_1}{2\Delta t} - \frac{k_1}{4} \left[\frac{(h_1')^2 - 2(h_1'')^2 + (h_1''')^2}{(\Delta x)^2} - 2h_1'' \frac{h_1' - 2h_1'' + h_1'''}{(\Delta x)^2} \right] \quad (6)$$

При этом переменную мощность потока h_1 принимаем равной мощности потока в среднем сечении h_1'' на средний момент времени $(s+1)$ как отвечающие осредненной величине ее.

Для расчета интенсивности инфильтрационного питания W по этому уравнению требуется знать, помимо коэффициента фильтрации верхнего пласта k_1 , водоотдачи пород μ , мощности грунтового потока (h_1', h_1'', h_1''') в верхнем, среднем и нижнем сечениях потока на средний момент

времени $(s+1)$, считая их от зеркала воды до горизонтальной подошвы этого пласта, и расстояния между сечениями (скважинами) Δx .

Необходимо помнить, что уравнение (6) действительно при наличии ярко выраженного вертикального водообмена между отдельными слоями пород по вертикали и сравнительно больших горизонтальных скоростях в верхнем пласте. Эти условия часто возникают в предгорных районах, [3] в межгорных впадинах, где происходит разгрузка подземных вод путем испарения. Поэтому до применения этого уравнения необходимо убедиться в существовании принятых условий движения вод. Все это возможно изучить в процессе глубокого бурения с тщательным наблюдением за распределением напоров воды по вертикали.

В случае резкой смены водопроницаемости пород по вертикали, при которой разница в напорах воды верхнего слабо проницаемого и нижнего более проницаемого пластов ζ достигает значительной величины, можно получить более упрощенную приближенную формулу для расчета W .

Так, например, выразим вертикальный водообмен между пластами по Дарси в виде:

$$q_b = k_1 \frac{\zeta}{h_1} dx \quad (7)$$

где k_1 - коэффициент фильтрации верхнего пласта;

h_1 - мощность пласта в сечении x ;

ζ - разность между пьезометрическим уровнем воды нижнего и уровнем воды верхнего пластов.

После подстановки в уравнение (6) этого выражения q_b и выражения для dq_1 , с учетом уравнения (7), получим в конечных разностях:

$$W = \mu \frac{\Delta h_1}{2\Delta t} - \frac{k_1}{4} \left[\frac{(h_1')^2 - 2(h_1'')^2 + (h_1''')^2}{(\Delta x)^2} - 2h_1'' \frac{h_1' - 2h_1'' + h_1'''}{(\Delta x)^2} \right] \quad (8)$$

величину водообмена Q_b между нижним и верхним водоносными пластами, т. е. расход воды, проходящей через кровлю нижнего пласта под влиянием разности напоров ζ . Легко заметить, что (рис.1.)

$$q_2 + \frac{\partial q_2}{\partial x} dx = q_2 - q_b \quad (9)$$

или

$$q_b = -\frac{\partial q_2}{\partial x} dx \quad (10)$$

где q_2 - расход нижнего пласта в первом сечении (ab) . Причем Q_b считается положительным, если вода просачивается из нижнего пласта в верхний, и отрицательным,

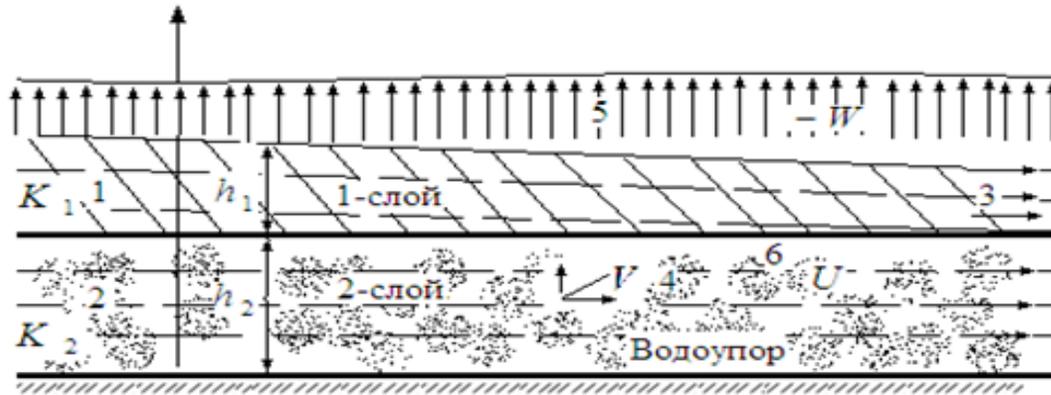


Рис.1. Схема обозначений расчётных величин для неоднородной толщи водоносных пород. 1-супесь, 2-песок, 3-линия тока, 4-разложение скорости фильтрации на горизонтальную и вертикальную составляющие. 5- восходящее передвижение влаги к испаряющей поверхности. 6- зеркало грунтовых вод

Для исключения этой мощности из расчетов введем в уравнение (8)

если движение противоположно. Подставив выражение $q_b = -\frac{\partial q_2}{\partial x} dx$ Из уравнения (10) в уравнение (8), будем иметь:

$$\mu \frac{\partial h_1}{\partial t} dx = -\frac{\partial q_1}{\partial x} dx + q_b + Wdx \quad (11)$$

Величину q_b удобно рассматривать в виде произведения, $q_b = V_b dx$

Где : V_b -слой воды, просачивающейся вверх в единицу времени через подошву верхнего слоя (этот слой отнесен ко всей площади сечения потока вертикальной фильтрации); dx — протяженность элемента потока. Наряду с этим величина V_b является вертикальной составляющей скорости фильтрации на подошве верхнего пласта (рис.1).

Для вычисления V_b применим способ учета вертикальных составляющих скоростей потока, предложенный П. Я. Полубариновой-Кочиной. Уравнение неразрывности потока имеет вид:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial z} = 0 \quad (12)$$

U, V — проекции скорости фильтрации на координатные оси ox и oy .

Последняя направлена вертикально вверх. [4] Начало координат выберем на подошве верхнего пласта. [6]

Уравнение (3.11) можно проинтегрировать по z в пределах от 0 до z и по V — в пределах от V_b до V . Тогда при допущении неизменности по вертикали горизонтальной составляющей скорости U получим:

$$V = -\int_0^z \frac{\partial U}{\partial x} dz + V_b = -z + V_b \quad (13)$$

Где U - горизонтальная составляющая скорости фильтрации, принимаемая постоянной по высоте;

V — значение вертикальной составляющей скорости фильтрации на высоте z от подошвы верхнего пласта;

V_b — то же на подошве этого пласта.

Если принять во внимание, что на свободной поверхности грунтовых вод, т.е. при $z = h_1$, считая h_1 за мощность грунтового потока от горизонтальной подошвы пласта, вертикальная составляющая скорости равен, т.е. $V = W$ — интенсивности инфильтрационного питания потока сверху - при положительном значении этой величины, или испарение его при отрицательном значении), на подошве верхнего пласта эта составляющая $V = V_b$, а горизонтальная составляющая скорости фильтрации $U = K_1 \frac{dh_1}{dx}$ то из уравнения (13) получим;

$$V_b = W - k_1 h_1 \frac{\partial^2 h_1}{\partial x^2}$$

На основании последнего уравнения найдем выражение для величины вертикального водообмена между пластами:

$$q_b = V_b dx = \left(W - k_1 h_1 \frac{\partial^2 h_1}{\partial x^2} \right) dx \quad (14)$$

Согласно уравнению Дюпюи, учитывающему изменение мощности потока, расход которого в верхнем пласте равен q_1 , напишем:

$$\frac{\partial q_1}{\partial x} dx = -\frac{k_1}{2} \frac{\partial^2 h_1^2}{\partial x^2} dx \quad (15)$$

Тогда с учетом этого уравнения и уравнений (12) и (13) окончательно получим:

$$\mu \frac{\partial h_1}{\partial t} = \frac{k_1}{2} \left(\frac{\partial^2 h_1^2}{\partial x^2} - 2h_1 \frac{\partial^2 h_1}{\partial x^2} \right) + 2W \quad (16)$$

Последнее уравнение можно представить в конечных разностях, переписав его относительно искомой величины интенсивности инфильтрационного питания потока сверху W определяется формулой (3.10).

При этом переменную мощность потока h_1 принимаем равной мощности потока в среднем сечении h_1'' на средний момент времени $(s+1)$ как отвечающие осредненной величине ее. [5]

Для расчета интенсивности инфильтрационного питания W по этому уравнению требуется знать, помимо коэффициента фильтрации верхнего пласта k_1 , водоотдачи пород μ , мощности грунтового потока (h_1', h_1'', h_1''') в верхнем, среднем и нижнем сечениях потока на средний момент времени $(s+1)$, считая их от зеркала воды до горизонтальной подошвы этого пласта, и расстояния между сечениями (скважинами) Δx .

Вывод:

1. Необходимо помнить, что уравнение (13) действительно при наличии ярко выраженного вертикального водообмена между отдельными слоями пород по вертикали и сравнительно больших горизонтальных скоростях в верхнем пласте.
2. Приведенные в статье условия часто возникают в предгорных районах, в межгорных впадинах, где происходит разгрузка подземных вод путем испарения.
3. Поэтому до применения этого уравнения необходимо убедиться в существовании принятых условий движения вод. Все это возможно изучить в процессе глубокого бурения с тщательным наблюдением за распределением напоров воды по вертикали.
- 4.

Список использованной литературы

1. Матвеев К.Р. Физика атмосферы. изд. МГУ, 1992 г.
2. Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред.– М.: Наука, 1987. 464 с.
3. Полубаринова – Кочина П.Я.. «Теория движения грунтовых вод», Москва, Наука, 1977, 664 с.
4. Рахматулин Х.А. Газовая волновая динамика, изд. МГУ, 1962 г.
5. Хамидов А.А., Худайкулов С.И.. Теория струй многофазной вязкой жидкости. Ташкент «Фан» 2005г.120 стр.
6. Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Махмудов И.Э. «Гидромеханика» ФАН-2008г. 340с.