ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIII, № 3, 1970 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. М. КАЗАРЯН

О ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ САМОИЗЛИВАЮЩИХСЯ СКВАЖИН АРАРАТСКОЙ РАВНИНЫ

Араратская равнина—область разгрузки подземных вод. В ее пределах залегают, в основном, два водоносных горизонта, которые переслаиваются слабоводонепроницаемыми толщами. Воды верхнего водоносного горизонта слабонапорные и, в основном, имеют отрицательный напор. Ниже этого горизонта залегают озерные глины, под ними— галечники и лавы. Этот слой и является артезианским водоносным горизонтом, воды которого находятся под напором. Скважины, вскрывающие артезианский горизонт, как правило, самоизливающиеся. Отбор подземных вод для нужд орошения предусмотрено осуществить только из нижнего напорного горизонта, так как верхний горизонт обсадной трубой изолируется от нижнего, с тем, чтобы во время остановки самоизлива воды нижнего горизонта не поступили бы в верхний водоносный горизонт и не вызвали бы повышения уровня грунтовых вод и заболачивания территории.

Для случая высоконапорных и высокодебитных самоизливающихся скважин дебиты и понижения уровня подземных вод меняются во времени. Решение задачи нестационарного режима для случая двухслойной водоносной толщи дано Ф. М. Бочевером [1], для однослойной водоносной толщи—П. Я. Полубариновой-Кочиной [2]. Ими принималось постоянство дебита скважин во времени (насосная откачка) и идентичность характеристик обоих пластов. Однако, как показали опыты, проведенные на Араратской равнине, указанные условия в случае самоизливающихся скважин имеют место далеко не всегда.

Рассматривая совершенно самоизливающиеся скважины, нами сделана попытка установить граничные условия, которые можно ставить на стенке скважины нижнего водоносного горизонта, характеризующие изменение дебитов самоизлива. Результаты приведены в настоящей статье.

Граничные условия на скважине второго водоносного горизонта (рис. 1) принимаем в виде:

$$h_c = h_ф + h_п, \tag{1}$$

где h_c—напор на забое скважины во втором водоносном горизонте во время действия скважины; $h_ф = v^2/2g$—высота фонтана по Борда; $h_п$—потери напора в стволе скважины (напоры отсчитываются от поверхности земли).

Величину h_w принимаем по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_w = \frac{\lambda l}{d}\,\frac{v^2}{2g},$$

где λ — коэффициент Дарси; l и d — соответственно длина и диаметр скважины; v — скорость движения воды в скважине. Тогда условие (1) запишется в виде:

$$h_c = \left(1 + \frac{\lambda l}{d}\right)\frac{v^2}{2g} = \left(1 + \frac{\lambda l}{d}\right)\frac{Q^2}{2g\omega^2}, \tag{2}$$

где Q и ω — соответственно дебит и площадь поперечного сечения скважины.

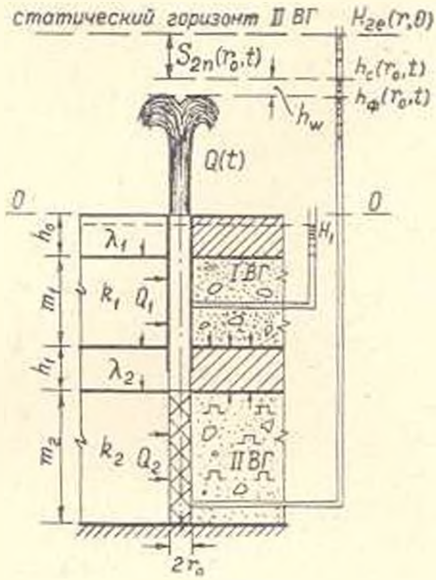

Рис. 1.

Приток воды к скважине будет:

$$Q = -2\pi r_0 k_2 m_2 \frac{\partial H_2(r,t)}{dr}, \tag{3}$$

где r_0 — радиус скважины; k_2 — коэффициент фильтрации нижнего водоносного горизонта; m_2 — мощность нижнего водоносного слоя; r — радиус-вектор; H_2 — пьезометрический напор того же слоя; t — время.

Используя (3), выражение (2) примет вид:

$$h_c(r_0, t) = A\left|\frac{\partial H_2(r_0, t)}{dr}\right|^2, \tag{4}$$

где

$$A = 2\left(1 + \frac{\lambda l}{d}\right)\frac{(k_2 m_2)^2}{g r_0^2}. \tag{5}$$

Выражение (4) является граничным условием на стенке скважины во втором водоносном горизонте. Решение задачи при таком граничном условии очень сложно. Одним из возможных путей решения линеаризация условия (4).

Граничные условия можно сформулировать и по данным натурных наблюдений за дебитами самоизливающихся скважин. В работе [3] нами установлен экспоненциальный закон изменения дебитов самоизливающихся скважин, заложенных на территории Араратской равнины. Возникает необходимость в исследовании соответствия этого закона граничному условию (4). Для этого из (2) определим дебит скважины Q:

$$Q = \sqrt{\frac{2gh_c\omega^2}{1+\frac{\lambda l}{d}}}. \tag{6}$$

Далее, из [3] имеем, что

$$Q = Q_0 e^{-qt}, \tag{7}$$

где Q_0 — дебит скважины в начальный момент самоизлива; q — постоянная, определяемая по данным опытов; t — время.

Приравнивая правые части уравнений (6) и (7), получим:

$$Q_0^2 e^{-2qt} = \frac{2gh_c\omega^2}{B},$$

откуда

$$t = \frac{1}{2q}\left(\ln\frac{Q_0^2}{2gh_c\omega^2} + \ln B\right). \tag{8}$$

Здесь

$$B = 1 + \frac{\lambda l}{d}; \tag{9}$$

$$h_c = H_{2n} - S_{2n}(r_0, t), \tag{10}$$

где H_{2n} — пьезометрический напор во втором водоносном горизонте до откачки; $S_{2n}(r_0, t)$ — понижение уровня в скважине в различное время откачки, определяемое формулой, данной в [3].

Для одной из скважин (скв. № 1), заложенных на центральной части Араратской равнины, произведены указанные расчеты, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

t, *сутки*	Q_0, *м*^{3}·*сутки*	$S_{2n}(r_0, t)$ (*м*)	$h_c(r_0, t)$ (*m*)	$\ln\frac{Q_0^2}{2gh_c\omega^2}$
20	47520	12,89	8,11	—3,057
30	"	13,71	7,29	—2,956
40	"	14,56	6,44	—2,813
50	"	15,66	5,34	—2,659
60	"	16,66	4,34	—2,397
70	"	17,67	3,33	—2,146
80	"	18,13	2,87	—1,988
90	"	18,72	2,28	—1,772
100	"	19,03	1,97	—1,610

Данные табл. 1 графически представлены на рис. 2. Уравнение аппроксимирующей прямой имеет вид:

$$t = \frac{180}{3{,}57}\left(\ln \frac{Q_0^2}{2\,gh_c\,\omega^2} + 3{,}57\right). \tag{11}$$

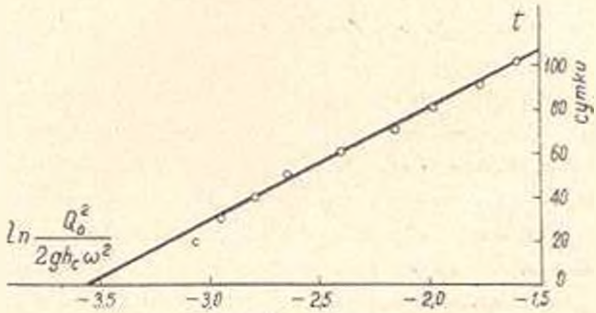

Рис. 2.

Из сопоставления (11) и (8) видно, что

$$\frac{1}{2q} = \frac{180}{3{,}57} \text{ и } \ln B = 3{,}57, \text{ т. е. } q = 0{,}01 \text{ сутки}^{-1} \text{ и } B = 35.$$

По данным натурных наблюдений среднеарифметическое значение составляет 0,0056 *суток*$^{-1}$ [4]. Полученное расхождение следует приписать нелинейности граничных условий, что обусловлено упругими деформациями пористой среды пластов в начальный период откачки.

При $B = 35$ определим коэффициент Дарси и коэффициент шероховатости открытого ствола скважины, принимая

$$B = 1 + \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2},$$

где $\lambda_{1,2}$, $l_{1,2}$, $d_{1,2}$ — соответственно коэффициенты Дарси, длина и диаметр обсадной трубы и открытого ствола скважины. Последний представляет базальтовые породы. При параметрах скважины:

$$\lambda_1 = 0{,}02;\ l_1 = 50\ м;\ l_2 = 120\ м;\ d_1 = 0{,}4\ м;\ d_2 = 0{,}5\ м$$

получается, что $\lambda_2 = 0{,}131$.

Коэффициент шероховатости определяем по формуле Маннинга:

$$n = \frac{1}{C} R^{1/6},$$

где $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda_2}}$ — коэффициент Шези.

При $\lambda_2 = 0{,}131$, $C = 24{,}5$ $м^{1/2} \cdot сек^{-1}$. Соответственно $n = 0{,}029$. Полученная величина коэффициента шероховатости открытого ствола скважины близко сходится с данными, имеющимися в литературе.

При отборе воды только из нижнего водоносного горизонта граничные условия можно сформулировать так:

$$Q_1 = -2\pi r k_1 m_1 \frac{\partial H_1}{\partial r}\Big|_{r=r_0} = 0;$$

$$Q_2 = -2\pi r k_2 m_2 \frac{\partial H_2}{\partial r}\Big|_{r=r_0} = Q_0 e^{-\alpha t}. \qquad (12)$$

Для случая осесимметричной задачи при граничных условиях (12) нами в [3] получено решение, позволяющее определять понижения уровня воды в любой точке двухслойной водоносной толщи в любой момент времени при переменном расходе самоизлива из нижнего водоносного горизонта. Для его проверки произведем сопоставление результатов аналитических расчетов с данными натурных наблюдений.

При гидрогеологических изысканиях было произведено одиночное испытание отмеченной выше скважины № 1, работающей с самоизливом. Через определенные промежутки времени измерялись расходы и пьезометрические напоры в центральной скважине № 1, а в наблюдательных скважинах—напоры. Кроме того, были произведены опыты для установления связи между понижением уровня и дебитом. По приведенным в [3] формулам для всех скважин определены понижения уровня подземных вод за один и тот же промежуток времени. Результаты расчетов и одиночной опытной откачки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номера скважин	1	1—а	1—б	1—в	1—г	1—д	1—е
Расстояние от центра скв. № 1 до наблюдательной скважины, в м	—	40	790	930	1030	1530	1580
Понижение по данным аналитического расчета, в м	4,03	2,5	0,7	0,4	0,3	—	—
Понижение по данным одиночной опытной откачки, в м	4,50	1,75	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Расхождение	0,47	0,75	0,2	0	0	—	—

Как видно из табл. 2, результаты аналитического расчета и опытной откачки почти совпадают. Это свидетельствует о приемлемости использования полученных формул для практических гидрогеологических расчетов.

Армянский СХИ

Поступило 5. VI.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бочевер Ф. М., Веригин Н. И.* Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. Госстройиздат, 1961.
2. *Полубаринова-Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод. ГТТИ, 1952.
3. *Казарян С. М.* „Известия АН АрмССР (серия ТН)", т. XX, № 4, 1967.
4. *Казарян С. М.* Сборник научных трудов АрмСХИ, № 15, 1967.