

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Н.Н. КОВАЛЕНКО

*Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь, nat@yandex.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Существенное изменение гидродинамической обстановки в результате интенсивного водоотбора из рабочих горизонтов привело к развитию целого ряда негативных техногенных процессов, довольно серьезно влияющих на экологическую обстановку региона и технологию разработки месторождения.

В первую очередь к ним относятся:

1. Формирование обширной депрессионной воронки и истощение эксплуатационных запасов подземных вод.
2. Активизация процессов пескования скважин и проблема устойчивости кровли водоносных горизонтов.
3. Возникновение реальной угрозы перетока некондиционных вод в рабочие горизонты из выше и ниже лежащих водоносных горизонтов, содержащих напорные воды повышенной минерализации (до 60 г/дм³).

Краткая характеристика объекта

Месторождение представляет собой линзу слабосоленоватых вод с минерализацией до 5,0 г/дм³. В плане водозабор представляет собой систему линейных скважин, расположенных по длинной оси линзы. Месторождение представлено тремя основными рабочими горизонтами, содержащими напорные воды, разделенные относительно водоупорными глинистыми породами. Технологическая схема предполагает использование подземных вод в качестве добавки в дистиллят для приготовления питьевой воды, а также в санитарно-гигиенических целях города.

Исследование объекта

Решение вышеизложенных проблем может быть получено с использованием пространственной математической модели объекта. При этом математическая модель может быть полезна для решения следующих проблем:

- ✓ прогноз роста депрессионной воронки динамического уровня;
- ✓ прогноз динамики изменения химического состава и минерализации подземных вод;
- ✓ прогноз развития техногенных процессов в зоне влияния водозабора, оценка степени воздействия их на экологическую обстановку региона и технологию разработки месторождения;
- ✓ выбор оптимальных режимов эксплуатации водозабора.

При составлении проекта разработки месторождения производительность водозаборных скважин была принята одинаковой и исходя из возможностей водоносного горизонта и выбранного типа насоса. При таком распределении дебита, депрессионная воронка имеет максимум в центре тяжести водоотбора и минимум на периферийных участках. Для системы линейно расположенных скважин, каптирующих напорные воды, и условий квазистационарного режима понижения уровней могут быть определены по зависимости [1]:

для центра депрессии: для концевых участков:

$$S_u = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi * k_m} \left(\frac{\ln 16,4a * T}{L^2} \right) + \frac{Q_0}{2\pi * k_m} \left(\frac{\ln b / \pi r_0}{\pi r_0} \right), S_k = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi * k_m} \left(\frac{\ln 4,1a * T}{L^2} \right) + \frac{Q_0}{2\pi * k_m} \left(\frac{\ln b / \pi r_0}{\pi r_0} \right) 1,$$

где S_u, S_k – понижение уровня подземных вод в центре водозаборных скважин и на периферии соответственно, $Q_{сум}, Q_0$ – соответственно суммарная производительность водозабора и скважины, k_m – водопроницаемость пласта, a^* – пьезопроводность пласта, b – половина шага между скважинами, r_0 – приведенный радиус скважины с учетом скин-эффекта [4], L – половина длины линейного ряда скважин, T – продолжительность прогнозного периода.

Для исследуемого объекта при фактических данных протяженность линейного ряда скважин $2L=42$ км, количество водозаборных скважин $n=29$, шаг $2b=1,5$ км, $k_m=80$ м²/сут, $Q_{сум}=40000$ м³/сут, $Q_0=1380$ м³/сут, $r_0=30$ м, $a^*=2 \cdot 10^5$ м²/сут, $T=10000$ сут. (25 лет – нормативный срок амортизации скважин – межкапремонтный период), понижение уровня по (1) будет равно: $S_u=177,2$ м, $S_k=121,1$ м.

Указанный режим эксплуатации месторождения является основной причиной вышеперечисленных проблем, так как составлен без учета действия ряда негативных факторов. В первую очередь к ним относится пескование скважин. То есть в процессе водоотбора из скважин вместе с откачиваемой водой происходит вынос тонкодисперсной фракции породы, которая, проходя через проточные части насосного оборудования, способствует его преждевременному выходу из строя. Кроме этого, в результате пескования в скважинах, в верхней части водоносного горизонта, сформировались обширные водоприемные воронки. Комплексными исследованиями (геофизическими, гидродинамическими) установлено, что радиус водоприемных воронок определяется величиной дебита скважин и составляет в среднем около 75м. В таких условиях возникает вероятность обрушения кровли и поступления в водоносные горизонты некондиционных вод вышележащих водоносных горизонтов. Кровля представляет собой толщу относительно водоупорных темно-серых кварцево-глауконитовых глин мощностью около 50м, разделяющих водоносные горизонты. Известно, что устойчивость кровли сохраняется при выполнении условия [2]:

$$R < \frac{v_e (H_{cm} - S_{кр}) * tga}{(1 - m_k) * v_k + v_e * m_k}, \quad (2)$$

где R – предельная величина радиуса водоприемной воронки, H – статическое значение напора подземных вод, m_k – величина понижения уровня (зоне депрессионной воронки), при котором нарушается устойчивость кровли, tga – коэффициент крепости пород кровли (по Протодьяконову), m_k, v_k – пористость и плотность отложений кровли, v_e – плотность воды. При фактических значениях: $R=75$ м, $tga=0,50$, $m_k=0,3$, $m_k=1,90$ т/м³, $H_{cm}=400$ м по (2) получаем $S_{кр}=156$ м (величину допустимого снижения уровня).

При снижении уровня ниже этой отметки устойчивость кровли будет нарушена.

Расчетами установлено, что при действующем режиме эксплуатации в зоне вероятного обрушения кровли будет находиться 5 скважин центральной части водозабора. Определим момент времени (t_x), когда в центральной части депрессионной воронки будет достигнуто понижение уровня ($S_{кр}$) [4]:

$$S_u - S_{кр} = \frac{Q_{сум}}{4\pi k_m} \left(\frac{\ln T}{t_x} \right) \quad (3)$$

Подставив численные значения и выразив t_x , получим: $t_x=14,7$ года.

Как следует из расчетов, спустя 14,7 года после ввода скважин в эксплуатацию потребуется переоборудование фильтров центральной части водозабора. Эти скважины не отработают амортизационный срок.

Используя математическую модель, был просчитан вариант оптимального распределения суммарного дебита, при котором понижение уровня во всех скважинах к концу 25-летнего срока не превышает 150 метров. Суть его заключается в увеличении нагрузки на скважины

периферийной части и сокращении в центре. Таким образом, перераспределение нагрузок между скважинами решает несколько проблем. Во-первых, обеспечивается устойчивость кровли водоносных горизонтов, уменьшается вероятность возникновения перетоков из вышележащих горизонтов. Во-вторых, частично решается проблема истощения запасов. В-третьих, этот вариант является более эффективным с экономических позиций.

Экономическая значимость данного варианта выражается в увеличении срока эксплуатации скважин, расположенных в зоне центральной части депрессии, без затрат на капитальный ремонт (перебуривание скважины, укрепление кровли, установка фильтра) на 10,3 года. Для определения экономической эффективности увеличения срока эксплуатации скважин в период между капремонтами равнозначные затраты по капитальному ремонту 1 скважины в сутки 240 тыс. долл. (капитальные вложения, предусмотренные на проведение данного вида работ по объекту) приводим к началу эксплуатации.

Расчет производим по формуле [5]:

$$k_{np}^i = \sum_{t=1}^T \frac{k_t^i}{(1 + E_{н.н.})^{t-1}}, \quad (4)$$

где k_{np}^i – капитальные вложения, приведенные к единому моменту времени при реализации i-го варианта; k_t^i – запроектированные капитальные вложения при реализации i-го варианта в t-ом году; t – порядковый год реализации запроектированного объекта (капитального ремонта) капитальных вложений, T – порядковый с начала реализации варианта год, к которому приводятся капитальные затраты; $E_{н.н.}$ – норматив приведения разновременных затрат, равный 0,08.

1. По варианту, предусмотренному проектом эксплуатации водозабора (равномерное распределение дебита между скважинами), расчет по (4):

$$k_{np}^1 = 240000 / 1,08^{13,7} = 83624 \text{ долл.}$$

2. По варианту, выполненному на математической модели,

$$k_{np}^2 = 240000 / 1,08^{24} = 37854 \text{ долл.}$$

Годовой экономический эффект Эг определяется в общем случае по формуле [3]:

$$\text{Эг} = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2), \quad (5)$$

где C_1 и C_2 – годовые текущие затраты по сравниваемым вариантам;

K_1 и K_2 – капитальные затраты по сравниваемым вариантам;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (0,12).

В рассматриваемом случае годовые текущие затраты в целом по водозабору в сравниваемых вариантах остаются неизменными, поскольку суммарный водоотбор не меняется. Поэтому при расчете экономического эффекта по сравниваемым вариантам принимаем $C_1 = C_2$. Годовой экономический эффект по пяти скважинам (n), попадающим в зону вероятного обрушения, составляет [3]:

$$\text{Эг} = E_n \cdot n \cdot (k_{np}^1 - k_{np}^2) = 0,12 \cdot 5 \cdot (83624 - 37854) = 27642 \text{ долл.}$$

ВЫВОДЫ

Приведенные выше оценки распределения дебитов затрагивают только влияние гидродинамических факторов на эксплуатацию месторождения. На основе математической модели создается система управления, которая позволит решать задачи технологического плана (выбор необходимого оборудования, режимы работы скважин и инженерных сетей), а также дать оценку воздействия водозабора на экологическую и санитарно-гигиеническую обстановку всего региона, то есть рационально управлять не только режимом эксплуатации действующего водозабора, но и режимом подземных вод в пределах всего месторождения. В этом случае математическая модель должна более полно учитывать природные особенности объекта, режимобразующие факторы, их взаимодействие и изменение в процессе эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техногенные процессы в подземных водах (биосферный подход, диагностика и управление) / под ред. проф. Гавич И.К. – М.: Научный мир, 2003. – 248 с.
2. Башкатов, Д.Н. Справочник по бурению скважин на воду / Д.Н. Башкатов. – М., Недра, 1979. – 559 с.
3. Левальд, Х.А. Экономическая эффективность добычи пресной воды / Х.А. Левальд. – М., Недра, 1990. – 232 с.
4. Мироненко, В.А. Динамика подземных вод / В.А. Мироненко. – М., Недра, 1983. – 357 с.
5. Моссаковский, Я.В. Экономика горной промышленности / Я.В. Моссаковский. – М., Недра, 1988 – 367 с.

PROBLEMS OF OPERATING LARGE WATER-INTAKING CONSTRUCTIONS

N.N. KOVALENKO

Summary

Mathematical modeling of geo-filtration processes refers to the possibility of behavior prediction of water-bearing horizons at intensive drainage system. The presented work is dedicated to the study of processes of migration and mass transfer, which are of prime importance in water- supply of big regions based on subterranean water sources.

Поступила в редакцию 15 октября 2009г.