Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1996, с. 165-169.

УДК 532.546 **ГИДРАВЛИКА**

Н.Л. МЕЛИКЯН

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ДЕБИТА ОДИНОЧНЫХ ФОНТАНИРУЮЩИХ СКВАЖИН, ЗАЛОЖЕННЫХ В АРТЕЗИАНСКОМ ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ

Տրված են ցանցային մոդելի վրա շատրվանող հորի աշխատանքի մաթեմատիկական մոդելավորման եղանակը և այդ եղանակով նշված հորի համար ընդհանրացված խնդրի լուծման արդյունքում ստացված բանաձև, որը հնարավորություն է տալիս որոշել ելքը հորի աշխատանքի սկզբում և կանխագուշակել նրա հետագա անկումը: Դաշտային չափումներով բանաձևի ստուգումը թույլ է տալիս այն առաջարկել շատրվանող հորերի նախագծման և շահագործման բնագավառներում օգտագործելու համար:

Дана методика математического моделирования работы фонтанирующих скважин на сеточных моделях. Предложена формула, полученная в результате решения обобщенной задачи предлагаемым методом для этих скважин, что дает возможность определить дебит в начале работы скважины, а также прогнозировать его дальнейшее уменьшение. Проверка формулы натурными измерениями позволяет предложить ее для использования в процессе проектирования и эксплуатации фонтанирующих скважин.

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

A mathematical simulation procedure for operating spouting wells on network models is given. The formula obtained as a result of generalized problem solution by this method is proposed for these wells. This enables to determine the flow rate at the start of well operation as well as to forecast its further decrease. Checking the formula by actual measurements permits to propose it for using in designing and operation process of spouting wells.

Ill. 1. Ref. 8.

Задача точного проектирования и рациональной эксплуатации фонтанирующих скважин состоит главным образом в определении их начальных дебитов и прогнозировании их дальнейшего уменьшения во времени, что невозможно осуществить ныне имеющимися расчетными формулами, полученными для работающих вертикальных скважин с постоянным дебитом или с постоянным понижением напора [1-4].

Вопросы формирования фильтрационного потока при работе фонтанирующих скважин еще изучены недостаточно, им посвящены работы нескольких авторов, из которых, по существу, можно отличить только теоретические разработки [5]. Исходя из условия фонтана, в [6, 7] приводится в приближенной форме решение задачи. В данной статье дается ее развитие и уточнение.

Неустановившееся плановое движение фильтрационных вод в пределах изолированного упругого водоносного пласта описывается уравнением [3, 4]

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(km\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(km\frac{\partial H}{\partial y}\right)=\mu^{*}\frac{\partial H}{\partial t}, \tag{1}$$

где k — коэффициент фильтрации водоносного пласта; m — ее мощность; H — пьезометрический напор в точке с координатами (x,y) в момент времени t; μ^{*} — коэффициент упругой водоотдачи пласта.

При притоке воды в фонтанирующих скважинах краевые условия для уравнения (1) имеют вид

$$\text{при } t=0 \;\; H(x,y,0)=H_e, \tag{2}$$

$$\text{при } t>0 \;\; \lim_{\substack{x\to\infty \\ y\to\infty}} H(x,y,t)=H_e=\mathrm{const}. \tag{3}$$

На контуре скважины имеем

$$2\pi kmr_0\left.\frac{\partial H}{\partial r}\right|_{r\to r_0}=-Q(t), \tag{4}$$

где $Q(t)$ — дебит скважины, являющийся неизвестной функцией, подлежащей определению. При решении задачи для фонтанирующих скважин, исходя из ее внутренней гидравлики, дебит выражается по формулам

$$Q=\varphi\pi r_0^2\sqrt{2g[H(r_0,t)-H_0]}, \tag{5}$$

$$Q=\pi r_0^2\sqrt{2gh_\phi}, \tag{6}$$

где H_e — напор подземных вод в естественных условиях (при $t=0$); H_0 — отметка устья скважины; $H(r_0,t)$ — напор в фильтровой части скважины; r_0 — радиус скважины; h_ϕ — высота фонтана над устьем скважины; φ — коэффициент скорости движения воды в ее стволе:

$$\varphi=1/\sqrt{1+\lambda\ell_{тр}/2r_0}, \tag{7}$$

λ — коэффициент Дарси; $\ell_{тр}$ — длина водоподъемной трубы.

Аналитическое решение уравнения (1) при таких краевых условиях отсутствует, а возникающие трудности при этом связаны с нелинейным условием (4) на контуре скважины.

Для потери напора из уравнения (5) можно написать

$$\Delta H_{тр}=H(r_0,t)-H_0=\eta Q^2, \tag{8}$$

где η — общее гидравлическое сопротивление скважины:

$$\eta=1/2g\varphi^2\pi^2r_0^4. \tag{9}$$

Написав уравнение (8) для натуры (H) и модели (M), после элементарных преобразований для масштабного коэффициента моделирования (МКМ) нелинейных гидравлических сопротивлений скважины в конечном виде получим

$$d_\eta=\eta_H/\eta_M=\alpha_\rho^2/\alpha_h, \tag{10}$$

где α_ρ, α_h — МКМ линейных фильтрационных сопротивлений и напоров.

Исходя из условия фонтана, ранее для МКМ радиуса скважины получено [4]

$$\alpha_{r_0} = \sqrt[3]{\alpha_h / \alpha_\rho^2}. \qquad (11)$$

Чтобы воспроизвести турбулентное движение воды и нелинейную зависимость между дебитом и потерей напора в обсадной трубе скважины согласно уравнению (8), изготовлены и в специальных установках испытаны нелинейные гидравлические сопротивления в виде коротких труб с малыми диаметрами (капилляры), которые соединены с общеизвестным гидроинтегратором как добавочное устройство, моделирующее скважины. Радиусы этих труб выбираются согласно уравнению (11), а сопротивление - согласно (10).

Характеристики гидроинтегратора (гидравлическое сопротивление и водоемкость) устанавливаются из условий ламинарного режима движения в полном согласии с законом Дарси (математическая модель водоносного пласта).

Таким образом, удалось создать математическую модель единой гидравлической системы: водоносный пласт - скважина, с обеспечением в ней соответствующего режима движения воды.

При этом для α_h получено ограничение в виде

$$\alpha_h < 3.25 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{R_{eH}^2 \alpha_\rho^2}, \qquad (12)$$

где R_{eH} – число Рейнольдса в натуре.

Наряду с этим общеизвестным методом моделирования вертикальных скважин на сеточных моделях [3, 7] исследована работа одиночной фонтанирующей скважины, заложенной в однородном упругом водоносном пласте, в различных вариантах исходных параметров (в общей сложности рассмотрен 31 случай).

Анализируя результаты этих решений для дебита скважины, можно написать:

$$Q = f(k, m, \mu^*, H_n, r_0, \xi_{nc}, \eta, t). \qquad (13)$$

где $H_n = H_e - H_0$ – начальный положительный напор над устьем скважины.

Для получения вида функции f используем теорию подобия и размерностей и вводом расчетного радиуса фиктивной совершенной скважины уменьшим число безразмерных комплексов. По общепринятой форме его можно написать в виде

$$r_{np} = r_0 \exp(-\xi_0). \qquad (14)$$

где ξ_0 – общий коэффициент несовершенства скважины:

$$\xi_0 = \xi_{nc} + \xi_r. \qquad (15)$$

ξ_{nc} – суммарный коэффициент несовершенства скважины, обусловленный степенью и характером вскрытия водоносного пласта [1, 3]; ξ_r – приведенный коэффициент несовершенства, обусловленный гидравлическим сопротивлением водоподъемной части скважины, который, следуя [3], можно написать в виде

$$\xi_r = 2\pi k m \Delta H_{1p} / Q. \qquad (16)$$

Имея в виду (8), из (16) получим

$$\xi_r = 2\pi k m \eta Q. \qquad (17)$$

Используя известное в подземной гидравлике понятие проводимости $(T = km)$ и пьезопроводимости $(a = km/\mu^{*})$ пласта, вместе с (13) имеем

$$Q = f_1(T, a, H_n, r_{np}, t). \tag{18}$$

Критериальное уравнение, описывающее процесс фонтанирования и составленное по методу [8] при помощи матриц и анализа размерностей, после некоторых преобразований имеет вид:

$$f_2 = (\pi_1 ; \pi_2) = 0, \tag{19}$$

где

$$\pi_1 = \overline{Q} = kmH_n / Q, \quad \pi_2 = \tau_n = at / r_{np}^2. \tag{20}$$

Чтобы найти вид функции f_2, построим график зависимости между этими комплексами. Для этого определим значения $\overline{Q}$ и $\ln 2.25\tau_n$, которые нанесены на координатную систему (рис.). Полученные точки хорошо укладываются на прямой линии, уравнение которой пишется в виде

$$y = c + bx, \tag{21}$$

где c и b – постоянные коэффициенты, значения которых определяем методом наименьших квадратов:

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} [(c + bx_i) - y_i]^2 = \min, \tag{22}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} [(c + bx_i) - y_i] = 0, \\ \sum_{i=1}^{n} [(c + bx_i) - y_i] x_i = 0, \end{cases} \tag{23}$$

n – число точек, нанесенных на график.

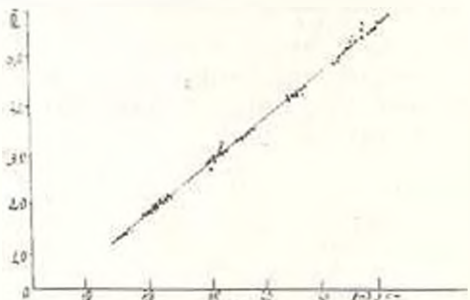

Рис.

Подставляя значения координат этих точек в систему уравнений (23), окончательно получим

$$c = 0.00994 \approx 0, \quad b = 7.9657 \cdot 10^{-2} \approx 1/4\pi. \tag{24}$$

Совместно решая (20), (21) и (24), для дебита фонтанирующей скважины получим следующую зависимость:

$$Q = 4\pi kmH_n / (\ln 2.25at / r_c^2) + 2\xi_{np} + 4\pi km\eta Q). \tag{25}$$

Полученная зависимость отличается от формулы Тейса лишь членом $4\pi km\eta Q$, характеризующим одновременно водоносной пласт и скважину.

Видно, что при малых дебитах и небольших сопротивлениях скважин зависимость (25) может привести к формуле Гейса, что дополнительно подтверждает его достоверность.

Решая (25) для дебита в конечном виде, получим следующую расчетную зависимость:

$$Q=(-F_0+\sqrt{F_0^2+64\pi^2T^2\eta H_n})/8\pi T\eta;\quad F_0=\ln(2.25at/r_c^2)+2\xi_{nc}.\quad (26)$$

Согласно (26) произведен расчет дебитов нескольких фонтанирующих скважин Араратской равнины. Результаты сопоставлены с данными натурных опытов, выполненных ПНИИИС; максимальное отклонение составляет около ± 20%. При определении гидравлических параметров водного пласта обычно допускаемая ошибка намного больше, поэтому полученная формула пригодна для инженерных расчетов при проектировании и эксплуатации фонтанирующих скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Грикевич Э.А.** Гидравлика водозаборных скважин. - М.: Недра, 1986. - 232 с.
2. **Гусейнов Г.Л., Нарсулаев И.Л.** Приток упругой жидкости к прямолинейной бесконечной батарее скважин с заданными давлениями // Исследование нефтяных газоконденсатных месторождений Азербайджана. - 1967. - Вып. 18. - С. 273-279.
3. **Шестаков В.М.** Динамика подземных вод. - М.: Изд-во МГУ, 1973. - 326 с.
4. **Щелкачев В.М., Лапук Б.В.** Подземная гидравлика. - Л.: Гостоптехиздат, 1949. - 523 с.
5. **Казарян С.М.** Водный обмен на фоне вертикального дренажа. - Ереван: Айастан, 1988. - 270 с.
6. **Меликян Н.Л.** Исследование работы фонтанирующих скважин методом математического моделирования // Изв. сельскохозяйственных наук. - Ереван, 1977. - Вып. VI. - С. 82-87.
7. **Меликян Н.Л.** К вопросу расчета фонтанирующих скважин // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - Т. XXXI, № 1, 1978. - С. 20-26.
8. Zanghar A.L. Analyse dimensionnell et la theorie de maguettes. - Paris, 1956. - 230 p.

АрмНИИВПиГ 5.01.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1996, с. 169-173.

УДК 621.181.62-5

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

М.М. ПОГОСЯН, Н.С. АКОПЯН, В.А. МАРТИРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ОКИСЛОВ ПРИ СЖИГАНИИ ОТХОДОВ В ТОПКАХ КОТЛОВ

Կատարված է SO_3 և NO_x -ի առաջացման վերլուծական ուսումնասիրություն, որի համար իրականացված է թերմոդինամիկական հավասարակշռության և գոյացման կինետիկայի հաշվարկային հետազոտություն երեք ենթադրյալ ռեակցիաների դեպքում: Պարզված է շղթայական ռեակցիաների միջանկյալ արգասիք ատոմական թթվածնի գերադասելի դերը նշված նյութերի գոյացման ընթացքում: Առաջարկված են ռեժիմային պայմաններ նրանց գոյացումը կանխարգելակելու համար: