

Л и т е р а т у р а

1. Альтшуль А.Х. и др. Методика и результаты моделирования запасов подземных вод на одном из водозаборов. — В сб.: Проблемы использования и охраны водных ресурсов. Минск, 1972. 2. Применение вычислительной техники при гидрогеологических исследованиях. М., 1969. 3. Усенко В.С., Альтшуль А.Х., Гудак С.П. Оценка запасов подземных вод методом электрогидродинамических аналогий. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Минск, 1965. 4. Аравин В.И. Расчеты и моделирование плановой фильтрации. М.—Л., 1968. 5. Дружинин Н.И. Применение метода ЭГДА для изучения пространственной фильтрации в сложных условиях. — В сб.: Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. М., 1964.

В.И. Фоменко

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЛЬТРАЦИИ К СКВАЖИНЕ С КОНТУРНОЙ ОБСЫПКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Рассматривается задача о движении воды к скважине с кольцевой зоной измененной проницаемости. Частным случаем задачи является фильтрация к скважине, оборудованной гравийным фильтром. Принимается, что проницаемость прифильтровой зоны уменьшается по радиусу. Фильтрация считается установившейся по закону Дарси.

Для разработки математической модели поставленной задачи была выполнена серия опытов в напорном лотке, моделирующем секторный фрагмент прифильтровой зоны скважины [1]. Лоток имеет радиус 1,5 м, высоту 0,5 м. Это позволило исследовать фильтрацию к скважине в условиях, достаточно близких к натуре. Опыты проводились в широком диапазоне изменения конструктивных параметров скважин при различных режимах их работы. Всего было проведено 30 опытов, максимальные градиенты в опытах составили 50—100, а толщина исследуемых обсыпок изменялась в пределах 5—40 см.

По опытным данным, в процессе формирования гидравлически устойчивой структуры прифильтровой зоны скважины при

ее прокачке происходит уменьшение первоначальной проницаемости гравийной обсыпки. Это уменьшение тем значительнее, чем ближе расположено расчетное сечение к зоне контакта гравия с грунтом.

При оптимальных по составу обсыпках кривая зависимости коэффициента фильтрации от радиуса выпуклая. Учитывая характер изменения водопроницаемости обсыпки по радиусу в качестве функции, аппроксимирующей опытную взаимосвязь, принимаем экспоненциальную зависимость вида

$$K(r) = be^{-[a(r - r_c)]^2}, \quad (1)$$

где a , b — постоянные; r_c — радиус скважины; r — радиус расчетного сечения.

Численные значения постоянных a и b рассчитывались из опытов по методу наименьших квадратов. Результаты расчетов для некоторых опытов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что постоянная b близка к первоначальному коэффициенту фильтрации обсыпки, в то время как a зависит от ее толщины и водопроницаемости.

При математической формулировке задачи принимается, что проницаемость прифльтровой зоны уменьшается по радиусу. Задача определения дебита скважины в данном случае сводится к решению системы дифференциальных уравнений Лапласа для области фильтрующей обсыпки и породы:

$$\frac{d}{dr} \left(r K_{\phi} \frac{dH_1}{dr} \right) = 0, \quad r_1 \leq r \leq r_0; \quad K_{\phi} = K(r); \quad (2)$$

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dH_2}{dr} \right) = 0, \quad r_0 \leq r \leq R. \quad (3)$$

Таблица 1

Характеристика грунта		Характеристика обсыпки		Постоянные	
d_{50} , мм	η'	K_{ϕ} , см/с	толщина обсыпки, см	a	b
0,35	3,0	9,1	20	0,087	9,0
0,4	"	5,9	20	0,12	4,8
"	"	11,7	10	0,151	11,7
"	"	11,0	20	0,078	10,0

С учетом граничных условий

$$H_1 = H_c \text{ при } r = r_c; H_2 = H_0 \text{ при } r = R; \quad (4)$$

$$H_1 / r_0 - 0 = H_2 / r_0 + 0; \quad (5)$$

$$K_\phi \frac{dH_1}{dr} \Big|_{r_0-0} = K_2 \frac{dH_2}{dr} \Big|_{r_0+0}, \quad (6)$$

где H_1, H_2, H_3 — напор соответственно в обсыпке, грунте, скважине; H_0 — напор на контуре области питания; K_ϕ, K_2 — коэффициент фильтрации соответственно обсыпки, породы; K_r — функция, характеризующая изменение водопроницаемости обсыпки по радиусу; r_0 — радиус контура обсыпки.

Решая уравнения (2), (3) с учетом граничных условий (3)-(5), получим

$$H_0 - H_c = \frac{Q}{2\pi M} \int_{r_c}^{r_0} \frac{dr}{rK(r)} + \frac{Q}{2\pi MK_2} \ln \frac{R}{r_0}. \quad (7)$$

Из уравнения (6) следует

$$Q = \frac{2\pi MS}{\int_{r_0}^{r_c} \frac{dr}{rK(r)} + \frac{1}{K_2} \ln \frac{R}{r_0}}. \quad (8)$$

При $K(r) = \text{const}$ зависимость (7) преобразуется в уравнение В.Н.Шелкачева [2].

Принимая во внимание зависимость (1), можно представить интеграл, входящий в уравнение (8), следующим образом:

$$\int_{r_c}^{r_0} \frac{dr}{rK(r)} = \frac{1}{b} \int_{r_c}^{r_0} \frac{e^{[a(r-r_c)]^2}}{r} dr. \quad (9)$$

Обозначим

$$F = \int_{r_c}^{r_0} \frac{e^{[a(r-r_c)]^2}}{r} dr. \quad (10)$$

Введя безразмерную переменную $\eta = \frac{r}{r_c}$ в зависимость

(10), получим

$$F = \int_1^{\eta^0} \frac{e^{[\arcc(\eta - 1)]^2}}{\eta} d\eta. \quad (11)$$

Интеграл (12) вследствие отсутствия точного аналитического решения определяется численным методом по способу Симпсона с использованием вычислительной машины Урал-2. При этом применялась стандартная программа, написанная в виде арифметического цикла с автоматическим выбором шага интегрирования для достижения нужной точности [3].

Результаты расчетов приведены в табл. 2 в виде зависимости F от η^0 и \arcc .

С учетом полученных данных зависимость для определения дебита скважины при изменении водопроницаемости обсыпки по радиусу принимает вид

$$Q = \frac{2\pi MS}{\frac{1}{b}F + \frac{1}{K_2} \ln \frac{R}{r_0}}. \quad (12)$$

Численный анализ зависимости (11) показал, что при больших значениях величины a , отвечающих интенсивной кольматации обсыпки, сопротивление прифилтровой зоны резко возрастает. Наоборот, при малых значениях a , соответствующ-

Таблица 2

$\arcc \eta^0$	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,10	0,21	0,31	0,54	0,91	1,23	1,65	1,75	1,79	1,81
0,25	0,22	0,32	0,68	0,93	1,28	1,72	1,81	1,93	2,03
0,50	0,23	0,33	0,26	1,03	1,68	2,01	2,85	4,75	8,17
0,75	0,24	0,35	0,97	1,35	2,28	5,63	-	-	-
1,00	0,25	0,39	1,02	2,02	6,32	-	-	-	-
1,50	0,26	0,72	1,90	12,00	-	-	-	-	-
2,0	0,28	1,01	4,52	-	-	-	-	-	-
3,0	0,30	1,96	-	-	-	-	-	-	-

ших оптимальным по составу обсыпкам, сопротивление при-
фильтровой зоны характеризуется меньшей величиной.

Л и т е р а т у р а

1. Фоменко В.И. Методическое пособие по расчету пара-
метров гравийных фильтров дренажных и водозаборных сква-
жин. Белгород, 1972. 2. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Под-
земная гидравлика. М., 1949. 3. Гутер Р.С., Резников-
ский П.Т. Программирование и вычислительная математика. М.,
1971.

В.У. Яблонский

МЕТОД ПЕРЕКРЫТИЯ РУСЕЛ РЕК БЕЗБАНКЕТНЫМ СПОСОБОМ С ПОМОЩЬЮ ПОДВЕСНОГО СЕТЧАТО- ХВОРОСТЯНОГО ТЮФЯКА

Как известно, намыв грунта в текущую воду при больших
скоростях течения потока почти невозможен. Поэтому прихо-
дится предварительно перекрывать реку каменным банкетом и
под его защитой в тиховод намывать земляную плотину.

Существуют различные способы перекрытия русел рек. На-
иболее распространенными являются фронтальный и пионерный с
устройством каменного банкета. Из безбанкетных способов
перекрытий получил распространение способ Д.Л.Меламута [1]. В
этом случае при возведении земляных плотин грунт намывает-
ся путем перегрузки потока пульпой сверх его транспортирую-
щей способности. Так, торцевым намывом песка успешно пе-
рекрыто русло реки Волги в створе Астраханского вододели-
теля при конечном перепаде $z = 0,32$ м [2].

Известны способы возведения земляных сооружений путем
намыва грунта в воду под прикрытием подвижного щита [1].
Перекрывается русло реки посредством расчленения перепада
[1].

Однако применение указанных методов перекрытий ограни-
чивается малыми перепадами, т.е. перекрытие может быть осу-
ществлено при сравнительно малых скоростях течения потока с
большим перерасходом намываемого грунта (объем намывого
грунта может в несколько раз превышать проектный объем
земляного сооружения).

Предлагаемый метод позволяет намывать земляное соору-
жение компактного профиля непосредственно в текущую воду
под защитой сетчато-хворостяного тюфяка, подвешенного в