

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 прифилтровой 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