

СХЕМАТИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ИСКИТИМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Э.А. Кыйматов

Научный руководитель доцент К.И. Кузеванов

**Национальный исследовательский томский политехнический университет,
г. Томск, Россия**

Подсчёт запасов подземных вод является важнейшим этапом разведочных работ на подземные воды. Он заключается в определении проектной производительности геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданных режимах и условиях эксплуатации, обеспечивающих соблюдение требований к качеству воды для её использования по соответствующему целевому назначению. Подсчёт запасов подземных вод на Искитимском месторождении показал необходимость использования численного моделирования наряду с традиционной методикой аналитических гидродинамических расчётов.

Рассматриваемая территория расположена в центральной части Колывань-Томской складчатой зоны, представленной палеозойскими структурами. В геоморфологическом отношении рассматриваемая территория находится на поверхности первой надпойменной террасы реки Бердь. Основным объектом изучения являются подземные воды, приуроченные к водоносной зоне трещиноватости (ВЗТ) палеозойских пород. Водовмещающие породы представлена известняками и известково-глинистыми сланцами. Кровля ВЗТ вскрывается скважинами на глубинах от 6,4 – 12,1 м в северо-западной части месторождения до 15,0 – 19,5 м на юго-востоке.

Водообильность продуктивной толщи в границах исследуемого участка характеризуется повышенными значениями удельных дебитов скважин по отношению к сопредельным территориям. Наиболее водообильной и выдержанной в этом отношении является береговая зона, на участке крутой излучины р. Бердь. По мере удаления от реки фильтрационные характеристики коллектора подземных вод значительно ухудшаются. Величина коэффициента водопроницаемости, на территории области питания в границах местных водораздельных поверхностей уменьшается до 20 – 30 м²/сут. Воды обладают напорным гидравлическим характером. Поток подземных вод в естественных условиях направлен к руслу реки Бердь с уклоном 0,003 - 0,005. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков на плоских участках водораздела и склонов. Разгрузка осуществляется в реку Бердь и ее притоки как непосредственно, так и через аллювиальные отложения поверхностных водотоков.

Исследуемый участок характеризуется довольно сложным геолого-гидрогеологическим строением. Осложняющими факторами являются: изменчивость коллекторских свойств в пространстве, наличие тектонических нарушений, выраженная гидравлическая связь с поверхностными водами, а также наличие процессов перетекания между горизонтами.

Согласно геологическому строению и региональным особенностям гидрогеологических условий района, основные запасы подземных вод сосредоточены в пределах водоносной зоны трещиноватости палеозойских пород, представляющей собой основной объект разведочных работ. Водоносная зона характеризуется средним значением коэффициента водопроницаемости на уровне 344 м²/сут, и коэффициентом пьезопроводности 2,59×10⁶ м²/сут, характерным для напорных условий фильтрации [1]. Статические уровни воды при бурении скважин, в зависимости от их положения в рельефе, отмечаются на глубинах от 3,2 - 5,0 м в северо-западной части участка до 6,5 - 7,9 м на юго-востоке.

Подсчёт запасов подземных вод выполнен гидродинамическим методом в численно-аналитической постановке. Для выполнения расчета использовалась авторская программа *Theis* позволяющая определять величины понижений не только в скважинах, но и в узлах произвольно задаваемой сетки. В результате получено расчётное поле напоров на пространстве неравномерной сетки, состоящей состоит из 46101 узловых точек, в которых вычислены понижения под влиянием системы взаимодействующих скважин. Размеры сетки: по горизонтали – 7750 м (121 блок), по вертикали – 8350 м (127 блоков). На участке проектного водозабора размер расчётных ячеек составляет 50 м×50 м, а на периферии возрастает до 50 м×100 м и 100 м×100 м.

Гидрогеологический разрез рассматривается как трехслойный. Выделяются два основных коллектора подземных вод: водоносный горизонт аллювиальных отложений и водоносная зона трещиноватости палеозойских пород. Разделяет их слой с низкими фильтрационными свойствами обеспечивающий реализацию процессов перетекания. Река Бердь схематизируется как граница первого рода с параметром гидравлического несовершенства русла равным 127 м. Такой вариант расчёта соответствует типовой схеме полуограниченного пласта и учитывает условия привлечения поверхностного стока р. Берди в процессе перспективной эксплуатации прибрежного скважинного водозабора.

Допустимое понижение уровня подземных вод составляет 11,0 м. Прогнозные понижения, рассчитанные по принципу суперпозиции на сетке характеризуются следующими результатами: среднее значение расчётного понижения в по полю сетки составляет 4,18 м, значение расчётного понижения в эксплуатационных скважинах не превышает 10,38 м. Таким образом прогнозные понижения, полученное гидродинамическим методом не превышают своего допустимого значения и на расчётный срок эксплуатации (25 лет) составляют в 9,9 м в центре водозаборного ряда.

Для подсчета запасов методом математического моделирования упрощенной схематизации гидрогеологических условий недостаточно. Разработка численной модели геофильтрации строится на основе конечно-разностного

представления параметров области фильтрации [2]. Такой подход позволяет наилучшим образом воспроизвести на модели все особенности строения водовмещающей толщи, включая пространственную неоднородность фильтрационных параметров и сложную форму граничных условий в плане. В нашем случае это извилистость речного русла.

В разрезе модель состоит из двух слоев с хорошими фильтрационными показателями: напорно-безнапорного, моделирующего аллювиальный водоносный горизонт и напорно-безнапорного, моделирующего водоносную зону трещиноватости палеозойских пород. Разделяет их слой, в толще которого формируются процессы, моделирующие процесс перетекания. Такое строение позволяет отнести участок по степени сложности гидрогеологических условий ко второй группе, т.е. к месторождениям со сложными гидрогеологическими условиями, для которых при подсчёте запасов подземных вод рекомендовано применять методы моделирования.

Разбивка конечно-разностной сетки выполнена равномерной с учётом базовых принципов её создания, согласно которым между соседними возмущающими скважинами и линейными контурами внешних и внутренних граничных условий должно быть назначено не менее трёх расчётных блоков [3].

Взаимодействие эксплуатационных скважин с границей первого рода локализуется в узкой зоне, не превышающей расстояния до реки, следовательно, большая часть численной модели не будет принимать участия в формировании депрессионной воронки. Поэтому, требование обеспечения равномерной изученности фильтрационных свойств за пределами локальной области возмущения является избыточным.

Калибровка модели на этапе эпигнозного моделирования (без учёта работы эксплуатационных скважин) выполнена с учётом положения уровней подземных вод в естественных условиях. Река задана на модели как граница третьего рода, совпадающая с по руслом. Для задания в расчётных ячейках параметра несовершенства русла использована величина фильтрационного сопротивления подрусловых отложений, которое определялось методом подбора на этапе калибровки численной модели и изменяется вдоль русла реки.

Расчёт понижения по стволу эксплуатационной скважины уточнялся аналитическим расчётом на основе модельного значения динамического напора в расчётном блоке по известной зависимости:

$$\Delta S = \frac{Q_c}{2\pi T} \left(\ln \frac{\Delta x}{r_c} - 1,62 \right);$$

где Q_c – расход скважины, м³/сут;
 Δx – размер расчётного блока, м;
 T – коэффициент водопроницаемости, м²/сут;
 r_c – радиус скважины, м.

Результаты моделирования показали быструю стабилизацию эксплуатационных понижений во времени. По сравнению со стандартной методикой аналитических гидродинамических расчётов на численной модели удалось учесть наличие резкой фильтрационной неоднородности вдоль водозаборного ряда и сделать выводы о необходимости оптимизации расходов эксплуатационных скважин. Эксплуатация водозабора при равномерной нагрузке на водозаборные скважины нецелесообразна.

Вариант численно-аналитических расчетов для системы взаимодействующих скважин безусловно даёт наглядное представление о пространственном распределении напоров в условиях взаимодействия с внешней границей водоносной зоны, но не лишен общих недостатков аналитического метода. Во-первых, не возможности учесть изменение значений коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности. Во-вторых, внешняя граница полуограниченного пласта может быть только прямолинейной.

Подсчёты запасов подземных вод, выполненные аналитическим методом и с использованием численного моделирования показали в целом хорошую сходимость. При проведении разведочных работ рекомендуется использование разработанной математической модели. Большим преимуществом использования модели будет являться возможность оптимизировать методику гидрогеологических исследований, уточнить и более целенаправленно распределить объёмы буровых и опытно-фильтрационных работ, обеспечить понимание во времени и в пространстве картины формирования понижений динамического уровня воды и непосредственно понижений при распределении нагрузок на скважины и их перераспределения в схеме проектного водозабора.

Литература

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., Недра, 1979;
2. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 75 с.
3. Кузванов К.И., О.Г. Савичев, М.В. Решетько. Математическое моделирование процессов в компонентах природы. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 146 с.