

Таблица 2 – Паспортные характеристики скважины № 14/92, результаты обследования и газоимпульсной обработки

№ п/п	Параметры	Паспортные характеристики	Результат обследования	Результат регенерации
1	Глубина скважины, м	60	59,5	60
2	Статический уровень, м	27	23	23
3	Динамический уровень, м	-	43,0	29
4	Дебит, м ³ /ч	-	5	31
5	Понижение уровня, м	-	16	6
6	Удельный дебит, м ³ /ч/м	-	0,31	5,17

Анализ результатов обследования скважины 14/92:

Скважина не пескует при пусках на открытую задвижку и при частично закрытой задвижке при дебите $Q = 5 \text{ м}^3/\text{час}$. В воде содержатся частицы кольматанта. Удельный дебит скважины снизился, насос выхватывает воздух.

Результаты газоимпульсной обработки скважины №14/92:

Удельный дебит скважины увеличился с 0,31 м³/ч/м до 5,17 м³/ч/м, то есть в 17 раз.

Вывод

В результате полевых испытаний была подтверждена высокая надежность и эффективность устройства: удельный дебит скважин после газоимпульсных обработок увеличился в 9 (скважина № 7) и 17 (скважина №12) раз. Дополнительная реагентная обработка скважин не потребовалась.

УДК 628.112

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РАСЧЕТОВ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Крицкая В.И., Ивашкин В.В., Ануфриев В.Н.
Белорусский национальный технический университет

Целью проведения комплексных расчетов водозаборов подземных вод является снижение энергозатрат на добычу воды из скважин и транспортировку на станцию второго подъема. Для реализации этой цели необходимо на первом этапе выполнить гидравлический расчет системы сбора воды от скважин, выбрать соответствующую водо-

подъемное оборудование, выполнить корректировку математической модели с учетом фактических значений напоров в узлах сборных водоводов и дебитов скважин, а затем, на втором этапе – выполнить анализ изменения производительности отдельных скважин и водозабора в целом с учетом кольматационных процессов и сработки запасов подземных вод, разработать мероприятия по интенсификации водозабора с прогнозом их эффективности и оптимизировать работу водозабора.

Гидравлический расчет системы сбора воды от скважин

Основой гидравлического расчета является математическая модель водозабора подземных вод. Исходными данными для ее создания являются материалы натурного обследования водозабора: расчетная схема расположения скважин и сбора воды (рис. 1); параметры пластов, характеристики скважин и насосного оборудования; взаимовлияние скважин.

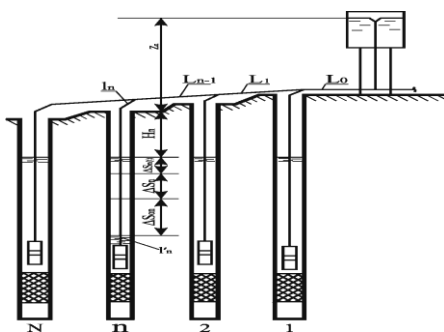


Рис. 1 – Расчетная схема водозабора

Система нелинейных уравнений, описывающих работу водозабора, состоит из N уравнений, равных числу скважин водозабора с неизвестными дебитами Q_n . Каждое уравнение представляет собой баланс напоров потока в трубопроводе с включенным в него насосом, забирающим воду из n -ой скважины водозабора. Уравнение для n -ой скважины водозабора имеет вид:

$$H_n^H = S_n + H_n + Z_n + \Delta H_n, \quad (1)$$

где H_n^H – напор насоса; S_n – понижение в скважине; H_n – расстояние от устья скважины до статического уровня; Z_n – геометрический напор; ΔH_n – суммарные потери напора в колонне водоподъёмных труб длиной l'_n , линии подключения к сборному водоводу длиной l_n , на участках сборного водовода $\sum_{1}^{n-1} L$ и конечном участке L_0 .

Выражение для напора скважинного насоса может быть аппроксимировано в виде полиномиальной зависимостей

$$H_n^H = a_n - \epsilon_n Q^2 - c_n Q, \quad (2)$$

где a_n – некоторый фиктивный напор насоса; ϵ_n, c_n – коэффициенты кривой $H_n^H(Q)$ насоса, характеризующие его фиктивное гидравлическое сопротивление.

Понижение в n -ой скважине S_n может быть представлено в виде

$$S_n = S_{0n} + \Delta S_n, \quad (3)$$

где S_{0n} – понижение уровня, вызванное откачкой из данной скважины в условиях её одиночной работы без учёта влияния взаимодействующих скважин;

ΔS_n – понижение (срезка) уровня в этой скважине, обусловленное влиянием всех совместно работающих скважин;

Обозначим через S'_n понижение в n -ой скважине с учётом влияния взаимодействующих с ней скважин

$$S'_n = S_{0n} + \Delta S'_n. \quad (4)$$

Удельный дебит q'_n n -ой скважины с учётом влияния взаимодействия можно найти по методу М.Е. Альтовского [1]

$$q'_n = q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right), \quad (5)$$

где $\left(\sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right)$ – суммарный коэффициент снижения дебита,

равный сумме коэффициентов снижения дебита $\alpha_{j,n}$ влияния всех j -х скважин, взаимодействующих с n -ой скважиной; q_n – удельный дебит скважины на момент обследования при её одиночной работе; индекс ∇ указывает на то, что из суммы исключен член $j = n$.

Коэффициенты снижения дебита $\alpha_{j,n}$ определяются по данным одиночных откачек.

Тогда дебит скважины Q_n с учетом взаимодействия равен

$$Q_n = S'_n q'_n = S'_n q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right). \quad (6)$$

Отсюда понижение в скважине с учетом взаимодействия:

$$S'_{n(t)} = Q_n / \left[q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right) \right]. \quad (7)$$

Потери напора ΔH_n в трубопроводах определяют по общей формуле

$$\begin{aligned} \Delta H_n = & (l_n A_n) Q_n^2 + (l'_n A'_n) Q_n^2 + L_0 A_0 \sum_{j=1}^N Q_j^2 + \\ & + L \sum_{i=1}^{n-1} A_i \left(\sum_{j=1}^N Q_j - \sum_{j=1}^{n-1} Q_j \right)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

где A – удельное сопротивление трубопроводов.

Подставив в уравнение (1) выражения (2), (6) и (8) получим

$$\varepsilon_n Q_n^2 + c Q_n + Q_n \left[q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right) \right] + H_n + Z_n + \Delta H_n - a_n = 0 \quad (9)$$

Система уравнений вида (9) решается итерационными методами, определяются дебиты скважин, напоры в узлах сборного водовода и производится корректировка математической модели с учетом фактических значений напоров в узлах сборных водоводов и дебитов скважин.

Анализ снижения производительности отдельных скважин и водозабора в целом. Производительность водозабора снижается с течением времени.

На интенсивность снижения во времени производительности группового водозабора подземных вод оказывают влияние следующие процессы: 1) кольматаж фильтров скважин; 2) сработка запасов подземных вод; 3) износ насосного оборудования; 4) снижение пропускной способности трубопроводов.

Проведем учет этих процессов и выполним анализ степени влияния каждого в отдельности и в целом на интенсивность снижения производительности водозабора.

Учет кольматажа фильтров скважин. Для фильтров, имеющих сниженную по сравнению с пластом проницаемость, изменение удельных дебитов в результате химического кольматажа подчиняется экспоненциальной зависимости

$$q_t = q_0 e^{-\beta t}, \quad (10)$$

где q_t – текущий удельный дебит; q_0 – начальный удельный дебит скважины; β – коэффициент, учитывающий изменения удельного дебита скважины в связи с кольматажем (коэффициент старения скважины); t – время.

Отсюда понижение в n -ой скважине с учетом взаимодействия (10) и роста кольматажа во времени

$$S'_{n(t)} = Q_n e^{\beta t} \left[q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla \alpha_{j,n} \right) \right]. \quad (11)$$

Коэффициент β , учитывающий изменения удельного дебита скважины в связи с кольматажем, определяются на каждой скважине по результатам наблюдений за изменением удельного дебита от момента сооружения скважины.

Учет сработки запасов подземных вод. Расчет дополнительного понижения уровня в несовершенной скважине, работаю-

щей с постоянным дебитом Q в результате сработки запасов подземных вод за период времени t [год] от момента после проведения обследования рассчитываем по формуле [2]

$$S_{n(t)} = \frac{Q_n}{4\pi km} [R_0 + 2\zeta(l/m; m/r)] \quad \dots(12)$$

где Q – производительность скважины; k – коэффициент фильтрации водоносного пласта; m – мощность пласта; R_0 – безразмерное сопротивление при действии совершенной скважины; l – длина фильтра; r – радиус фильтра; ζ – дополнительное сопротивление, обусловленное несовершенством скважины по степени вскрытия пласта, $\zeta = f(l/m; m/r)$.

Величину R_0 находим из формулы $R_0 = \ln \frac{r_{вл}}{r}$, где $r_{вл}$ – радиус влияния, определяемый по формуле $r_{вл} = 1,5 \sqrt{at_c}$, a – коэффициент пьезопроводности, м²/сут; t_c – продолжительность эксплуатации водозабора после обследования, $t_c = 365 \cdot t$, сут.

Величину ζ находим из графика [2].

Окончательно получим:

$$S'_{n(t)} = \frac{Q_n}{4\pi km} \left[\ln \frac{1,5\sqrt{at_c}}{r} + 2\zeta \right] \quad (13)$$

Учет снижения напорной характеристики насоса вследствие износа. Для прогноза снижения напорной характеристики насоса нами предложено выражение для определения напора насоса H_t^H в момент времени t , исчисляемый от момента его установки насоса на скважину. С учетом (2.3) это выражение имеет вид:

$$H_{nt}^H = \left(1 - \frac{\varepsilon t}{T}\right) H_n^H = \left(1 - \frac{\varepsilon t}{T}\right) (a_n - \varepsilon_n Q^2 - c_n Q), \quad (14)$$

где H^H – напор насоса, определяемый выражением (2), при его установке в скважине; ε – коэффициент интенсивности снижения напора насоса, значение которого определяется экспериментально для данной скважины и зависит от марки насоса и его состояния перед установкой (новый или после капремонта); t – продолжительность работы насоса на скважине; T – средний срок службы насоса данной марки (ресурс насоса).

Учет изменения пропускной способности напорных водоводов в процессе их эксплуатации. Пропускная способность напорных водоводов систем водоснабжения снижается в процессе эксплуатации. Шероховатость труб увеличивается вследствие образования отложений и коррозии.

В первом приближении увеличение шероховатости можно оценить по формуле [3]

$$k_t = k_0 + \alpha t, \quad (15)$$

где k_0 – абсолютная шероховатость в мм для новых труб; k_t – абсолютная шероховатость через t лет эксплуатации; α – коэффициент, характеризующий быстроту возрастания шероховатости, мм/год.

В предположении квадратичного закона сопротивления величина коэффициента гидравлического трения λ через t лет эксплуатации будет равно

$$\lambda_t = \lambda_0 \left(\frac{k_t}{k_0} \right)^{0,25},$$

где λ_0 – коэффициента гидравлического трения в начале эксплуатации, $\lambda_0 = 0,11 (k_0 / d)^{0,25}$.

Отсюда удельное сопротивление трубы через t лет эксплуатации можно определить из формулы $A_t = i_t / Q^2$, где i_t – гидравлический уклон через t лет эксплуатации, $i_t = \lambda_t \frac{V^2}{2gd}$

Тогда потери напора ΔH_{nt} в трубопроводах через t лет эксплуатации будут определяться по формуле (8) при замене A на A_t .

Тогда уравнение (9) примет вид

$$\left(\epsilon_n Q_n^2 + c Q_n - a_n \right) \left(1 - \frac{\epsilon t}{T} \right) + Q_n \cdot e^{\beta t} / \left[q_n \left(1 - \sum_{j=1}^n \nabla a_{j,n} \right) \right] + H_{nt} + Z_n + \Delta H_n + \frac{Q_n}{4\pi km} \left[\ln \frac{1,5\sqrt{at_c}}{r} + 2\zeta \right] = 0 \quad (16)$$

Используя уравнение (16) можно выполнить анализ изменения производительности водозабора в целом задавая время t его эксплуатации.

Библиографический список

1. Альтовский, М.Е. *Справочник гидрогеолога*. – М., Госгеолтехиздат, 1962. – 616 с.
2. Арцев, А.И. *Проектирование водозаборов подземных вод / Ф.М. Бочеввер, Н.Н. Лапшин и др.*. М., Стройиздат, 1976.- 292 с.
3. Киселёв, П.Г. *Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселёв, А.Д. Альтшуль, Н.В.Данильченко и др* – М., Энергия, 1972.-312 с.

УДК 691.327

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ МОДЕЛЕЙ ГОРНЫХ БУЛЬДОЗЕРОВ

Кузнецов С.М., Глотов В.А.

Сибирский государственный университет путей сообщения

Построен доверительный интервал модели коэффициента использования горных бульдозеров по времени.

Для доказательства обоснованности значений выборки результатов натурных испытаний проводилась логическая и математическая проверки испытаний [1].

С помощью программного обеспечения «Modell» [2 – 4] для выборки из $n=270$ записей, методом наименьших квадратов было построено регрессионное уравнение и с помощью программы «Diagram» [5, 6] сформирована таблица дисперсионного анализа (таблица 1).

Таблица 1 – Таблица дисперсионного анализа

Источник	Число степеней свободы	Сумма квадратов (SS)	Дисперсия (MS)	F-критерий
Регрессия	1	S_r	S_r	F
Остаток	$n - 2$	S_s	s^2	
Общий, скорректированный	$n - 1$	S_p		