

Термогидродинамическое моделирование Мутновского геотермального месторождения в связи с возможностями увеличения мощности ГеоЭС

О.О. Усачева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: LeL89@yandex.ru*

В работе представлена модель Мутновского геотермального месторождения, разработанная в 1996 г. А.В. Кирюхиным, описаны изменения, внесенные в нее в связи с появлением доступных данных по истории эксплуатации месторождения. Модель была применена для прогнозного моделирования возможности увеличения мощности ГеоЭС на Мутновском месторождении.

Введение

По информации с сайта Neftegas.ru 2 сентября 2016 года между компаниями РусГидро и Mitsui было подписано соглашение, направленное на развитие проектов возобновляемых источников энергии в изолированных зонах Дальнего Востока и геотермальных проектов на Камчатке. В качестве первого из пилотных проектов стороны планируют рассмотреть увеличение установленной мощности Мутновской ГеоЭС с 50 до 120 МВт [6].

В связи с этим была предпринята попытка воспроизвести устойчивую эксплуатацию до 2055 года (сроком на 40 лет) с уже существующими скважинами и рассмотреть возможность увеличения мощности за счет «включения» новых скважин на месторождении с использованием программы TOUGH2 и пре- постпроцессора PetraSimv.5.0.

Обзор эволюции модели Мутновского геотермального месторождения

В работе за основу берется трехмерная термогидродинамическая модель Мутновского геотермального месторождения, разработанная с использованием программы TOUGH2 в 1993 г. [2]. Затем модель была откалибрована и дополнена в соответствии с доступными данными по истории эксплуатации с 1984 по 2006 гг. (начальные температура и давление, изменение энтальпии в добычных скважинах). Так же для калибровки применялись и другие доступные данные до 2012 года – изменение суммарного расхода добычи пара за период 2007-2008 гг.; изменение давления в резервуаре за 2007-2009 гг.; изменение концентрации хлор-иона в 10-ти добычных скважинах за период 2002-2006 гг.; изменение содержания неконденсирующегося газа в скв. 26 за период 2000-2010 гг. Модель также была доработана при помощи инверсионного моделирования iTOUGH2 и термогидрогеомеханического моделирования с использованием кода TOUGH-FLAC, используемым для анализа деформации земной поверхности [1, 3, 4].

В результате инверсионного моделирования были уточнены следующие характеристики Мутновского геотермального резервуара. Проницаемость резервуара на порядок выше, чем та, что была задана на модели 1996 года, особенно в нижней части модели, ассоциирующейся с интрузивной контактной зоной ($600-800 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$, на глубине -750 -1250 м). Приток метеорных вод в центральную часть месторождения в процессе эксплуатации оценивается более 80 кг/с, расходы реинъекции оцениваются значительно ниже суммарного расхода отбора теплоносителя. Восходящие потоки более горячие (314 °С) и их расход больше (+50 %), чем предполагалось прежде. Модель получила рабочее название #12NSEX6A3. В отдельных элементах модели, включающих эксплуатационные скважины, определена «двойная пористость».

Включение в данную модель двойной пористости оказалось необходимым для воспроизведения на модели повышенных значений энтальпии в ряде эксплуатационных скважин.

Для согласования наблюдаемых данных и результатов моделирования при анализе вертикальных деформаций вышеуказанная модель была преобразована следующим образом. Была задана дополнительная массовая разгрузка в северной части модели в направлении Верхне-Жировских термопроявлений, которая до этого не учитывалась. Так же задано дополнительное водное питание (INF2) в центральной части верхнего слоя модели, где расположен бассейн для слива отработанного теплоносителя, что так же прежде не учитывалось. Модель получила рабочее название SP_EXPLO + 50R. В модели задана единая пористость для всех элементов. Так же принимается условие, что 50% извлекаемого теплоносителя закачивается обратно в резервуар.

Прогнозные варианты моделирования

При моделировании возможности увеличения мощности ГеоЭС на Мутновском месторождении была использована модель SP_EXPLO + 50R с несколькими модификациями. 1. Была изменена геометрия зоны восходящего потока «Основной», заданном в нижнем слое модели. В новой версии модели он вытянут вдоль плоскости, аппроксимирующей поверхность продуктивной зоны «Основная». Зона «Основная» обеспечивает значительную долю пара для Мутновской ГеоЭС. Она характеризуется ССВ простиранием и падением на ВВЮ под углом 60° , средняя вертикальная мощность – 240 м. Она вскрыта скважинами 045, 01, 014, 016, 1, 029W, 26, 24, 4E. Её кровля фиксируется полными потерями циркуляции бурового раствора в процессе бурения. 2. В верхнем слое модели был задан новый материал CAPRK – зона притока локальных метеорных вод в резервуар. Больше никаких источников дополнительного питания резервуара с 2017 года в модели не задается.

Для увеличения мощности ГеоЭС на Мутновском геотермальном месторождении в модель были добавлены 7 новых скважин, расположенных вблизи наблюдательной скважины 010. Общий расход новых скважин задан как постоянная величина, равная 245 кг/с пароводяной смеси (ПВС). При этом общий расход все ранее существующих добычных скважин на месторождении так же постоянен и составляет 455 кг/с ПВС с 2016 года. Прогнозное моделирование выполнено на срок до 2055 г. Для оценки параметров резервуара при устойчивой эксплуатации до 2055 года без «включения» дополнительных скважин были просчитаны 9 вариантов модели, отличающихся значением проницаемости зоны притока локальных метеорных вод. Значения проницаемости в этом слое были заданы в пределах $0,1 - 5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. 6 из 9-ти рассмотренных вариантов были оценены как удовлетворительные. Оценка производилась путем сравнения суммарной мощности существующих станций Верхне-Мутновская ГеоЭС и Мутновская ГеоЭС-1, полученной при моделировании и наблюдаемой мощности в 2016 году. Далее, во всех 6-ти вариантах были заданы расходы в 7-ми новых скважинах, начиная с 2025 года сроком на 30 лет [5].

Заключение

Прогнозное моделирование Мутновского геотермального месторождения до 2055 года показывает, что суммарная паропроизводительность чувствительна к изменениям проницаемости зоны притока локальных метеорных вод и расхода эксплуатации. Небольшие значения проницаемости ($0,1 - 2,5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$) в верхнем слое являются причиной увеличения кипения в резервуаре. Включение новых скважин также является пусковым механизмом для более раннего закипания резервуара.

Работа выполнена при поддержке РФФ по гранту 16-17-10008.

Список литературы

1. *Basmanov O.L., Kiryukhin A.V., Maguskin M. A. et al.* Thermo-Hydrogeomechanical Modeling of Vertical Ground Deformation during the Operation of the Mutnovskii Geothermal Field // Journal of Volcanology and Seismology, 2016, Vol. 10, No. 2, pp. 138–149.
2. *Kiryukhin A.V.* Modeling Natural State Conditions and Exploitation of the Dachny Site of the Mutnovsky Geothermal Field, Kamchatka, Russia // Geothermics, 1996 №1, с.63-90).
3. *Kiryukhin A.V., Maguskin M.A., Miroshnik O.O., Delemen I.F.* Modeling and Observations of the Enthalpy, Pressure, Chloride, CO₂ and Vertical Deformation Transient Change in the Mutnovsky Geothermal Field (Kamchatka, Russia) / PROC., Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013, 8 p.,
4. *Kiryukhin, A.V., Rutqvist J., Maguskin M.A.* Thermal-Hydrodynamic-Mechanical Modeling of Subsidence During Exploitation of the Mutnovsky Geothermal Field, Kamchatka, Proceedings, 39-th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA (2014).
5. *Kiryukhin A., Usacheva O.* 3-D numerical reservoir simulation with several development scenarios for construction of new Mutnovsky GEO-PP-2 (Report in accordance with Agreement between IVS and J-Power of November 7, 2016). 14 p.
6. URL: <http://neftegaz.ru/news/view/158836-Rosgeologiya-predlagaet-razvivat-geotermalnuyu-energetiku-na-Dalnem-Vostoke> (дата обращения 06.03.2017)