

Расчет водозаборов методом обобщенных систем скважин

Метод обобщенных систем скважин разработан Ф.М. Бочевеком и описан в его работе. Он широко используется при гидродинамических расчетах водозаборов со значительным количеством скважин, эксплуатирующихся с одинаковыми расходами Q_0 и располагающихся на равных расстояниях 2σ . В основе метода лежит возможность использования в качестве расчетной модели скважин источников и стоков определенной интенсивности, т.е. точек, которые выделяют или поглощают жидкость. Это равносильно замене реальных скважин с радиусом $r_0 > 0$ некоторыми условными скважинами «исчезающе» малого диаметра $r_0 \rightarrow 0$.

Моделирование скважин источниками позволяет использовать для расчётов водозаборов многочисленные решения, которыми описывается действие источников в теории теплопроводности. При этом можно применять метод распределения источников по различным линиям, поверхностям и объемам, геометрически соответствующим распределению реальных водозаборов. Такой подход имеет существенные преимущества перед методом дискретного учета влияния водозабора из каждой скважины, который связан с громоздкими расчетами, и методом “большого колодца”, который не обеспечивает точного решения задачи. Особенно это актуально для ограниченных пластов, расчеты в которых связаны с использованием метода “зеркальных” отображений.

Сущность метода обобщенных систем заключается в том, что реальная группа скважин заменяется бесконечным множеством источников с постоянным расходом, равномерно распределенным по линии или площади, соответствующим действительному расположению скважин. Суммарное влияние всех источников определяется методом суперпозиции.

Суммарный расход этих источников принимается равным расходу реальных скважин:

$$Q_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n Q_i = qw(ql), \quad (1)$$

где Q_i - расход i -ой реальной скважины (n - общее их число);

q – расход на единицу длины контура l или площади w , в пределах которых располагаются скважины.

Таким образом, большое количество скважин заменяется одним укрупненным сооружением типа горизонтальной дрены или площадки с равномерно распределенным расходом $q(l)$ или $q(w)$. В данном случае влияние скважин друг на друга оценивается суммарно не только в удаленных точках, как в методе “большого колодца”, но и на самих участках расположения скважин, ибо взаимодействие бесконечного числа источников оказывается тождественно взаимодействию реальных скважин.

Понижение от работы обобщенной системы выразится суммой:

$$S = S_w + \Delta S_{\text{скв}}, \quad (2)$$

где S_w - понижение уровня, обусловленное действием обобщенной системы, зависящее от суммарного водоотбора, размера и формы площади, занятой скважинами, влияния внешних границ пласта, времени эксплуатации скважин и положения точки, где определяется понижение;

$\Delta S_{\text{скв}}$ - дополнительное понижение в самой скважине, которое зависит от расхода одной скважины, расстояния между скважинами, радиуса фильтра и несовершенства скважины.

Решения получены для систем скважин, имеющих вид прямой линии (галереи), ограниченных и неограниченных размеров, кольца и ограниченной площадки (рис.1, 2).

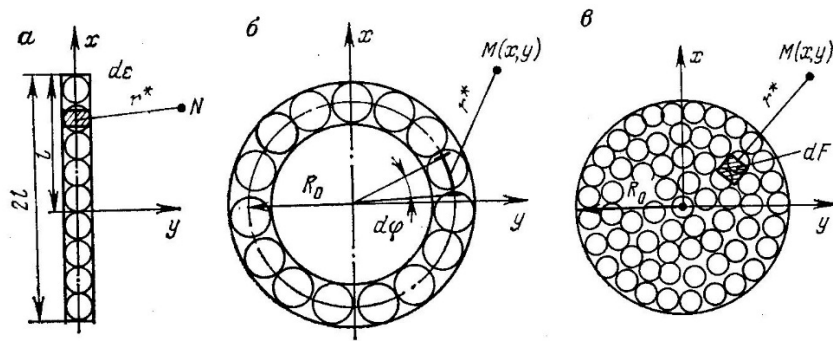


Рис. 1. Типовые схемы обобщенных систем скважин (по Ф.М. Бочевру)

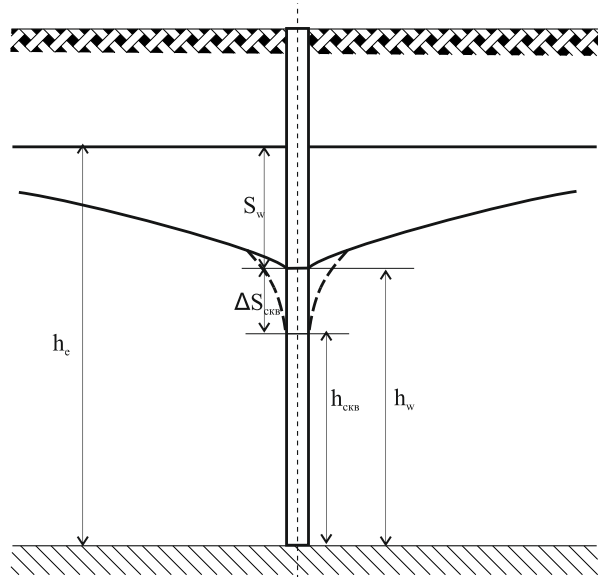


Рис. 2. Схема к расчету понижения уровня в обобщенной системе скважин

Ф.М. Бочевром выведены решения для любой точки внутри системы (точки M и N на рис.1). Однако можно ограничиться расчетом для наиболее нагруженной скважины в системе, обычно - в центре, что и рассмотрено ниже.

Формула для расчета понижения в центре обобщенной системы скважин в неограниченном пласте имеет вид:

$$S_w = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi km} R_w, \quad (3)$$

где R_w - безразмерное гидравлическое сопротивление при действии обобщенной системы скважин.

$$R_w = 2 \ln \frac{R_k}{r_{np}} \text{ и } R_w = \ln \frac{2,25at}{r_{np}^2}, \quad (4)$$

где r_{np} определяется в зависимости от расположения водозаборных скважин в системе:

для линейного ряда ограниченной протяженности: $r_{np} = 0,37l$,

для кольцевого расположения скважин: $r_{np} = R_0$,

для круговой площадки: $r_{np} = 0,61R_0$,

где l - половина длины линейного ряда,

R_0 - радиус кольца или круговой площадки,

R_k - радиус контура питания при стационарном режиме фильтрации.
При произвольном расположении скважин по контуру

$$R_0 = \frac{P}{2\pi}, \quad (5)$$

где P - периметр контура расположения скважин.

Для прямоугольной площадки размещения скважин с длиной $2l$ и шириной $2b$ следует принять:

$$R_0 = 2\sqrt{\frac{bl}{\pi}} \text{ при } \frac{b}{l} \approx 1, \quad (6)$$

$$\text{и } R_0 = \frac{2(l+b)}{\pi} \text{ в иных случаях.} \quad (7)$$

Основным условием применимости метода обобщенных систем является наступление квазистационарного режима фильтрации в пределах всей системы, то есть выполнение ограничений:

для линейных систем

$$\frac{l^2}{at} \leq 0,1 \text{ или } t \geq \frac{10l^2}{a}, \quad (8)$$

для кольцевых систем

$$\frac{R_0^2}{at} \leq 0,1 \text{ или } t \geq \frac{10R_0^2}{a}. \quad (9)$$

Для условий стационарного режима

$$l \leq 0,3R_k \text{ или } R_0 \leq 0,3R_k. \quad (10)$$

Расчет скважин у границ I и II родов осуществляется по формуле:

$$S_w = \frac{Q}{4\pi km} (R_w + R_{отобр}), \quad (11)$$

где $R_{отобр}$ - безразмерное сопротивление отображенной реальной системы относительно границ пласта, причем обычно

$$R_{отобр} = \sum_{i=1}^n \left[E_i \left(-\frac{\rho_i^2}{4at} \right) \right], \quad (12)$$

где ρ_i - расстояние между центрами реальной и отображенной системы скважин, $i = 1, 2, \dots, n$ число границ, относительно которых осуществляется зеркальное отображение. При этом от границ постоянного напора отображение осуществляется со знаком “-”, от непроницаемых границ со знаком “+”.

Дополнительным ограничением на использование метода обобщенных систем скважин при расчетах взаимодействующих систем или зеркальных отображений является условие

$$L_c \geq l \text{ или } L_c \geq R_0, \quad (13)$$

где L_c - расстояние от границ пласта до центра обобщенной системы скважин.

Использование формулы для линейного ряда скважин неограниченной протяженности вблизи открытой границы ($S=0$), приобретает следующий вид:

$$S_w = \frac{q \cdot L}{km}, \quad (14)$$

где L - расстояние до открытой границы с учетом ее несовершенства.

Для определения понижения уровня непосредственно в одной из скважин обобщенной системы используется формула (6.2), причем

$$\Delta S_{скв} = \frac{Q_0}{2\pi km} \Delta R_{скв}, \quad (15)$$

где Q_0 - расход скважины,
 $\Delta R_{\text{скв}}$ - дополнительное или внутреннее гидравлическое сопротивление,
определяемое в зависимости от типа обобщенной системы скважин.

$$\Delta R_{\text{скв}} = \ln \frac{r_n}{r_0} + \xi, \quad (16)$$

где ξ - показатель несовершенства скважины.

Величина r_n определяется по формулам:

$$\text{для контурных систем (линейных, кольцевых) - } r_n = \frac{\sigma}{\pi}, \quad (17)$$

$$\text{для площадных систем скважин - } r_n = 0,47 \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \quad (18)$$

где F - площадь круга, равная площади внутренней области влияния скважин,
границы которой проводятся посередине между соседними скважинами.