Записки Ленинградского горного института имени Г.В.Плеханова.
Т. 129. Л., 1991

УДК 551.234

В.А.БЕРЕЖНОЙ,
Л.Ю.ПИСКАЧЕВА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Высокопотенциальные геотермальные месторождения, как правило, должны быть отнесены к третьей категории сложности геолого-гидрогеологических условий формирования, циркуляции и разгрузки подземных вод [2]. Это предопределяет ориентацию геолого-разведочных работ на гидравлический метод расчета эксплуатационных запасов с продолжительными опытно-эксплуатационными выпусками теплоносителя. В этом случае гидродинамическое опробование продуктивных зон ограничивается проведением опытных одиночных выпусков в режиме парлифта или самоизлива с целью определения кривой продуктивности гидрогеологических скважин и коэффициента взаимодействия скважин между собой.

Значительный опыт эксплуатации гидротермальных месторождений в Исландии, Италии, США, Новой Зеландии, Франции, СССР и других странах свидетельствует, что традиционный подход к определению естественных ресурсов и запасов термальных вод является некорректным и не позволяет прогнозировать возможной динамики снижения качества и количества теплоносителя, которое отмечается на многих месторождениях мира (рис.1) и обусловливается в основном подтягиванием к контуру водозаборных скважин некондиционных подземных вод. Наглядным примером продвижения фронта некондиционных вод по отдельным стратиграфическим горизонтам являются отчетливо фиксируемые на Паужетском месторождении языки прорыва, обгоняющие общий фронт на несколько сотен метров и приуроченные за счет разницы в плотности к подошвам наиболее проницаемых зон. Подтягивание холодных вод к эксплуатационным скважинам в плане отмечается с запада и северо-северо-запа-

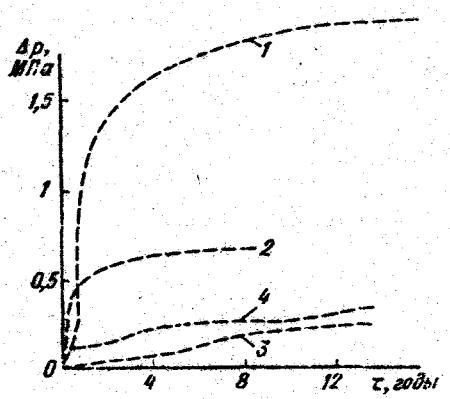


Рис.1. Динамика изменения пластовых давлений p продуктивных зон в процессе эксплуатации (τ - время эксплуатации)
1 - на месторождении Багнур [5]; 2 - на месторождении Трэвел [6]; 3 - на Паужетском месторождении (по данным В.А.Ямпольского); 4 - на Паратунском месторождении (Средний участок)

да [3]. Аналогичные процессы наблюдаются и на других месторождениях мира.

В этих условиях даже для ориентировочного прогноза подобного режима эксплуатации методами математического моделирования процесса неизотермической фильтрации необходимо корректное определение фильтрационных параметров коллекторов и характера их изменения в плане и разрезе. Аналогичные требования к изученности фильтрационных параметров водоносных горизонтов возникают и при совершенствовании технологии разработки гидрогеотермальных месторождений путем создания искусственного восполнения запасов термальных вод с возвратным нагнетанием в продуктивные зоны отработанного теплоносителя.

Таким образом, появляется противоречие между задачами геолого-разведочных работ и традиционной методикой их проведения, разрешение которого требует расширения комплекса исследований и максимального использования данных опробования поисково-разведочных скважин. Следует иметь в виду, что в связи с глубинностью залегания высокопотенциальных термальных вод проведение кустовых выпусков связано со значительными экономическими затратами.

Не рассматривая проблемы возможной оптимизации объемов и методики проведения геолого-разведочных работ, остановимся на определении фильтрационных параметров коллекторов по данным одиночного опробования геотермальных скважин, работающих в режиме парлифта. Характерной особенностью обработки результатов опробования скважин в режиме парлифта является необходимость учета резкого роста гидравлических сопротивлений в стволе скважин при движении двухфазной смеси. Подобный подход был впервые сформулирован В.А.Дрозниным [1], который предложил модель, учитывающую условия установившейся радиальной фильтрации термальных вод в пласте и пузырьковый режим течения гомогенной смеси по стволу скважины, имеющей некоторый расчетный средний диаметр.

В дальнейшем теоретические вопросы движения двухфазной смеси при опробовании пароводяных скважин разрабатывались Т.Ю.Писачевой [4]. Разработанная модель позволяет дополнительно учитывать реальную конструкцию скважин, интенсивность теплообмена с вмещающими породами и смену режимов течения по стволу скважины, а также неустановившийся режим фильтрации теплоносителя в коллекторе. Коэффициент гидравлического сопротивления движению смеси и режим течения зависят от теплофизических свойств жидкости и пара, их массовых расходов и диаметра эксплуатационных колонн. Как показывают результаты моделирования, определяющими параметрами процесса являются безразмерные числа Рейнолдса и Фруда, а переход от пузырькового режима движения (собственно пузырькового и снарядного) к кольцевому (в том числе, эмульсионному) является достаточно плавным. Однако сравнение результатов расчетов по методике В.А.Дрозднина и расчетов с учетом изменяющегося по стволу скважины режима течения смеси показывает, что при значительных массовых расходах теплоносителя возникновение кольцевого режима существенно влияет на характеристику ее пропускной способности.

На основе разработанной модели был произведен расчет фильтрационных параметров продуктивной толщи по скважинам 3, IO, II, I5, I8, Э-I, РЭ-6, РЭ-7 Северного участка Паужетского месторождения. Расчетные кривые продуктивности скважин были получены для различных значений проницаемости и температуры фильтрующих зон.

Необходимость постановки задачи с учетом различной температуры теплоносителя определяется недостатком информации о распределении водопритока в разрезе, характеризующимся различными, вплоть до отрицательных, значениями геотемпературного градиента.

Значения расчетной водопроводимости в $n \cdot 10$ м^2/сутки хорошо коррелируют с оценками В.Б.Аверьева.

Однако область применения предлагаемой модели парлифта представляется более широкой. Так, ее использование возможно и при обработке данных групповых выпусков с целью уточнения фильтрационных параметров, а также при оценке эксплуатационных запасов термальных вод.

При уточнении фильтрационных параметров водоносных горизонтов по данным групповых выпусков из двух скважин с учетом коэффициента их взаимодействия использование модели скважины в первую очередь предназначено для определения величины срезки уровня (давления) от работы соседней скважины. В этом случае последовательность решения задачи несколько меняется: после предварительной оценки проницаемости и температуры коллектора по данным одиночного опробования фиксируется начальное и динамическое пластовое давление в коллекторе; затем методом подбора по известным коэффициенту взаимодействия скважин и кривой продуктивности определяется величина срезки от действия соседней скважины, при которой расход пароводяной скважины снизится до значений, полученных при групповом выпуске. На последнем этапе расчета по дебиту паровой скважины, расстоянию до нее и величине срезки уровня (давления) с помощью формулы Дюпюи рассчитывается водопроводимость опробуемой толщи.

Для иллюстрации предлагаемого метода расчета ниже приводится обработка результатов опробования скважин К-8 и Э-I, расположенных на расстоянии II5 м друг от друга и снизивших свой дебит при суммарном опробовании на I5 %. По данным обработки одиночных выпусков, расчетные значения температуры пласта $T_{пл}$ соответственно составляют I85 и I60 °С при гидропроводности kB, равной 3 и 7 Д·м. При закрепленном устьевом давлении p_y = = 0,2 МПа и фиктивной гидропроводности kB = 7 Д·м, от-

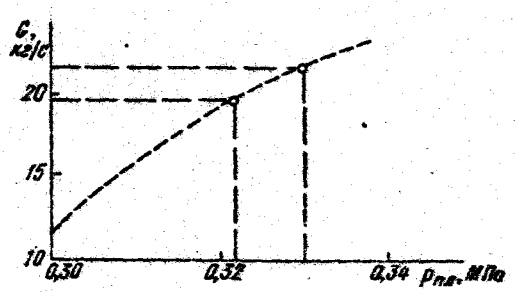


Рис.2. Кривая продуктивности скважины Э-I при kB = 7 Д·м, $T_{пл}$ = 160 °С, p_y = 0,2 МПа и изменяющемся пластовом давлении $p_{пл}$.

ражающей несовершенство скважины по степени и характеру вскрытия водоносных горизонтов, величина срезки уровня в скважине Э-I около 1,7 м (рис.2). При продолжительности опытных выпусков I5 суток и коэффициенте пьезопроводности, определенном по данным кустового опробования и равном $1{,}5 \cdot 10^5$ м^2/сутки, расчетное значение водопроводимости составит около 345 м^2/сутки, что в I0-II раз превышает расчетное значение, полученное при обработке результатов одиночного опробования, и практически совпадает с результатами интерпретации данных кустовых нагнетаний, проведенных на Северном участке.

Не менее важна предлагаемая модель и при оценке эксплуатационных запасов термальных вод, так как только ее использование позволит прогнозировать режим работы эксплуатационных скважин при снижении качества теплоносителя, определенного путем математического моделирования процесса продвижения фронта некондиционных вод. Довольно высокая информативность и достоверность подобного подхода подтверждается сопоставлением расчетного и фактического режимов работы скважины Э-I при фиксированной тенденции снижения энтальпии температуры смеси (рис.3). На фактической кривой снижения энтальпии в качестве расчетных приняты четыре точки, соответствующие температурам I60, I55, I54 и I45 °С. Для этих температур и условий, рассчитанных ранее, расход пароводяной смеси соответственно должен был составить 22, 26, I2 и 4 л/с. Для первых лет эксплуатации фактические данные об изменении расхода совпадают с расчетными кривыми, в дальнейшем разность между расчетом и фактическими данными растет. Вероятно, это связано с причинами, которые в модели не учитываются. Однако для первых 5 лет эксплуатации прогноз оказался достаточно достоверным.

Следует дополнительно отметить, что принимаемое за сработку естественных запасов и ресурсов снижение пьезометрической поверхности термальных вод в действительности является отражением снижения температуры теплоносителя (его плотности).

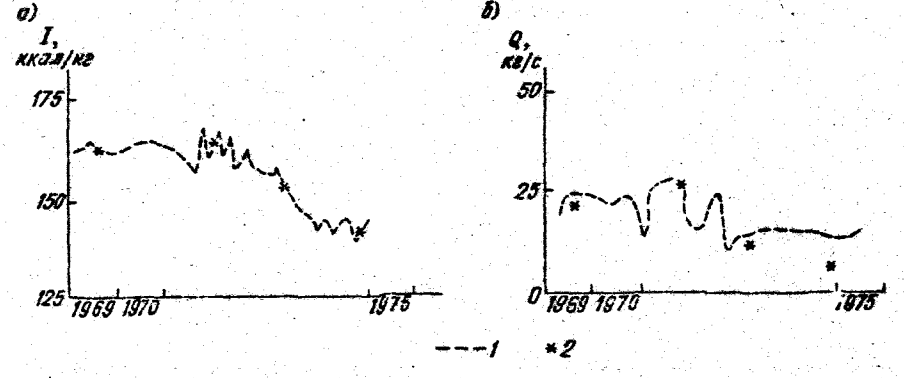


Рис.3. Динамика изменения параметров эксплуатации скважины Э-I: а – энтальпия смеси; б – дебит скважины
1 – данные опробований; 2 – расчетные точки

Вероятно, для более простых гидрогеологических и геотермических условий циркуляции теплоносителя в относительно однородных пористых коллекторах точность прогноза увеличится. Поэтому, учитывая перспективность предлагаемого подхода к оценке эксплуатационных запасов, считаем целесообразным дальнейшее совершенствование математической модели работы геотермальной скважины, в частности по учету роста гидравлических сопротивлений в стволе при движении в эксплуатационной колонне трехфазной смеси (пар – вода – газ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрознин В.А. Гидродинамика пароводяных скважин. Вулканизм и глубины Земли. М.: Наука, 1971. 90 с.

2. Методические рекомендации по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов термальных вод / ВСЕГИНГЕО. М., 1982. 120 с.

3. Парийский Ю.М., Бережной В.А., Пискачева Т.Ю. Геологические и теплофизические исследования методов искусственного восполнения водных и тепловых ресурсов геотермальных месторождений // Научно-технические проблемы геотермальной энергетики / ЭНИН. М., 1987. С.36–52.

4. Пискачева Т.Ю. Математическая модель самоизлива скважины в режиме парлифта при проведении одиночных выпусков. Деп. в ОЦНТИ ВИЭМС. 24.12.86. № 243–мг.

5. Cataldy R., Rossi A., Sgnarei P., Stefani G., Taffi L. // Geothermics, Pergamon Press, 1970. Vol.2.

6. Puxeddu M., Sgnarei P., Tongiorgi M., Burgassi P. D. // Geothermics, Pergamon Press, 1977. Vol.6.