

УДК 550.8.072

УТОЧНЕНИЕ И РЕ-КАЛИБРОВКА 3D- ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МУТНОВСКОГО ГЕО- ТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Мирошник О.О.

Камчатский Государственный Университет им. Витуса Беринга

Научный руководитель: д.г.-м.н. Кирюхин А.В.

Мутновское геотермальное месторождение разбуривается с 1978 г, промышленная эксплуатация с установленной мощностью 62 МВт началась в 2000 г. Для анализа условий формирования и эксплуатации месторождения использовалось термогидродинамическое моделирование, базирующееся на программе TOUGH2 (А.В. Кирюхин, 1996, 2002, 2005), Р.И. Пашкевич (2009), Вереина О.Б. (2010), но в указанных выше разработках не учитываются в полной мере данные эксплуатации 2000-2006 гг.

В связи с этим проведена сборка модели естественного состояния (Кирюхин, 1996) с использованием PetraSim v.4 (пре- и постпроцессор TOUGH2). Для ее ре-калибровки подготовлены данные по истории эксплуатации 1984-2006 гг и выполнено прямое моделирование с использованием программы TOUGH2. Сравнение модельных и опытных данных осуществлялось по энтальпии добычных скважин. Получена хорошая сходимость по 8 из 18-ти добычных скважин. Отсутствие схожести по отдельным скважинам объясняется: (1) неполным описанием двойной пористости резервуара на модели; (2) возможными отклонениями фактических функций относительной проницаемости пароконденсатного резервуара от принятых в модели; (3) изменениями граничных условий, вызванными эксплуатацией.

Ключевые слова: 3D-термогидродинамическое моделирование, TOUGH2, ре-калибровка и уточнение модели, Мутновское геотермальное месторождение, Камчатка, Россия.

Введение

Мутновское геотермальное месторождение, находящее в 75 км южнее г. Петропавловска-Камчатского, разбуривается с 1978 г, промышленная эксплуатация с установленной мощностью 62 МВт началась в 2000 г. Изначально для моделирования процессов, происходящих в геотермальном резервуаре, условий формирования и эксплуатации месторождения была использована термогидродинамическая модель, построенная в программе TOUGH2. Для ре-калибровки модели, была взята за основу модель-96 [2,4]. Модель состоит из 5 слоев мощностью 500 метров, каждый из которых включает по 100 элементов. Петрофизические и фильтрационно-

емкостные характеристики каждого слоя определялись на основе данных предварительной разведки на участке Дачный [1] (табл. 1). В общем виде вычислительная сетка модели показана на рис. 1.

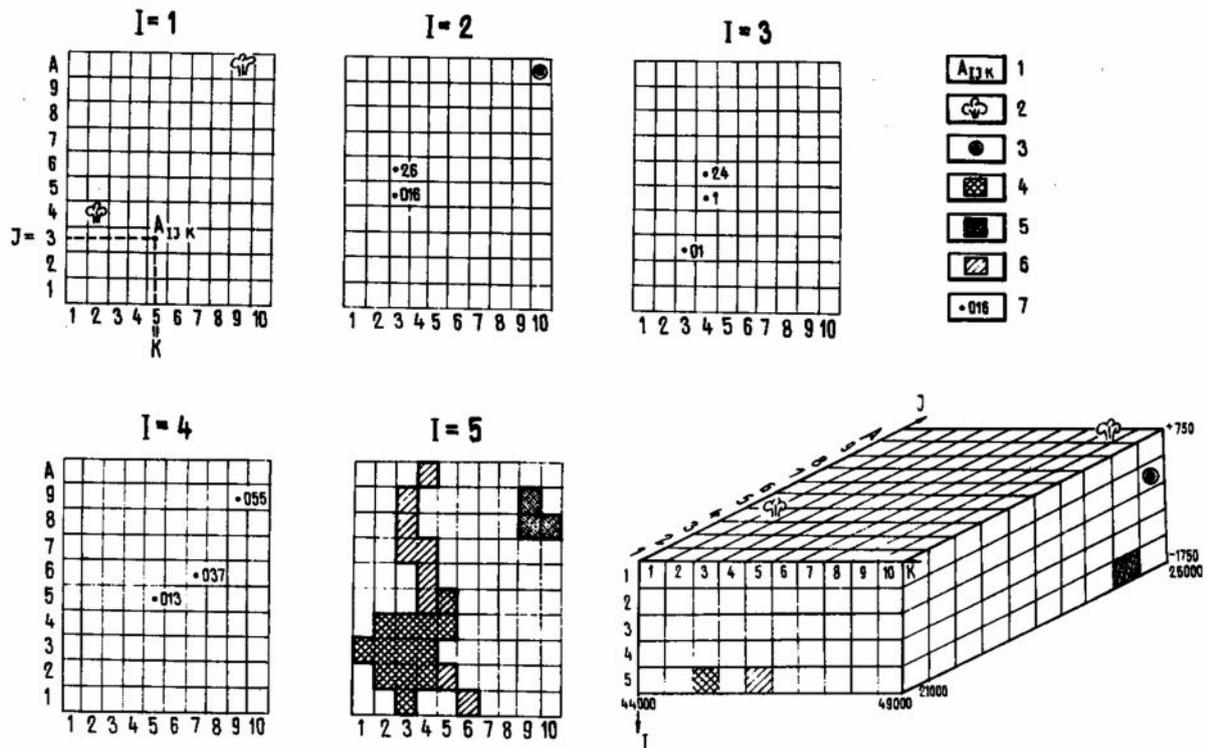


Рис.1. Геометрия 3-D (трехмерной) вычислительной сетки, показывающая различные слой модели.

- 1: идентификация элемента модели
- 2: инактивные элементы (разгрузка пара, 2-фазные условия)
- 3: инактивные элементы (разгрузка горячей воды)
- 4: «источники» («Основной» поток) с энтальпией 1390 кДж/кг
- 5: «источники» («Северо-Восточный» поток) с энтальпией 1270 кДж/кг
- 6: «стоки» («Конденсатный» нисходящий поток)
- 7: ключевые элементы, используемые для калибровки модели.

В работе [4] для калибровки модели использовались данные опытно-эксплуатационного выпуска (ОЭВ) 1984-88 гг по энтальпии пяти скважин – 1, 01, 016, 26, 24. В данных элементах модели была задана «двойная пористость», которая позволила откалибровать модель, изменяя проницаемость блоков и трещин. Были получены хорошие результаты сходимости модельных и фактических данных по всем пяти скважинам.

Таблица 1. Геологические свойства модели.

Литологический комплекс	Плотность горных пород кг/м ³	Пористость	Теплопроводность, Вт/(м оС)	Теплоемкость, Дж/кг оС
Четвертичные игнимбриты, плиоценовые лавы и риолитовые туфы	2100	0.2	2.05	1000
Миоценовые песчаники	2300	0.08	2.1	1000
Интрузивная контактовая зона	2400	0.03	2.1	1000
Диориты	2700	0.02	2.1	1000

Модель [4] (далее модель-96) воспроизведена с использованием пре- и постпроцессора TOUGH2 – программы PetraSim v.4.0. При этом модель естественного состояния удалось собрать, используя PetraSim v.4.0, и проверить её сходимость с полученными ранее данными по распределению давления, температуры и паронасыщения в резервуаре [2,4]. Однако, при попытке моделирования процесса эксплуатации оказалось, что PetraSim v.4.0 не поддерживает поэлементное изменение параметров «двойной пористости». Поэтому, при моделировании эксплуатации использована оригинальная модель-96, предоставленная для выполнения данного исследования А.В. Кирюхиным и непосредственно программа TOUGH2 с модулем состояния EOS1.

Этапы моделирования

В ходе эксплуатации месторождения, и, следовательно, получения новых данных по добычи теплоносителя и его закачки в инъекционные скважины за 2002-2006 года, модель-96 была дополнена.

На модели заданы добычные и инжекционные скважины в период эксплуатации Мутновского геотермального месторождения с 2002 года, расход и энтальпия которых измерялись в течение периода эксплуатации (024N, 049N, 054N, 043N, 055, 048, 053N, 017N, 042, 037, 044, 028, 027, 07, 4E, 5E, 24, 26, 029W, A4, A2, 1, 01, 016, 013, 014, рис. 2), учитывается геометрия скважин направленного бурения (024N, 049N, 054N, 043N, 053N, 017N, A2).

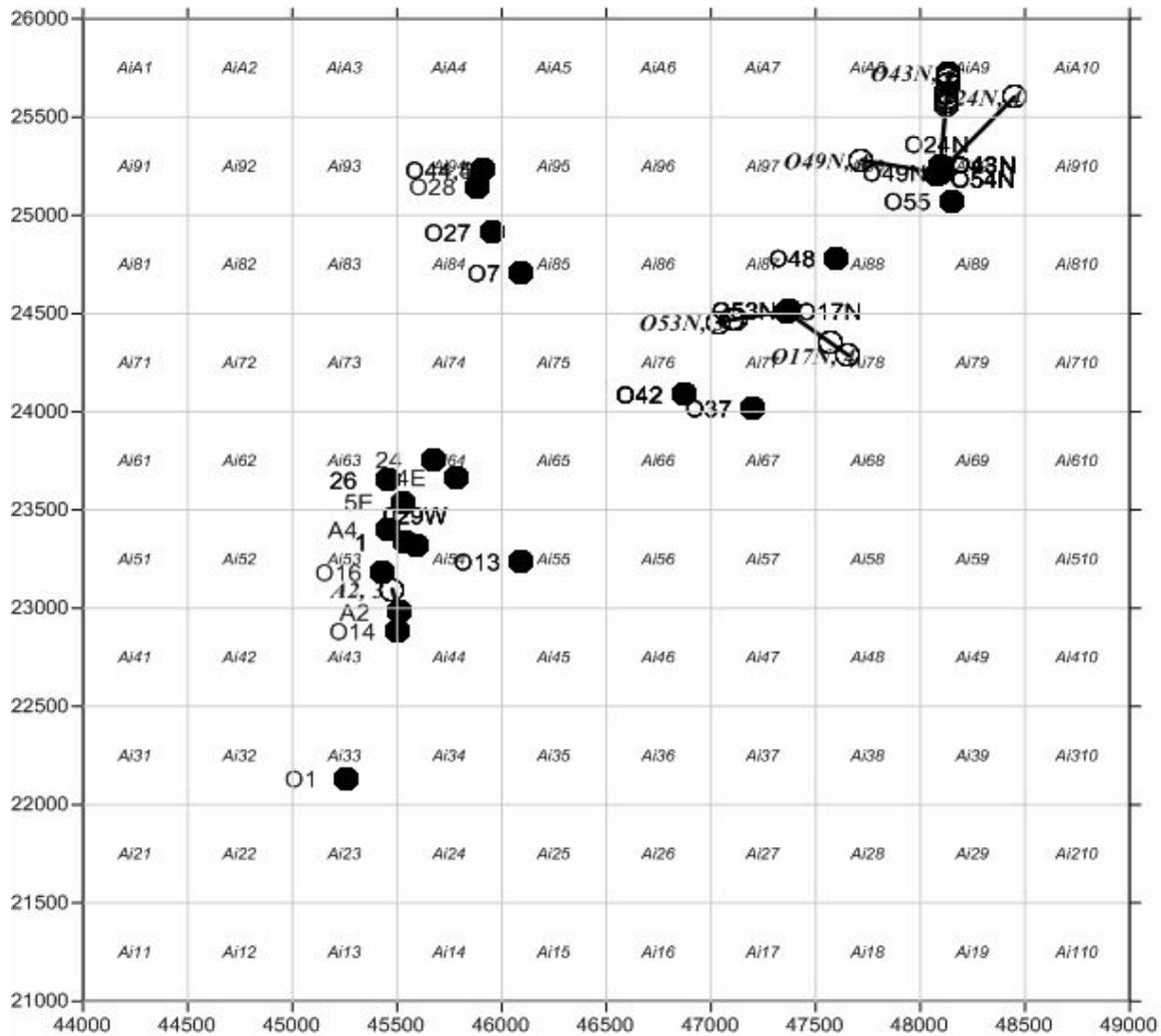


Рис.2. Положение добычных и инжекционных скважин на модели

Исходные данные для моделирования по ежемесячным расходам и энтальпиям добычных и инжекционных скважин за 1984-2006 гг [3] показаны на рис. 3.

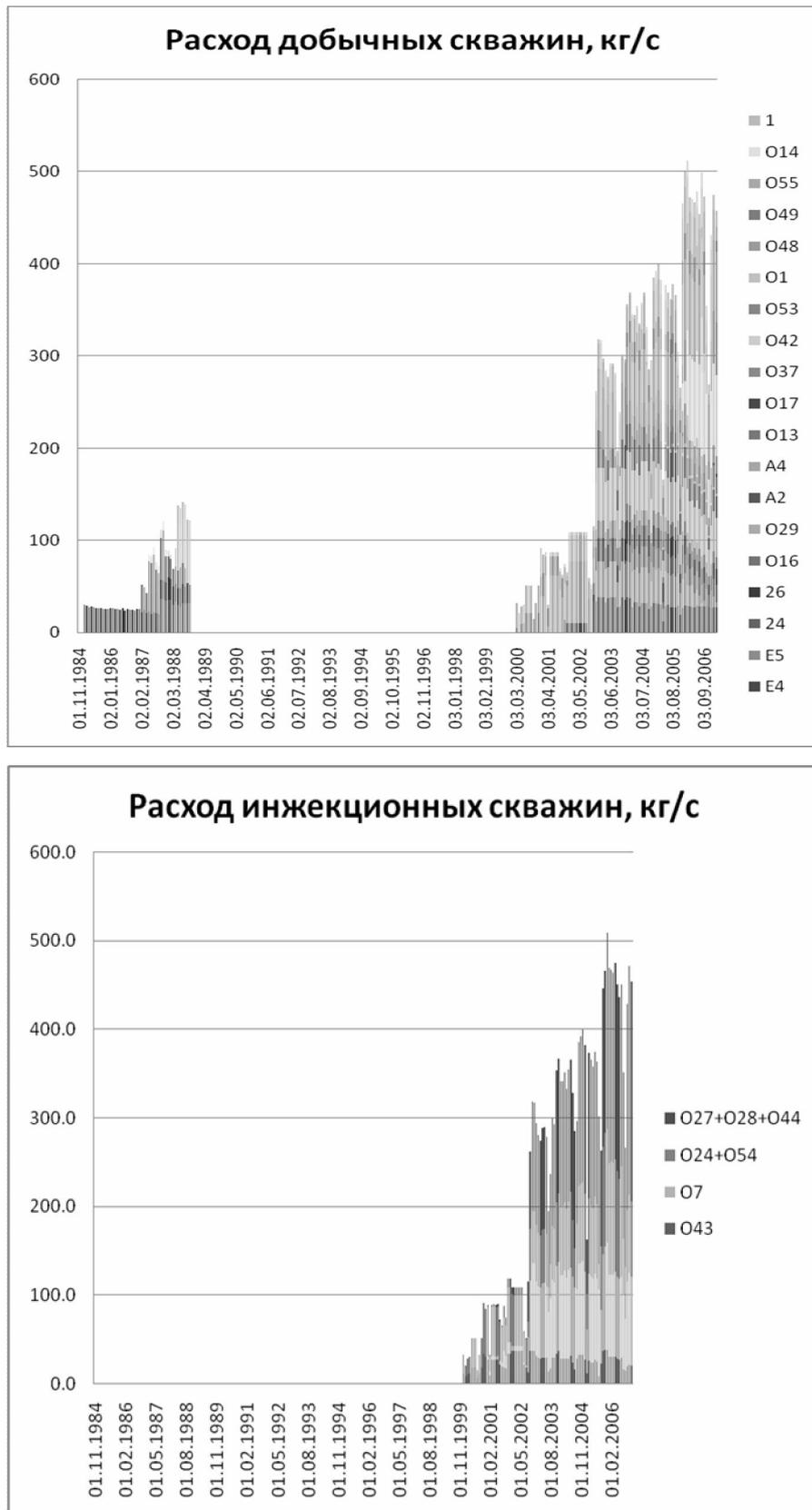


Рис. 3. Среднемесячные расходы добычных (верхний рисунок) и инъекционных (нижний рисунок) скважин по данным [3]

Для воспроизведения на модели истории эксплуатации 1984-2006 гг данные по расходам преобразованы в формат программы TOUGH2.

Результаты моделирования

Для ре-калибровки модели-96 выполнено прямое моделирование с использованием программы TOUGH2 по истории эксплуатации 1984-2006 гг. Сравнение модельных и опытных данных осуществлялось по энтальпии добычных скважин.

По 8 скважинам из 18 была получена удовлетворительная сходимость (рис. 4).

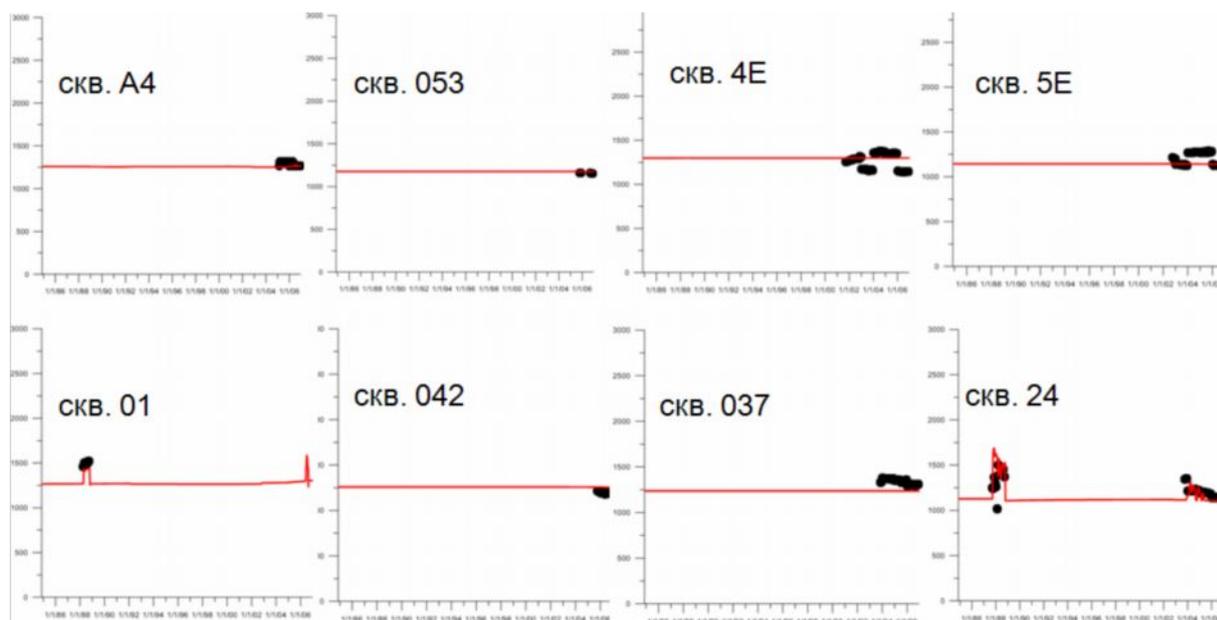


Рис. 4. Скважины с удовлетворительной сходимость модельных и опытных значений энтальпии

По 5-ти скважинам, изображенным на рис. 5, модельная энтальпия была ниже реальной, и по 5-ти – наблюдалось завышение модельной энтальпии (рис. 6).

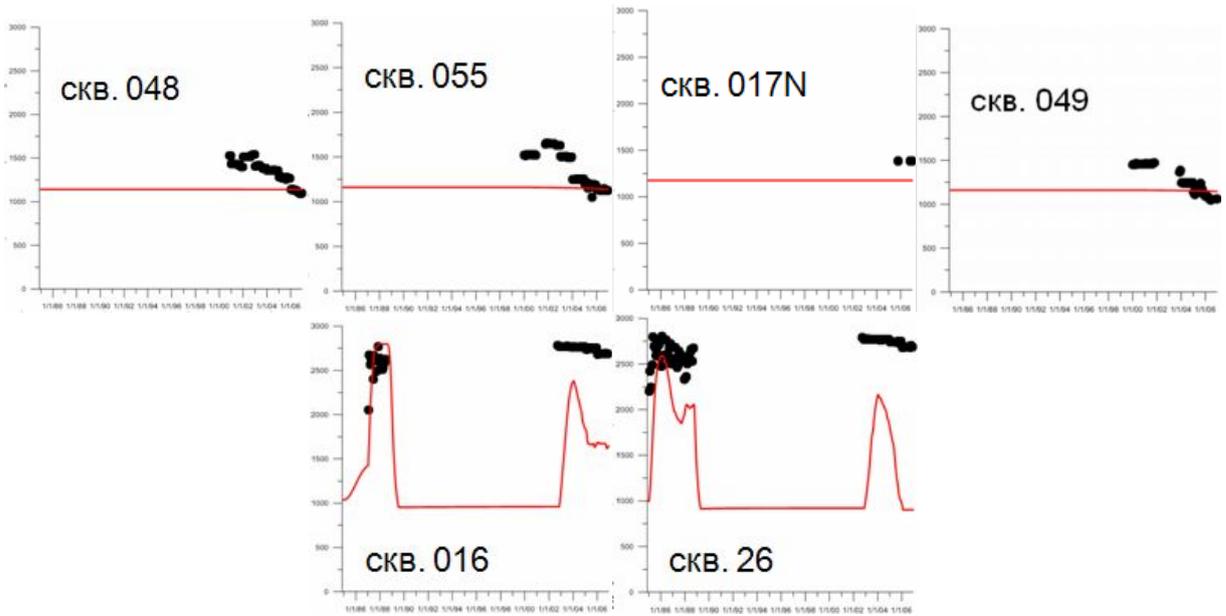


Рис. 5. Скважины с заниженными значениями модельной энтальпии (по сравнению с фактическими). Модельные результаты показаны сплошными линиями, фактические данные – кружками.

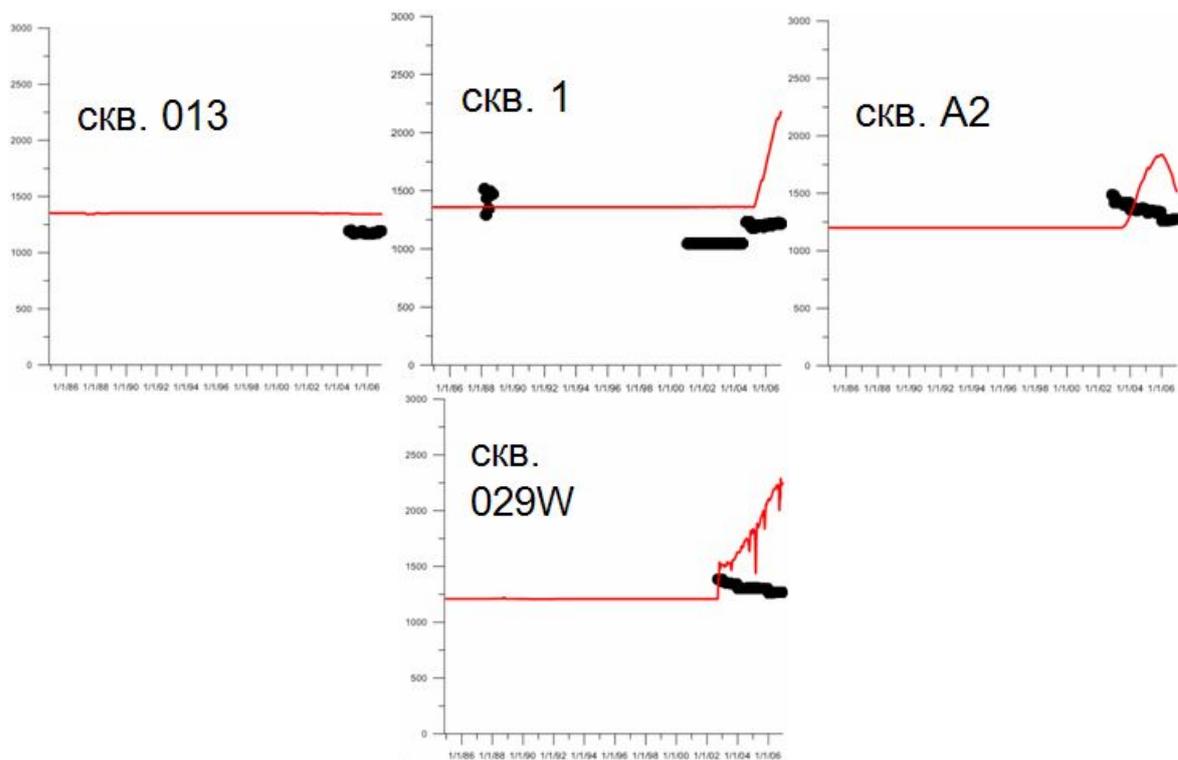


Рис. 6. Скважины с завышенными значениями модельной энтальпии (по сравнению с фактическими). Модельные результаты показаны сплошными линиями, фактические данные – кружками.

Занижение модельной энтальпии может быть связано с заданием новых добычных скважин в элементах модели без «двойной пористости» (скв.

055, 048, 017N) и недостаточно обоснованным выбором функции относительной проницаемости для скважин пароконденсатного резервуара (скв. 016 и 26).

Завышение модельной энтальпии связано с притоками охлажденных грунтовых вод в центральную зону Дачного участка (рис. 7)

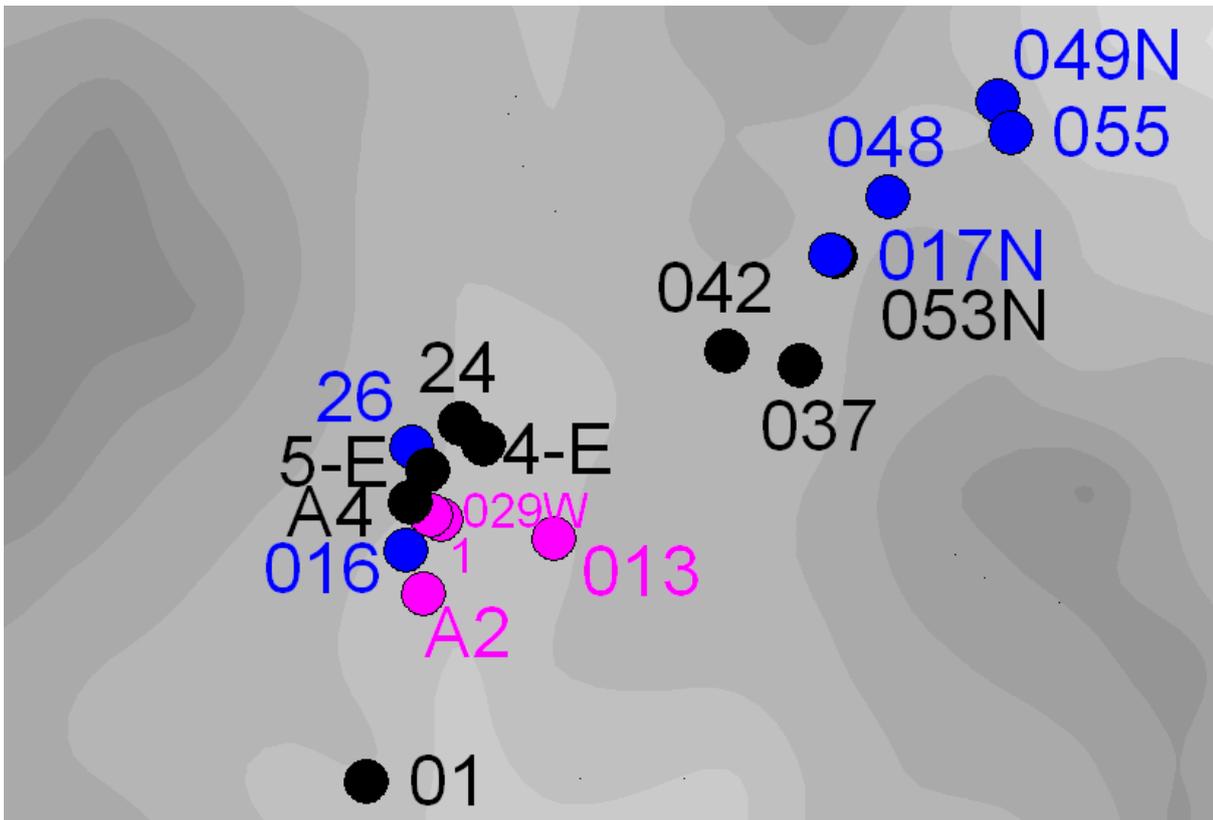


Рис. 7. Положение скважин на топографической основе

Выводы и задачи дальнейших исследований

1. 3D термогидродинамическое моделирование [4] использовано для воспроизведения истории эксплуатации Мутновского геотермального месторождения 1984-2006 гг. Моделирование указывает на возможность притока охлажденных инфильтрационных вод в центральной части участка Дачный Мутновского геотермального месторождения при его промышленной эксплуатации 2000-2006 гг.

2. В дальнейшем, для уточнения модели будут определены параметры двойной пористости в элементах модели, соответствующих скважинам 055, 049N, 048, 017N, выполнен анализ различных функций относительной проницаемости пароконденсатного резервуара (26 и 016). Для детализации и расширения вычислительной сетки термогидродинамического моделирования выполняется разработка цифровой геологической модели с использованием материалов бурения новых скважин и геологического картирования вулканов Мутновский и Горелый М 1:25000 (Селянгин О.Б., 2010), Мутновского месторождения парогидротерм М 1:50000 (Писарева М.В., 1987) и Жировского вулкана М 1:50000 (Самылов Н., 1989).

Работа выполнена при поддержке РФФИ по гранту 09-05-00605-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асаулов Г.М. и др.* Отчет о результатах предварительной разведки на участке Дачный Мутновского месторождения парогидротерм с подсчетом запасов теплоносителя для обоснования проекта строительства первой очереди ГеоЭС мощностью 50 МВт (в 7 книгах). п. Термальный Камчатской обл., 1987.
2. *Кирюхин А.В.* Моделирование эксплуатации геотермальных месторождений // Владивосток: Дальнаука, 2002. 216 с.
3. *Мальцева К.И., Пашкевич Р.И. и др.* Пересчет эксплуатационных запасов теплоносителя по Мутновскому месторождению парогидротерм: отчет по объекту / ОАО «Геотерм», ООО «Аква»; г. Елизово, 2007. – в 5 томах.
4. *Kiryukhin A.V.* Modeling Studies: Dachny Geothermal Reservoir, Kamchatka, Russia // *Geothermics*, Vol.26, No.1, 1996, p.63-90.

APPROACH ON RECALIBRATION OF THE 3D NUMERICAL MODEL
OF THE MYTNOVSKY GOETHERMAL FIELD BASED
ON RECENT EXPLOITATION DATA

Miroshnik O.O.

Kamchatsky State University, Petropavlovsk-Kamchatsky

Mutnovsky geothermal deposit with 62 MW installed capacity fully operated since 2000. TOUGH2-modeling analysis previously performed (Kiryukhin A.V. 1996, 2002, 2005; Pashkevich R.I. 2009; Vereina O.B. 2010) not taken fully into account last years (2000-2010) exploitation data. Therefore this work was initiated. At the first stage PetraSim v.4 was used to generate natural state model-96 (Kiryukhin A.V. 1996). Although model of natural state was succeeded with PetraSim v.4, but it was difficult to implement selected element-by-element double porosity assign required for flow tests 1984-1987 proper calibration. Hence handy made TOUGH2 input files used to reproduce model-96. For recalibration flow tests 1984-1987 data and exploitation 2000-2006 data were prepared in TOUGH2-format (rates and enthalpy of production and injection wells) and matches modeling and observational done. We got good enthalpy convergence 8 of 18 production wells, 5 of 18 wells show enthalpy overestimate, while 5 of 18 wells show enthalpy underestimate during exploitation time period. We believe modeling enthalpy underestimate related to double porosity not assigned in production wells added, while enthalpy overestimate caused by local meteoric water inflow, not accounted in the model. Model refinement is going.

Key words: 3D numerical model, TOUGH2, recalibration, Mythnovsky geothermal field, Kamchatka, Russia.