

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГРУНТА ПО ОПЫТНЫМ ДАННЫМ ОТКАЧКИ ВОДЫ ИЗ СКВАЖИНЫ

Цель упражнения – освоить методы опытно-фильтрационных работ и расчетов коэффициента фильтрации грунта по данным откачек воды из скважин.

Основные задачи.

1. Изучить цель и методы опытно-фильтрационных работ при изысканиях для мелиоративного и сельскохозяйственного строительства.
2. Изучить виды откачек воды из скважин, условия их применения и вычертить соответствующие принципиальные схемы.
3. Выполнить расчет коэффициента фильтрации грунта по опытным данным откачки воды из скважины.

Исходные данные: учебно-справочная литература [1,6,18], конспект лекций, плакаты и табличные опытные данные по восстановлению уровня воды в скважине после откачки в зависимости от времени.

Теоретическая часть.

В состав полевых гидрогеологических изысканий входят *опытно-фильтрационные работы* для определения фильтрационных и емкостных показателей почвогрунтов и пород.

К таким показателям относятся коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, уровнепроводности (пьезопроницаемости), водоотдачи, перетекания, недостатка насыщения.

Основными видами полевых опытно-фильтрационных работ по установлению водопроницаемости грунтов являются:

- *откачки* подземных вод из скважин – для грунтов зоны водонасыщения;
- *наливы* воды в шурфы и скважины – для ненасыщенных грунтов зоны аэрации;
- *нагнетания* воды в скважины – для ненасыщенных трещиноватых и закарстованных грунтов.

Коэффициент фильтрации (K_f , м/сут) является важнейшим показателем, используемым в расчетах при проектировании гидросооружений. Различные способы его определения дают разную точность, которая зависит от выбранной схемы опыта, технических причин (нарушения структуры грунта при опыте) и от объема грунта, охваченного опытом. Так, например, при кустовой откачке в опыт вовлекается $10^2 - 10^5$ м³ грунта, при наливе в скважину или при экспресс-откачке – 1–10 м³, а при наливе в шурф – всего 0,1–0,5 м³. Вместе с тем экспресс-откачки и наливы значительно оперативнее и дешевле кустовых откачек, что обуславливает их широкое практическое применение при изысканиях.

Откачки воды из скважин делятся на следующие виды:

экспресс-откачки – проводятся из одиночной скважины продолжительностью до 0,5 сут для ориентировочной оценки водопроницаемости пород;

пробные – из одиночной скважины продолжительностью 0,5–2,0 сут для предварительной оценки водопроницаемости пород и химического состава подземных вод в вертикальном разрезе и по площади;

опытные одиночные – продолжительностью до 3 – 5 сут (при необходимости до 12 и более суток) для определения приближенных значений K_{ϕ} , удельного дебита и зависимости дебита от понижения, определения изменения химического состава подземных вод в процессе откачки;

опытные кустовые – продолжительностью свыше 3 – 5 до 18 – 30 сут для установления расчетных гидрогеологических параметров (коэффициентов фильтрации, водоотдачи, увнепродности, перетекания) и изменения химического состава подземных вод;

опытно-эксплуатационные – из одиночной или группы скважин продолжительностью свыше 30 сут для установления закономерностей изменения уровней и химического состава подземных вод, дебита скважин, а также для опытно-производственного водопонижения при обосновании проектов дренажа.

Экспресс-методы основаны на фиксации кратковременных колебаний уровня воды в скважинах при откачках или наливах. Их целесообразно применять при изучении фильтрационных характеристик пород с относительно небольшой водопроницаемостью ($K_{\phi} = 0,01 - 5$ м/сут). В сильнофильтрующих грунтах применение этих методов затруднительно из-за большой скорости восстановления уровня.

По конструкции скважин при производстве опыта экспресс-методы делятся на три группы: опыт в незакрепленных скважинах; в обсаженных скважинах с фильтром; в обсаженных скважинах без фильтра (через дно).

В первом случае скважина должна иметь устойчивые стенки и заглубляться не менее чем на 0,4–0,6 м ниже статического уровня грунтовых вод. Для проведения опыта (рис. 3.10) в скважине очень быстро создается начальное понижение уровня S_0 почти до дна, после чего проводятся наблюдения за восстановлением уровня в ней S_t через 1–5 мин в начале опыта и 20–30 мин в конце.

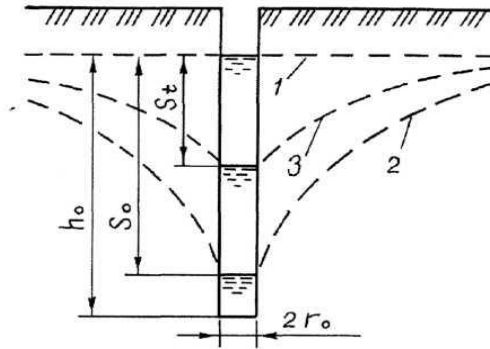


Рис. 4.1. Схема экспресс-откачки из скважины:
 1 – статический уровень грунтовых вод; 2 – начальное понижение УГВ;
 3 – положение УГВ при его восстановлении

По результатам наблюдений устанавливают зависимость восстановления уровня S_t от времени t и строят график связи $\lg(S_0/S_t) = f(t)$. Данный график должен иметь прямолинейный вид, а в противном случае его следует осреднять прямой в интервале $(0,2-0,8)S_0$. Тангенс угла наклона φ прямой графика определяют по зависимости

$$\operatorname{tg} \varphi = \left(\lg \frac{S_0}{S_t} \right) / t, \quad (4.1)$$

где S_0 и S_t – начальное и текущее понижение уровня воды, м.

Данная зависимость используется при вычислении K_{Φ} (м/сут) по различным формулам. Для условий однородных грунтов и безнапорных вод применяются формулы К. Я. Кожанова и Г. Д. Эркина:

$$\hat{E}_{\phi} = \frac{m(h_0 - r_0)r_0^2}{h_0^2} \operatorname{tg} \varphi; \quad (4.2)$$

$$\hat{E}_{\phi} = \frac{3,5r_0^2}{h_0 + 2r_0} \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.3)$$

где h_0 – расстояние от статического уровня до дна скважины, м;

r_0 – радиус скважины, м;

m – коэффициент, зависящий от радиуса скважины r_0 ;

$$m = 1\sqrt{r_0} ;$$

h_0 – глубина воды в скважине, м.

Опытные одиночные откачки позволяют определить удельный дебит скважины и его зависимость от понижения. Коэффициент фильтрации рассчитывается приближенно, поскольку радиус влияния скважины принимается косвенным путем (по таблицам или формулам). Наблюдения и расчеты проводятся на несколько ступеней понижения.

Для условий совершенной скважины и безнапорного водоносного пласта мощностью H (м) коэффициент фильтрации рассчитывается по известной формуле Ж. Дюпюи

$$\hat{E}_{\hat{o}} = \frac{0,732Q(\lg R - \lg r_0)}{S_0(2H - S_0)}, \quad (4.4)$$

где Q – дебит скважины, м³/сут;

R и r_0 – радиусы влияния и фильтра скважины, м.

В условиях напорного водоносного пласта мощностью m формула Ж. Дюпюи имеет вид

$$\hat{E}_{\hat{o}} = \frac{0,366Q(\lg R - \lg r_0)}{mS_0}. \quad (4.5)$$

Опытные кустовые откачки дают наиболее точные и надежные данные о коэффициенте фильтрации и других гидрогеологических параметрах (показателях). Однако ввиду высокой стоимости и сложности их применения при изысканиях мелиоративных объектов пока ограничено и должно иметь технико-экономическое обоснование. При кустовом размещении скважин центральная (возмущающая) оборудуется насосом, а наблюдательные – приборами для измерения понижений уровня.

Устья всех скважин нивелируется. Количество и схема расположения наблюдательных скважин зависит от гидрогеологических условий и задач изысканий на объекте.

Произведя замер уровней воды во всех скважинах, насосом из центральной скважины начинают откачивать воду, изменяя положение статического уровня скважин. Откачка ведется не менее 3 – 5 сут до достижения установившегося режима, т.е. стабилизации динамических уровней в скважинах. Для получения надежных данных и зависимости дебита Q от понижения откачку выполняют несколько раз на различные величины понижения S_0 . При каждом определении K_{ϕ} используются понижения уровня в двух наблюдательных скважинах S_1 и S_2 при данном установившемся режиме (рис. 3.11).

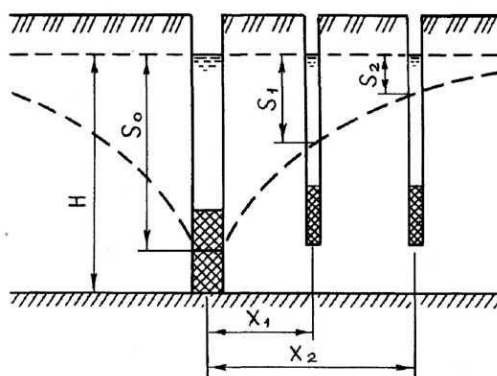


Рис. 4.2. Схема кустовой откачки для совершенной центральной скважины и безнапорных вод

Для условий совершенной центральной скважины расчет проводится по формулам Ж.Дюпюи.

Безнапорные воды:

$$\hat{E}_o = \frac{0,732Qlg(X_2 / X_1)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)}; \quad (4.6)$$

Напорные воды:

$$\hat{E}_o = \frac{0,336Qlg(X_2 / X_1)}{m(S_1 - S_2)}, \quad (4.7)$$

где H, m – мощность безнапорного и напорного пластов, м;

X_1, X_2 – расстояния от центральной скважины до первой и второй наблюдательных, м.

Наливы в шурфы применяются для определения фильтрационных свойств ненасыщенных однородных изотропных грунтов верхней части зоны аэрации. При этом глубина залегания уровня грунтовых вод от дна шурфа должна быть больше суммы высоты капиллярного поднятия и возможной мощности зоны опытного промачивания.

По результатам опытно-фильтрационных работ кроме K_ϕ определяется ряд других важных гидрогеологических параметров. Кустовые откачки позволяют определить коэффициенты водоотдачи μ , упругой водоотдачи μ' , уровнепроводности a , пьезопроводности α , перетекания B .

Коэффициент водоотдачи характеризует количество стекшей (гравитационной) воды от полной W_Π до равновесной W_P влагоемкости, выраженное в долях от объема грунта

$$\mu = \beta_\Pi^{об} - \beta_P^{об}, \quad (4.8)$$

где $\beta_\Pi^{об}, \beta_P^{об}$ – влажность грунта при полной и равновесной влагоемкости в долях его объема.

Коэффициент упругой водоотдачи выражает емкостные свойства напорного водоносного пласта и определяется зависимостью

$$\mu' = \frac{\Delta V_y}{\Delta H}, \quad (4.9)$$

где ΔV_y – изменение упругого объема воды в единичном элементе потока при изменении напора в нем на ΔH .

Коэффициент уровнепроводности характеризует скорость распространения колебаний уровня грунтовых вод при его изменении

$$a = \frac{K_\phi m}{\mu} = \frac{T}{\mu}, \quad (4.10)$$

где m – мощность водоносного пласта, м;

$T = K_\phi m$ – коэффициент водопродимости пласта, м²/сут.

Коэффициент пьезопроводности отражает скорость перераспределения пьезометрического давления в напорном пласте мощностью m .

$$a = \frac{K_{\phi} m}{\mu'} = \frac{T}{\mu'}. \quad (4.11)$$

Коэффициент перетекания характеризует интенсивность перетекания воды из основного водоносного горизонта через слабопроницаемые пласты.

$$B = \sqrt{\frac{K_{\phi} m}{K_1 / m_1 + K_2 / m_2}}, \quad (4.12)$$

где $K_{\phi} m$ – водопроницаемость основного горизонта, $\text{м}^2/\text{сут}$;

K_1, K_2 – коэффициенты фильтрации перекрывающего и подстилающего слоев;

m_1, m_2 – мощность этих слоев, м .

При проведении опытно-фильтрационных работ вблизи рек и озер необходимо учитывать гидравлическое сопротивление дниц водоемов ввиду их закольматированности.

Порядок выполнения.

При изучении видов и условий применения откачек воды из скважин вычерчиваются их соответствующие принципиальные схемы.

Расчет коэффициента фильтрации грунта K_{ϕ} в данном упражнении необходимо выполнить для условий экспресс-откачки по опытным данным одного из вариантов, приведенных в табл. 3.1 и 3.2.

В расчетах используется формула Г. Д. Эркина (3.7).

Заменяя в этой формуле радиус скважины r_0 на ее диаметр d_0 , получим расчетную зависимость для K_{ϕ} в следующем виде

$$\hat{E}_{\phi} = \frac{0,875 d_0^2}{h_0 + d_0} \text{tg} \varphi. \quad (4.13)$$

С учетом размерностей опытных данных, используемых в расчетах, в формулах (3.17) и (3.5) все линейные размеры (d_0, h_0, S_0, S_t) подставляются в см , а время понижения уровня воды t – в мин . В результате расчетов значение коэффициента фильтрации K_{ϕ} получают соответственно в $\text{см}/\text{мин}$.

Для последующего перевода этого значения в единицы измерения $\text{м}/\text{сут}$ следует иметь в виду, что $1 \text{ см}/\text{мин} = 14,4 \text{ м}/\text{сут}$.

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены значения восстановления уровня грунтовых вод S_t в скважине в зависимости от времени t по вариантам опыта.

Т а б л и ц а 4.1. Динамика значений восстановления уровня грунтовых вод S_t в скважине в зависимости от времени по вариантам опыта, см ($d_0=15$ см; $h_0=130$ см; $S_0=120$ см; грунт – легкий суглинок)

Вариант опыта	Время восстановления уровня грунтовых вод t от начала опыта, мин									
	1	3	5	7	10	12	15	20	25	30
1	104	80	60	45	29	21	15	8	3	1,8
2	95	57	36	22	11	6	4	1,0	0,4	0,1
3	107	86	66	51	37	27	21	12	6	4
4	98	66	43	28	16	10	6	2	0,9	0,3
5	101	76	54	39	23	15	10	5	1,7	0,9
6	109	90	72	58	46	34	27	16	11	6
7	97	61	39	27	13	8	5	1,6	0,6	0,2
8	110	92	74	62	48	37	31	18	12	7
9	100	68	46	31	19	11	7	3	1,1	0,5
10	92	58	31	22	9	6	4	1,1	0,3	0,1
11	108	88	69	54	40	31	24	14	7	5
12	102	78	57	42	26	18	13	6	3	1,3
13	100	74	52	38	21	14	9	4	1,5	0,6
14	106	84	63	48	34	24	18	10	6	3,0
15	103	79	59	43	28	20	14	7	2,8	1,5
Пример	101	73	48	36	22	13	8	4	1,4	0,7

Т а б л и ц а 4.2. Динамика значений восстановления уровня грунтовых вод S_t в скважине в зависимости от времени по вариантам опыта, см ($d_0=15$ см; $h_0=150$ см; $S_0=140$ см; грунт – средний суглинок)

Вариант опыта	Время восстановления уровня грунтовых вод t от начала опыта, мин									
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60
16	115	91	54	36	21	14	9	4	1,2	0,6
17	119	96	67	44	28	21	15	8	3	1,5
18	112	84	46	28	15	10	7	2	0,7	0,2
19	125	106	75	58	46	31	22	15	7	5
20	111	80	42	26	13	8	5	1,2	0,5	0,1
21	116	93	58	37	25	16	10	5	1,6	0,8
22	110	78	42	27	14	7	5	1,3	0,5	0,1
23	121	99	71	49	38	24	18	10	5	3
24	113	87	50	31	18	12	8	3	0,9	0,4
25	125	107	81	59	47	32	28	14	10	5
26	117	90	53	37	21	15	10	4	1,3	0,6
27	118	94	63	40	29	18	12	6	2	1
28	123	104	71	53	42	28	21	11	7	4
29	127	108	84	61	51	36	31	17	12	6
30	114	86	51	32	18	13	7	2,5	0,8	0,3

Используя данные h_0 , S_0 , S_t и t одной из этих таблиц по заданному индивидуальному варианту выполняют последовательный расчет значений $\text{tg}\varphi = \lg(S_0/S_t)/t$ для каждого значения t по примеру, приведенному в табл. 3.3.

После этого с целью получения устойчивого осредненного значения $\text{tg}\varphi$ строят график зависимости $\lg(S_0/S_t) = f(t)$, точки которого осредняют прямой линией (пример на рис. 3.12). По полученной прямой на графике определяют среднее значение $\text{tg}\varphi$ и, подставляя его в формулу (3.17), выполняют окончательный расчет коэффициента фильтрации $K_{\text{ф}}$ в см/мин.

Пример выполнения упражнения. Для примера расчетов $K_{\text{ф}}$ используем данные нижней строки табл.4.1. Расчеты выполняем в форме табл. 4.3, по результатам которых строим график зависимости $\lg(S_0/S_t) = f(t)$, приведенный на рис. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3. Пример расчета коэффициента фильтрации по данным откачки воды из скважины

Номер измерения	t, мин	S_t , см	S_0/S_t	$\lg(S_0/S_t)$	$\text{tg}\varphi$
1	1	101	1,188	0,075	0,075
2	3	73	1,644	0,216	0,072
3	5	48	2,500	0,398	0,080
4	7	36	3,339	0,523	0,075
5	10	22	5,455	0,737	0,074
6	12	13	9,231	0,965	0,080
7	15	8	15,00	1,176	0,078
8	20	4	30,00	1,477	0,074
9	25	1,4	85,71	1,933	0,077
10	30	0,7	171,29	2,234	0,074
					$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = 0,076$

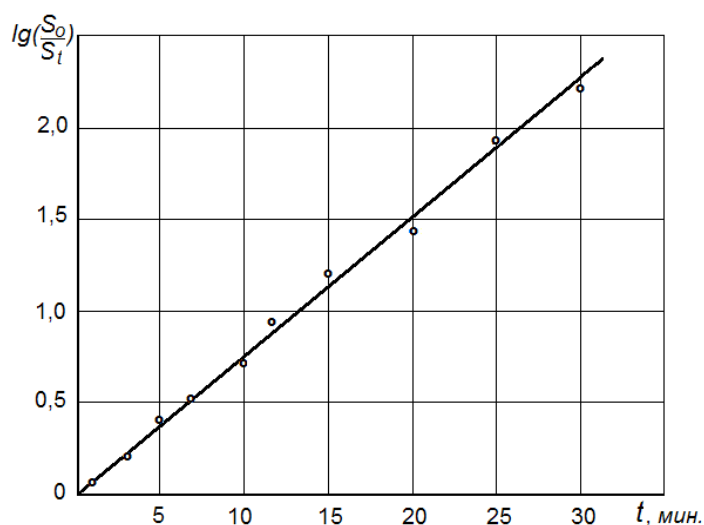


Рис. 4.3. График зависимости $\lg(S_0/S_t) = f(t)$ для принятого примера расчета коэффициента фильтрации по формуле (4.13)

При построении графика нанесенные на его поле точки осредняются прямой линией. По этой линии определяется расчетное значение $\operatorname{tg}\varphi$, как отношение ординаты ее точки, соответствующей определенному фиксированному значению времени t , к этому значению. При этом для уменьшения графической погрешности следует использовать значение t , максимальное из приведенных его значений на шкале графика 4.3.

В приведенном примере принимаем $t = 30$ мин, для которого ордината прямой $\lg(S_0/S_t) = 2,28$. Тогда

$$\operatorname{tg}\varphi = 2,28 / 30 = 0,076.$$

Полученное значение $\operatorname{tg}\varphi$ должно, как правило, соответствовать его среднему значению в табл. 3.3. При этом построение графика дает возможность более наглядного и объективного анализа опытных данных, исключения неточных и ошибочных значений и позволяет выполнять контроль вычислений.

Таким образом, в нашем случае используя формулу (4.13) и принимая $d_0=15$ см; $h_0=130$ см получим

$$\hat{E}_\delta = \frac{0,875 \cdot 15^2}{130+15} 0,076 = 0,103 \text{ см/мин.}$$

Переходя к принятым на практике единицам измерения коэффициента фильтрации (м/сут) и точности до 0,01 получим окончательно

$$K_\phi = 0,103 \cdot 14,4 = 1,48 \text{ м/сут.}$$

Контрольные вопросы

1. Назовите основные виды полевых опытно-фильтрационных работ и условия их применения.
2. Какие виды откачек воды из скважин являются наиболее точными и почему ?
3. Как выполняются опытно-фильтрационные работы на объекте с глубоким уровнем грунтовых вод ?
4. Какие постоянные и переменные параметры используют и фиксируют в процессе опыта по откачке воды из скважины ?
5. С какой целью строят график зависимости восстановления уровня воды в скважине от времени ?