



Г.Е.Ершов,
канд. геол.-мин. наук
ЗАО «ГИДЭК-1»
заместитель генерального
директора
главный научный сотрудник
info@hydec.ru

Вопросы изменений методики подсчета и экспертизы запасов подземных вод для обеспечения систем ППД нефтяных месторождений

¹Россия, 105203, Москва, ул. 15 Парковая 10А.

Гидродинамические расчеты при оценке эксплуатационных запасов на отдельных участках, основанные на упрощенной расчетной схеме, приводят к резкому завышению срезов уровней по сравнению с реальными и неверными, в конечном счете, представлениям и об условиях эксплуатации рассматриваемого водоносного комплекса в региональном плане. Наиболее оптимальным и, практически, единственным методом, позволяющим учесть все факторы при оценке запасов подземных вод ААС ВК на территории Западной Сибири, является метод численного моделирования

Ключевые слова: поддержание пластового давления; запасы подземных вод; апт-альб-сеноманский водоносный комплекс; метод численного моделирования

1. Апт-альб-сеноманский водоносный комплекс (ААС ВК) на территории Западно-Сибирского артезианского бассейна является основным водным объектом, содержащим минерализованные подземные воды, ресурсы которых имеют промышленное значение для их использования в нефтедобыче для поддержания пластового давления (ППД), а также в бальнеологии. На территории Западно-Сибирского артезианского бассейна расположено более 300 нефтяных месторождений. Использование ресурсов ААС ВК для обеспечения систем ППД ведется на территории округа уже длительное время (с конца 1960-х гг.) и к настоящему времени достигло размеров более 350 тыс. м³/сут. Использование ААС ВК для нужд нефтедобывающего комплекса не ограничивается добычей минерализованных подземных вод. В связи с переобводнением нефтяных месторождений, добываемыми компаниями все шире его емкостные возможности используются для сброса избытков подтоварных вод.

В гидрогеологическом отношении комплекс представляет собой мощную (от 600 до 1200 м) сложнослоистую толщу переслаивания песчаников, глин и алевролитов, в которой глинистые разности составляют от 50% до 80% мощности (рис. 1).

2. Подсчет эксплуатационных запасов минерализованных вод апт-альб-сеноманского водоносного комплекса до настоящего времени выполняется преимущественно с использованием гидродинамического метода со схематизацией продуктивного пласта в качестве изолированного, однородного и неограниченного. Расходы действующих и проектных водозаборов принимались постоянными по их максимальной производительности на весь срок эксплуатации. Как правило, при расчете учитываются утвержденные запасы всех оцененных водозаборных участков и полигонов утилизации подтоварных вод, расположенных в радиусе от 50 до 100 км от участка оценки запасов. При этом в расчетах учитываются все ранее оцененные и разведанные участки недр, в том числе выведенные

из эксплуатации, запасы по которым подлежат списанию.

Фильтрационные параметры водоносной толщи ААС ВК рассчитываются преимущественно по данным интерпретации кривых ПС, на основании выделения зон коллекторов с суммированием их расчетных водопрободимостей в соответствии с суммарной эффективной мощностью выделенных слоев. К коллекторам относятся породы с коэффициентом фильтрации не менее 0,01 м/сут, в ряде случаев – до 0,005–0,001 м/сут и менее, что обосновывается нефтеразведочными критериями. При возможности делается сопоставление данных ГИС с данными определений по результатам кратковременных ОФР, либо с пересчетом расчетной водопрободимости на всю мощность комплекса, либо без. Расчетная пьезопроводность также принимается постоянной и рассчитывается по данным ГИС и, в исключительно редких случаях, по данным ОФР с привлечением наблюдательных скважин, составляя $2-5 \cdot 10^5$ м²/сут и более, что соответствует коэффициенту упругоёмкости, характерной для скелета песчаных пород порядка $1 \cdot 10^{-6}$ 1/м и менее. Водозаборные скважины оборудуются перфорацией в нескольких десятках интервалах коллекторов по всей вскрытой мощности водоносного комплекса, при этом подразумевается, что приток при водоотборе происходит по всем интервалам перфорации.

3. Фактически, минерализованные воды апт-сеномана постепенно вовлекаются в процесс ППД на начальных стадиях разработки месторождений с медленным ростом и последующим

постепенным снижением их отбора за счет компенсации подтоварными водами вплоть до полной остановки водоотбора (рис. 2). Максимальная, учитываемая при прогнозах, потребность нефтепромыслов в технической воде обычно требуется только в течение 3–4 лет. При росте обводненности продукции, как правило, процесс отбора сменяется процессом возврата подтоварных вод в недра, зачастую и отбор, и возврат осуществляются одновременно на разных кустах внутри одного и того же участка.

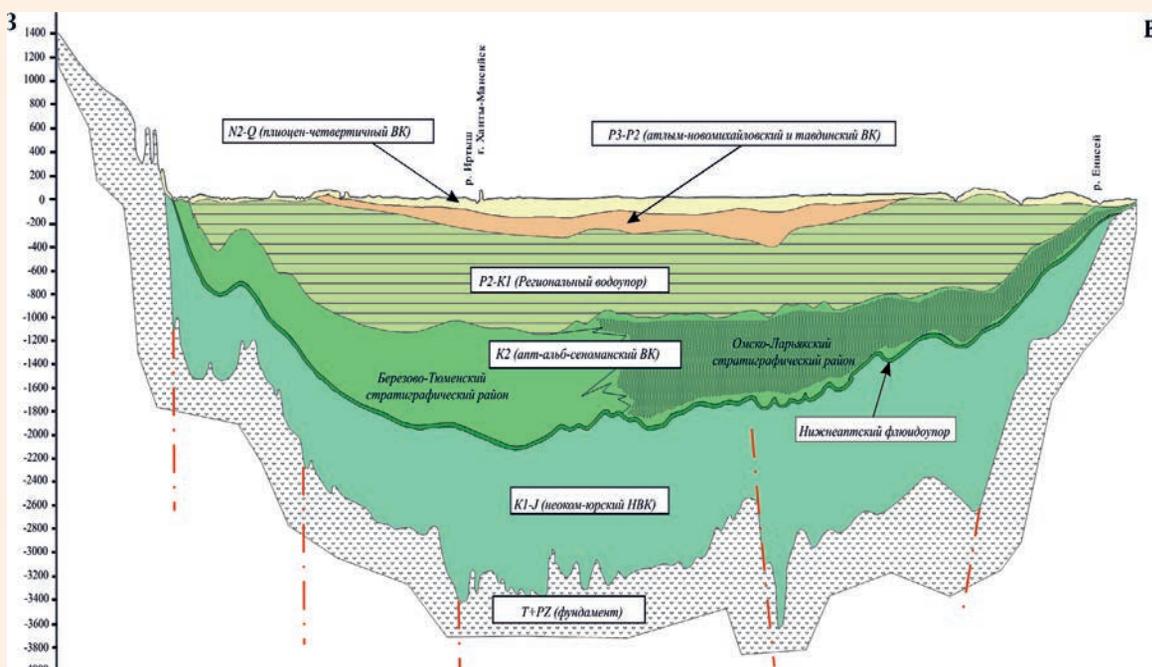
В связи с этим взаимодействие депрессий отдельных водозаборных участков постоянно изменяется во времени и пространстве. Множество водозаборных участков, для которых были подсчитаны и учтены в балансе эксплуатационные запасы минерализованных вод апт-сеномана, уже выведены из эксплуатации, но при этом не сняты с баланса, в то же время постоянно вводятся в эксплуатацию новые участки.

Таким образом, величина подсчитанных и утвержденных по конкретным объектам и районам сосредоточения оцениваемых запасов не учитывали реальный, переменный во времени, режим водоотбора подземных вод на эксплуатируемых участках и прекращение добычи на других.

4. В сложнослоистой водоносной толще большой мощности, какой является апт-сеноманский водоносный комплекс, гидродинамическое возбуждение всей ее эффективной мощности, как это предполагается в расчетной схеме изо-

Рис. 1.

Схематический региональный геологический разрез Западно-Сибирской плиты



лированного однородного пласта, практически невозможно. Реально эта толща работает как многопластовая система с внутренним перетеканием, емкость которой (с учетом емкости внутрипластовых и перекрывающих глинистых толщ) значительно больше расчетной, полученной по данным кратковременных ОФР и ГИС. В соответствии с решением Хантуша для слоистых пластов в пределах к упругой емкости пластов-коллекторов необходимо суммировать 1/3 емкости глинистых слоев и прилегающих толщ, которая на 1–2 порядка выше упругоэластичности песчанников. Таким образом, эффективная пьезопроводность при взаимодействии удаленных водозаборов может быть на порядок меньше обычно принимаемой для прогнозов.

Так, например, для условий Спорышевского лицензионного участка (Ноябрьскнефтегаз) расчетная срезка от влияния смежных водозаборов, полученная при расчетах по формуле Тэйса для однородного изолированного пласта на 25-летний срок, имеет значение порядка 45 м, что составляет 40% прогнозного понижения, а при моделировании, основанном на решении обратных задач, составила всего 3,5 м.

Приведем данные по участкам ХМАО, расположенным вблизи работающих участков. На Ново-Покорском участке прогнозные срезки от работы окружающих водозаборов, оцененные методом моделирования, составили до 15 м, на Покамасовском правобережном – до 34 м, на Черногорском – до 4,5 м. Расчетные срезки для тех же участков, оцененные аналитическим рас-

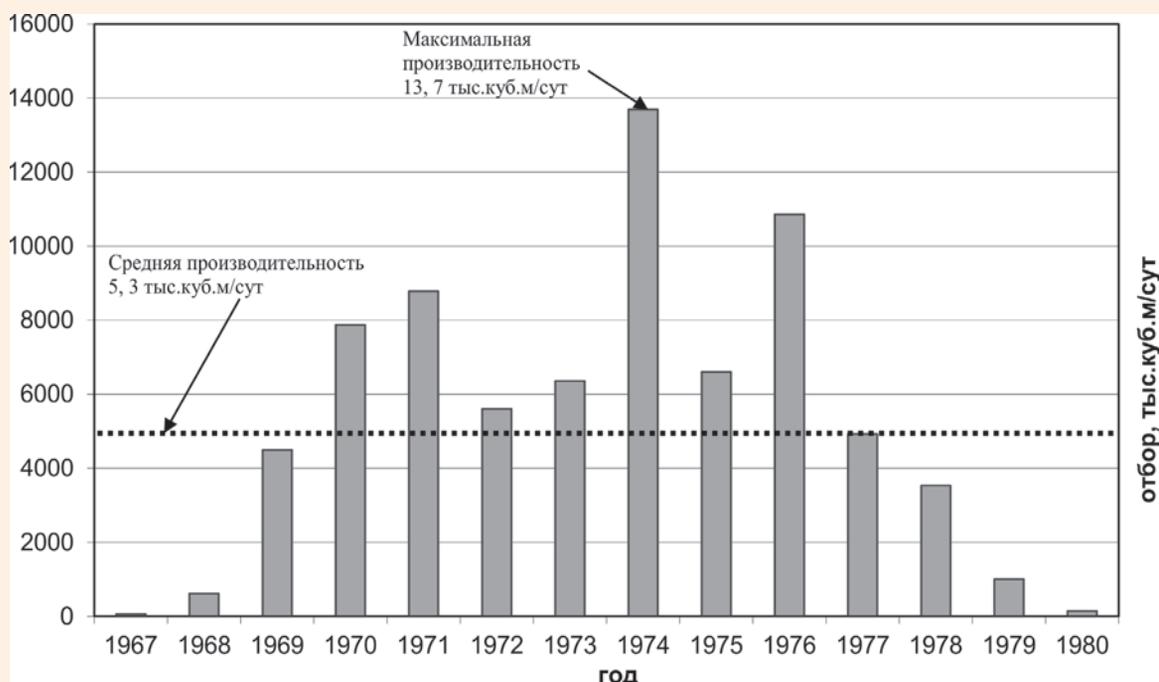
четом по принятой обычно схеме, составляют от 100 до 200 м, то есть значительно превышают срезки от работы самих водозаборов при принятых гидрогеологических параметрах.

5. Кроме того, в пластах большой мощности (а здесь, в основном, это 700–900 м) практически никогда не происходит возбуждение всех интервалов перфорации в скважинах. Согласно данным расходомерии, при нагнетаниях работают преимущественно нижние интервалы перфорации, а при откачках – только интервалы с наибольшими фильтрационными свойствами, обеспечивающие заданный расход насоса. Таким образом, скважины работают как несовершенные не только по характеру, но и по степени вскрытия.

6. На *рис. 3* представлена профильная картина распределения понижений уровня в пласте, полученная при тестовом моделировании для профильно-анизотропного пласта с коэффициентом фильтрации 0,3 м/сут и вертикальным коэффициентом фильтрации 0,003 м/сут. Данные значения типичны для исследуемого комплекса. Расчет выполнен для двух взаимодействующих скважин, расположенных на расстоянии 125 м друг от друга, с дебитом каждой по 800 м³/сут. Распределение снижения давлений приведено на конец периода эксплуатации 10000 суток. Приток в фильтры (на модели) осуществляется в интервалах 320–480 м и 160–250 м от подошвы пласта, то есть значительно в более мощных пластах, чем обычные мощности пластов-коллекторов. Даже в данном тестовом примере

Рис. 2.

График отбора подземных вод из ААС ВК на Мегинском водозаборном участке



видно, что снижение пластовых давлений осуществляется далеко не на всю мощность пласта, а разница давлений за счет откачки по вертикали достигает 11 м даже через 27 эксплуатации. При 10–20-метровых интервалах притоков эта разница достигает 20–40 м.

В результате действия этих факторов, как правило, реальная доля собственных понижений уровней в скважинах от их работы больше, а суммарная величина взаимодействия с удаленными водозаборами и кустами – значительно меньше принимаемых при расчетах. То же самое относится и к взаимодействию с полигонами закачки излишков подтоварных вод.

Вместе с этим в районах сосредоточения крупных нефтяных участков прогнозные понижения уровней порой достигают предельных величин (300–500 м), что может ограничивать использование вод ААС ВК для целей ППД.

Так, например, на Федоровском месторождении (ОАО Сургутнефтегаз) с учетом работы 314 проектируемых водозаборных скважин с суммарным водоотбором 290 тыс. м³/сут, прогнозная глубина уровней ААС ВК составила 485,3 м, из которых 100 м составляет расчетная срезка от влияния окружающих участков эксплуатации. В результате допустимая глубина уровней была принята величиной 500 м, что требует специального учета при проектировании их оборудования. Фактически же при суммарном максимальном водоотборе на участке 171 тыс. м³/сут глубина динамических уровней в скважинах составляла от 21 м до 150 м, т.е. собственные

прогнозные понижения не должны превышать 255 м.

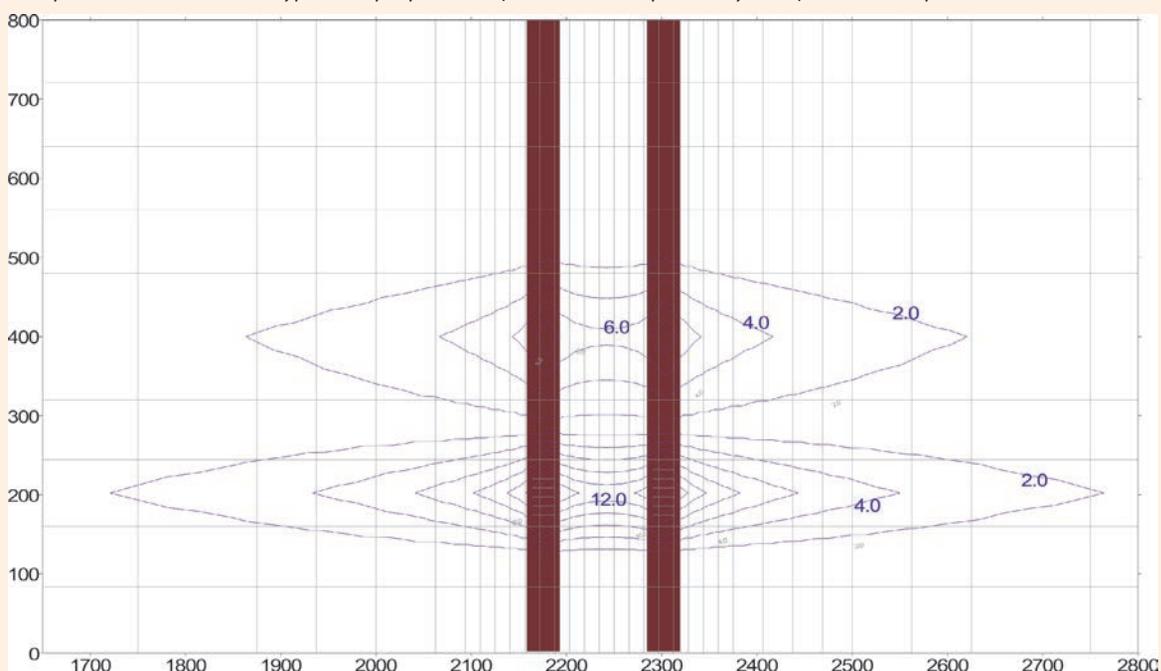
Одновременно с этим в районах сосредоточения участков интенсивного возврата подтоварных вод в недра происходит переоценка влияния репрессии уровней на соседние. Несоответствие реальных схем эксплуатации водозаборов, учитываемых в балансе запасов подземных вод и результатов прогнозных расчетов приводит к тому, что расчетные показатели положения прогнозных уровней как при оценке их запасов, так и при обосновании полигонов закачки подтоварных вод, не позволяют получить адекватные данные для их проектирования. А, поскольку данные оценки запасов подземных вод различных категорий используются при технико-экономических расчетах, технико-экономических обоснованиях и непосредственно при проектировании водозаборов, подобного рода несоответствия существенно увеличивают экономические риски от принятия решений с завышенным инженерным запасом.

7. Таким образом, гидродинамические расчеты при оценке эксплуатационных запасов на отдельных участках, основанные на упрощенной расчетной схеме, приводят к резкому завышению срезов уровней по сравнению с реальными и неверными, в конечном счете, представлениям и об условиях эксплуатации рассматриваемого водоносного комплекса в региональном плане.

Результаты ведущегося гидрогеологического мониторинга по ААС ВК ни в отношении режима

Рис. 3.

Распределение понижений уровня в разрезе мощного пласта при эксплуатации водозабора



водоотбор ни в отношении его уровня при оценке и переоценке запасов никак не используются (за исключением достигнутых показателей уплотненных дебитов эксплуатационных скважин). При обосновании расчетных параметров для прогнозов никакие обратные задачи по воспроизведению фактической гидрогеологической ситуации и результатов эксплуатации, как правило, не ставятся и не рассматриваются, даже при применении упрощенных аналитических расчетов.

8. Наиболее оптимальным (и, практически, единственным) методом, позволяющим учесть все названные факторы при оценке запасов подземных вод ААС ВК на территории Западной Сибири, является метод численного моделирования. Этот метод с успехом применяется для оценки запасов пресных вод в сложнослоистых толщах неогена и палеогена как на территории Азово-Кубанского и Восточно-Предкавказского бассейна, так и отложений верхнего гидрогеологического этажа непосредственно на территории Западной Сибири. С учетом возможностей учета данных ведущегося гидрогеологического мониторинга, этот метод позволяет оценить условия формирования запасов (определяющиеся, прежде всего, емкостными свойствами водовмещающих отложений), воспроизвести ретроспективную картину освоения апт-альб-сеноманского водоносного комплекса, а также учесть реальные перспективы дальнейшего их освоения при оценке ЭЗПВ. При этом реализация таких моделей может быть осуществлена как для отдельных территорий интенсивного освоения запасов ААС ВК отдельными крупными нефтедобывающими компаниями, так и для бассейна в целом.

9. Примером такого применения и основой для дальнейшего развития, в частности, может служить численная модель ААС ВК территории ХМАО, разработанная ЗАО ГИДЭК в 2002–2003 гг. при региональной оценке эксплуатационных запасов подземных вод апт-альб-сеноманского водоносного комплекса для целей ППД. При выполнении этой работы были учтены как реальный режим водоотбора по участкам эксплуатации, так и реальное строение мощной многослойной толщи водоносного комплекса.

Метод численного моделирования с успехом применялся при оценке запасов Спорышевского, Приобского, Вынгапуровского участков, Покамассовского и Ново-Покурского лицензионных участков. Однако, и в этих случаях прогнозный водоотбор по смежным участкам эксплуатации принимался постоянным в размере утвержденных запасов по максимальному проектному водоотбору, т.е. со значительным превышением реальных величин.

10. Важным и необходимым приложением к постоянно действующей модели является информационно-аналитическая система, включающая взаимосвязанные фактологическую и картографическую базы данных, которая предназначена для хранения, анализа и подготовки к моделированию текущей и ретроспективной гидрогеологической информации. При выполнении работ по региональной оценке база данных гидрогеологической информации и данных об эксплуатации подземных вод ААС ВК на территории ХМАО была заполнена по состоянию на 2002 г. В ней была учтена информация различной степени насыщенности по 283 участкам использования недр ХМАО, ЯНАО и Томской области, информация об определениях фильтрационных параметров водовмещающих пород по 109 участкам недропользования в целом, и по 54 отдельным разведочным скважинам. Информация о режиме реального среднегодового водоотбора до 2002 г. была введена по 121 участку недропользования. В настоящее время существует острая потребность в создании подобной ИАС на уровне 2017 г. для осуществления возможностей реальной оценки как гидродинамического взаимодействия участков эксплуатации ААС ВК, так и его эффективных геофильтрационных параметров.

11. В связи с изложенными выше особенностями оценки запасов подземных вод для целей ППД на территории Западной Сибири на экспертном геологическом совете в 2015 г. были приняты следующие рекомендации:

– используемая для подсчета запасов и обоснования полигонов закачки схема изолированного однородного пласта с постоянной максимальной величиной водоотбора и существенно завышенной величиной пьезопроводности водоносных комплексов в районах их интенсивной эксплуатации приводит к значительным погрешностям в прогнозных оценках взаимодействия взаимодействующих водозаборов и полигонов закачки подтоварных вод;

– существующая практика подсчета запасов приводит к искаженным представлениям о гидрогеологических условиях эксплуатации в связи с существенным упрощением методики прогнозирования, а также несоответствием объемов подземных вод, стоящих на балансе, реальным потребностям;

– запасы подземных вод по водозаборам, выведенным из эксплуатации полностью или на неопределенный период, подлежат списанию по предложению недропользователя. В случаях их последующего повторного ввода в эксплуатацию необходимо учитывать периоды их простоя и новые потребности в воде для ППД в соответствии с проектами разработки месторождений;

– начиная с 01.01.2016, рекомендуется выполнять прогнозные расчеты с учетом проектных изменений суммарного дебита водозаборов (как оцениваемых, так и, по возможности, взаимодействующих), а не по максимальной годовой потребности, а в качестве величины запасов учитывать среднесрочный объем проектируемого отбора с указанием величины максимального дебита в период наибольшей потребности в воде;

– повышение достоверности прогнозных расчетов при эксплуатации для целей ППД обуславливает целесообразность преимущественного использования методов математического моделирования;

– при проектировании геологического изучения недр с целью добычи подземных вод для ППД и обосновании полигонов закачки рекомендуется включать в состав работ выполнение прогнозных расчетов методом моделирования и подготовку исходных данных для их обоснования;

– обратить внимание Росгеолэкспертизы на целесообразность применения численного моделирования для прогнозных расчетов.

12. Практически, начиная с 2016 г., работы по оценке запасов для целей ППД и обоснованию полигонов закачки, можно пересчитать по пальцам. Это связано как с отсутствием в организациях, выполняющих работы, соответствующего программного обеспечения и владеющих им специалистов, так и со стойким убеждением, что численное моделирование требует значительно более высоких затрат и значительно сложнее при обосновании данных для моделирования. Необходимо отметить при этом, что гидродинамические методы по сути все являются методами моделирования, которые в можно разделить на модели аналитические, численно-аналитические и численные исключительно по используемому аппарату решения уравнений

фильтрации. Таким образом, при правильно выбранных граничных условиях, численные модели не могут быть менее обоснованными, чем аналитические зависимости. Кроме упомянутых, И.К. Гавич выделялись модели картографические, физические (к которым относится использование гидравлического метода) и статистические (регрессионные), которые в данном случае при прогнозировании крупных взаимодействующих водозаборов мало применимы или требуют анализа гораздо более обширного фактического материала многолетних наблюдений. В то же время, при использовании более упрощенных моделей, к которым относятся аналитические зависимости, требования к их обоснованию должны быть не меньше, если не больше, чем при использовании численных. В связи с этим, на настоящем этапе изучения опыта эксплуатации водоносных толщ на площадях активного и вновь растущего использования подземных вод для целей ППД доказательство соответствия и применимости любых моделей (в том числе и аналитических) к реальным гидрогеологическим условиям на основе сопоставления расчетных и фактических понижений в скважинах и, отдельно, срезов уровней подземных вод от влияния окружающих водозаборов и полигонов, должно быть обязательным условием. Помимо этого, для обоснованного прогнозирования взаимодействия близрасположенных скважин, особенно на полигонах закачки подтоварных вод, существенно важным является изучение и характеристика профиля поглощения в стволе эксплуатационных скважин, то есть активного интервала фильтрации. Последовательный учет и выполнение этих требований позволяет существенно увеличить достоверность прогнозов и уменьшает возможные экономические риски при проектировании водозаборных и закачных сооружений. 

UDC 622.323:622.276.43

G.E. Ershov, PhD, Deputy General Director, Chief Researcher, ZAO "GIDEK"¹, info@hydec.ru

Issues of Changes in the Methodology for Calculating and Assessing Groundwater Resources for the Provision of Systems for the Development of Oilfields

Abstract. Hydrodynamic calculations for the estimation of operational reserves in some areas, based on a simplified design scheme, lead to a sharp overestimation of the cutoff levels in comparison with the real and incorrect, ultimately, notions and the operating conditions of the aquifer in question at the regional level. The most optimal and practically the only method that allows to take into account all the factors in the estimation of groundwater resources of AAS VC in the territory of Western Siberia is the numerical simulation method

Keywords: maintaining reservoir pressure; groundwater reserves; Apt–Alb–Cenomanian aquifer complex; numerical simulation method