



Геоэкология / Geocology

Оригинальная статья / Original article

УДК 536.633.2

DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-121-131

ИЗОХОРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ 1% ВОДНОГО РАСТВОРА ХЛОРИДА МАГНИЯ

¹Василий И. Дворянчиков*, ²Джават К. Джаватов, ³Гаджи А. Рабаданов,
⁴Эльдар Г. Искендеров, ¹Динара П. Шихахмедова

¹лаборатория теплофизики геотермальных систем,

Институт проблем геотермии, Дагестанский научный центр

Российской академии наук, Махачкала, Россия, vasilii_dv01@mail.ru

²лаборатория энергетики, Институт проблем геотермии,

Дагестанский научный центр, Российская академия наук, Махачкала, Россия,

³лаборатория физхимии термальных вод, Институт проблем геотермии,

Дагестанский научный центр, Российская академия наук, Махачкала, Россия,

⁴лаборатория аккумулирования низкопотенциального тепла и солнечной
энергии, Филиал ОИВТ РАН, Махачкала, Россия

Резюме. Цель. Экспериментальное исследование изохорной теплоёмкости 1% водного раствора хлорида магния вдоль линии фазового равновесия. **Метод.** Для определения изохорной теплоёмкости на линии фазового равновесия нами использована установка адиабатного калориметра Х.И. Амирханова. **Результаты.** Результаты исследования изохорной теплоёмкости в зависимости от температуры приводятся в виде таблиц и рисунков, полученные результаты сравниваются с данными других авторов. При оценке сложной системы нельзя оценивать её эффективность только лишь на основе одного, даже очень важного критерия, при этом приходится учитывать требования технического, экономического, экологического и другого характера. **Выводы.** В геотермальной энергетике, при решении оптимизационных задач эффективности, необходимо учитывать факт температурной зависимости теплоёмкости и плотности. Учёт температурной зависимости таких параметров, как плотность и теплоёмкость при расчётах, существенно влияет на значения критерия эффективности, которые необходимо учитывать, ибо в противном случае погрешность вычислений может составить до 20 %. Полученные данные изохорной теплоёмкости водных растворов хлористого магния сравнивались с данными по воде и водным растворам NaCl и NaOH, полученными ранее, которые могут быть представлены как модель геотермальной и морской воды.

Ключевые слова: адиабатный калориметр, изохорная теплоемкость, фазовое равновесие, водные растворы солей, геотермальная энергетика, удельный объем, термозлемент, температурный ход.

Формат цитирования: Дворянчиков В.И., Джаватов Д.К., Рабаданов Г.А., Искендеров Э.Г., Шихахмедова Д.П. Изохорная теплоемкость 1% водного раствора хлорида магния // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N2. С.121-131. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-121-131

ISOCHORIC HEAT CAPACITY OF 1% AQUEOUS SOLUTION OF MAGNESIUM CHLORIDE

¹Vasilii I. Dvoryanchikov*, ²Dzhavat K. Djavatov, ³Gadzhi A. Rabadanov,
⁴Eldar G. Iskenderov, ¹Dinara P. Shikhakhmedova

¹Laboratory of Thermophysics of geothermal systems, Institute of Geothermal Problems,
Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Makhachkala, Russia, vasilii_dv01@mail.ru

²Laboratory of Energetics, Institute of Geothermal Problems, Dagestan Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

³Laboratory of physical chemistry of thermal waters, Institute of Geothermal Problems,
Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian,

⁴Laboratory of low-grade heat and solar energy storage,
Branch of the Joint Institute for High Temperatures
of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia



Abstract. Aim. The aim is to conduct an experimental study of isochoric heat capacity of 1% aqueous solution of magnesium chloride along the phase boundary curve. **Method.** In order to determine the isochoric heat capacity at the phase boundary curve we used the adiabatic calorimeter of KH. I. Amirkhanov. **Results.** Results of the study of the isochoric heat capacity depending on the temperature are given in tables and figures; the findings are compared with those of other researchers. When evaluating a complex system, we ought not to evaluate its effectiveness on the basis of only one criterion, even a very important, in this case must take into account the requirements of the technical, economic, environmental and of other natures. **Conclusions.** When solving optimization problems of efficiency in geothermal energy it is necessary to take into account the fact of the temperature dependence of the heat and density. The temperature dependence of the density and heat capacity in the calculations significantly affect the value of the efficiency criterion to be taken into account, otherwise the calculation error can be up to 20%. The data obtained from the isochoric heat capacity of aqueous solutions of magnesium chloride is compared with the data for water and aqueous solutions of NaCl and NaOH, obtained previously, which may be represented as a model of geothermal and sea water.

Keywords: adiabatic calorimeter, isochoric heat capacity, phase equilibria, aqueous solutions of salts, geothermal energy, specific volume, thermocouple, temperature dependence.

For citation: Dvoryanchikov V.I., Djavatov D.K., Rabadanov G.A., Iskenderov E.G., Shikhakhmedova D.P. Isochoric heat capacity of 1% aqueous solution of magnesium chloride. *South of Russia: ecology, development*. 2016, vol. 11, no. 2, pp. 121-131. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-121-131

ВВЕДЕНИЕ

Достигнутые показатели развития нетрадиционной энергетики в мире и место в ней геотермальной энергетики указывает на то, что доля геотермальных источников достигает 60% выработки энергии на основе нетрадиционных источников энергии [1-4].

Отличительной особенностью геотермальной энергетики является её масштабность, возможность комплексного использования и доступность для добычи современными техническими средствами.

С учетом этого, также принимая во внимание значительные разведанные запасы термальных вод, геотермальную энергетику можно считать приоритетным направлением развития Российской энергетики среди возобновляемых источников энергии.

Важной проблемой геотермальной отрасли является повышение её конкурентоспособности по сравнению традиционными энергетическими отраслями. Для улучшения технико-экономических показателей геотермального производства необходимо как применение новейших технологий извлечения (например, использование горизонтальных скважин), использование и применение систем комбинированных с традиционными источниками энергии, так и разработка и исследование соответствующих моделей

геотермальных систем с целью оптимизации их параметров.

В связи с этим проблема оптимизации процессов извлечения, использования геотермальных ресурсов становится актуальной практической задачей на пути активного их вовлечения в энергетический баланс.

Задачи оптимизации имеют большое практическое значение, так как позволяют определить такие значения параметров систем, оптимизирующие тот или иной критерий эффективности. Однако при оценке сложной системы нельзя оценивать её эффективность только лишь на основе одного, даже очень важного критерия. При этом приходится учитывать требования технического, экономического, экологического и другого характера.

При решении оптимизационных задач необходимо учитывать факт температурной зависимости теплоёмкости и плотности, о чём свидетельствуют данные экспериментального исследования, полученные для геотермальных флюидов различной минерализации на линии фазового равновесия [5].

В связи с этим нами исследована изохорная теплоёмкость водного раствора хлорида магния, который является одним из составляющих геотермальной воды.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения изохорной теплоёмкости на линии фазового равновесия нами использована установка адиабатного кало-

риметра Х.И. Амирханова. Ранее этим методом были исследованы водно-солевые системы $H_2O - NaOH, KOH, KNO_3, KCl, NaCl,$

Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , геотермальные флюиды [6-10]. Описание методики измерения даны в предыдущих работах. Объем калориметра был равен $100 \pm 0,3 \text{ см}^3$. Материал калориметра – нержавеющая сталь марки 1X18H10T.

Изохорная теплоемкость служит надежным критерием качества уравнения состояния, что предопределило проведение экспериментов направленных на ее исследование водных растворов электролитов и геотермальных систем в широком интервале параметров состояния.

Реализованный в настоящей работе метод адиабатического калориметра (рис. 1) значительно усовершенствованный и существенно отличный от известных конструктивно, способом, который заключается в установлении контроля адиабатических условий с помощью слоя полупроводника (закиси меди). Термоэлемент выполняет роль адиабатической защиты, теплоизоляционного слоя и слоя передающего давление на более прочную внешнюю оболочку.

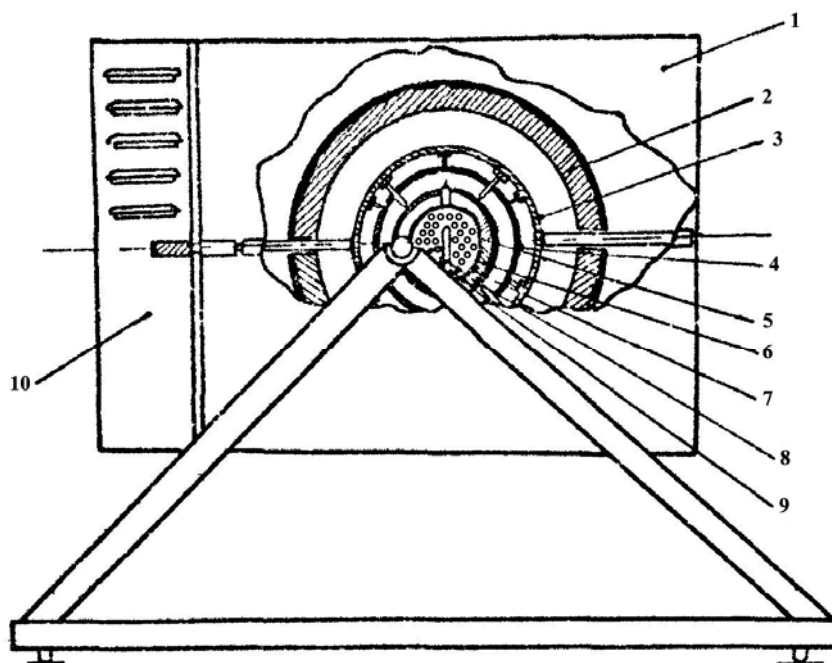


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для измерения изохорной теплоёмкости жидкостей и газов

1 - защитный кожух; 2 - шаровой термостат; 3 - кольцо возвратно-вращательного механизма; 4 - тепловой экран; 5 - карман для термометра сопротивления и измерительных термопар; 6 - наружная оболочка калориметра; 7 - внутренний сосуд калориметра; 8 - карман для внутреннего нагревателя; 9 - мешалка; 10 - кривошипно-шатунный механизм.

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus for measuring the isochoric heat capacity of liquids and gases.

1 - a protective casing; 2 - ball thermostat; 3 - ring swinging mechanism; 4 - heat shield; 5 - pocket for resistance thermometers and measuring thermocouples; 6 - the outer shell of the calorimeter; 7 - inner vessel of calorimeter; 8 - pocket for Internal heater 9 - mixer; 10 - crank mechanism.

В таком калориметре внутренний сосуд и прилегающий к нему слой закиси меди входят в тепловую постоянную калориметра C_0 . Давление, оказываемое исследуемым веществом на внутренние стенки калоримет-

ра, передается через плотный слой закиси меди на внешнюю более мощную оболочку, толщиной 8 мм, изготовленную из такого же материала (1X18H10T) [11].



Внутри калориметра (рис. 1) имеется тонкая перфорированная мешалка из такого же материала – нержавеющей стали (9). Два цилиндрических кармана предназначены для внутреннего нагревателя (8) и термометра ПТС-10м (измерительной термопары) (5). С помощью слюдяных шайб, сосуд калориметра был отцентрирован с наружной оболочкой калориметра, с зазором 1 – 1,5 мм для засыпки порошка закиси меди. Имея малый коэффициент теплопроводности, закись меди служит теплоизоляционным слоем, в несколько раз уменьшая тепловые потери. Термоэлемент выполняет задачу адиабатической защиты: термоэдс от закиси меди подается на вход потенциометра Р363-2, а затем на регулятор типа ВРТ – 3 и самописец типа Н – 37 (2) (рис. 2). Схема поддержания адиабатических условий в калориметре работала в режиме пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования. Точность поддержания разности температуры составляла $2,5 \cdot 10^{-4}$ К. В качестве датчика разбаланса между оболочкой калориметра и экраном была использована многоспайная термопара, сигнал от которой поступал на задатчик разбаланса-фотоусилитель типа Ф116 / I, а с него на регулятор температуры ВРТ-3, что позволило поддерживать разность температур с точностью 10^{-2} К. Калориметр и экран помещались в термостат. Регулировка температуры термостата осуществлялась автоматически с помощью регулятора температуры ВРТ-3 в интервале измеряемых температур (3). Калориметрическая установка помещалась в защитный кожух, имеющий на внутренней поверхности асбестовую теплоизоляцию (2) (рис.1).

Температурный ход, задаваемый внутренним нагревателем, менялся в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ К/с в зависимости от области исследования. Вблизи кривой фазового равновесия эксперимент проводился с наименьшими скоростями.

Измерения теплоемкости проводились, как правило, с температурным шагом 0,17 – 0,24 К, вблизи точек перехода он уменьшался. Температура измерялась медь – константановой термопарой (1) (рис. 2). Время фиксировалось с помощью частотомера Ф-5041 с точностью 0,01с. Мощность

внутреннего нагревателя измерялась потенциометрически с точностью 0,02%.

Масса заливаемого в калориметр раствора определялась на весах ВЛТ-1 с точностью 0,01г.

Оценка точности экспериментальных результатов, полученных в ходе измерений, которая включает в себя определение и учет систематических и случайных ошибок, присущих методике и вводимых в качестве поправок, выявление неучтенных систематических погрешностей и указание истинного значения измеряемой величины, анализ случайных погрешностей, вызывающих разброс экспериментальных точек. Величина поправки на нестрогую изохоричность, с учетом термического и барического изменения объема калориметра определяется с точностью 5-10 % и составляет 0,5- 2 % к общему значению теплоемкости, для различных областей состояния вещества. Оценена систематическая ошибка, связанная с теплообменом между калориметром и адиабатической оболочкой, разделенной слоем закиси меди, вследствие разности температур обменивающихся теплом поверхностей, регулирования адиабатичности.

Расчет показывает, что возможные потери за счет притока или отвода тепла через слой закиси меди из-за нестрогой адиабатичности системы составляет 0,2 Дж на одно измерение, что составляет порядка 0,02 % подводимого тепла. Фактически отклонения от адиабатичности происходит в обоих направлениях в равной степени.

ТермоЭДС от закиси меди подается на вход потенциометра Р363-2 (2) (рис. 2), а затем на регулятор ВРТ-3. Схема поддержания адиабатических условий в калориметре, как уже упоминалось, работает в режиме (ПИД) регулирования, точность поддержания разности температур составляет $2,5 \cdot 10^{-4}$ К. Потери тепла через неконтролируемые участки калориметра (штуцер, карманы, и т.д.) составляют порядка 0,03 Дж на одно измерение. Потери от выводящих проводов внутреннего нагревателя, термометра, капилляра составляют 0,07-0,09 Дж. Компенсация потерь тепла и регулирование обеспечивалось системой экранов (3,4) (рис. 2).

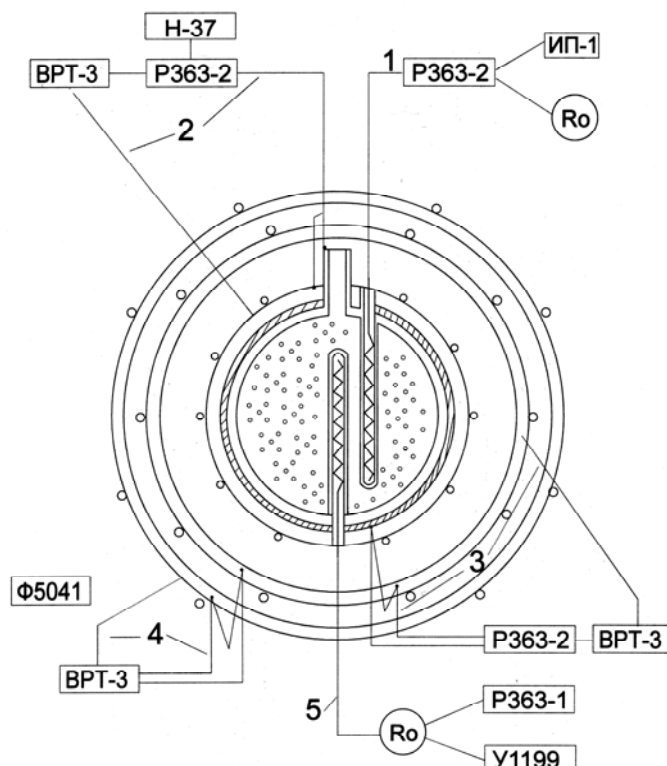


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки
1-Цепь термопары. 2- Цепь термоэлемента. 3- Цепь экрана I.
4- Цепь экранов II-III. 5- Цепь внутреннего нагревателя.
Fig. 2. Block diagram of the experimental apparatus
1-Thermocouple circuit. 2- Circuit thermopile. 3- Screen circuit I.
4- Circuit display II-III. 5- Internal heater circuit

Калориметр помещался в термостат с намотанным на него нагревателем, продетым сквозь керамические бусинки. Так как большая часть проводов после выхода из калориметра находится внутри термостата, имеющего температуру близкую к температуре калориметра, то возможные потери тепла через соединительные провода незначительны.

Электрическая блок – схема представлена на рисунке 2.

Для экспериментального определения общих неконтролируемых потерь проверялась степень адиабатичности калориметра в рабочих условиях. С этой целью при различных рабочих температурах достигалось равновесное состояние калориметрической системы, отмеченное показанием стрелки на шкале потенциометра, подключенного к измерительной термопаре. Наблюдения показали, что при рабочих условиях температура

системы за время одного измерения практически не менялась.

Точность поддержания температуры адиабатической оболочки осуществляется автоматически при помощи указанной блок-схемы с точностью порядка $5 \cdot 10^{-4}$ К.

Тепловой экран позволяет уменьшить конвективные потоки и улучшить однородность температурного поля внутри термостата.

Для расчета теплоемкости C_V пользовались формулой:

$$C_V^{экс} = \frac{1}{m} \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T} - C_0 \right) \quad (1)$$

где m – масса, исследуемой жидкости,
 $\Delta Q = UI\tau$ – количество тепла выделяемое внутренним нагревателем,
 U – падение напряжения, I – сила тока в цепи внутреннего нагревателя,
 τ – время однократного нагрева системы,
 ΔT – температурный шаг,



C_v - определяемое значение теплоемкости,
 C_0 - теплоемкость пустого калориметра.

Все единицы представлены в Международной системе (SI).

Тепловой эквивалент калориметра был определен по воде [11], т.е с использованием стандартного вещества с хорошо изученной теплоёмкостью, в интервале температур $T=30-200^{\circ}\text{C}$. При этом учитывалась теплоемкость материала калориметра. Для нашего случая постоянная калориметра описывалась уравнением:

$$C_0 = 77,48 + 0,12 T$$

где T - температура К, теплоемкость Дж · К⁻¹.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

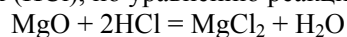
Для ввода и обработки данных, а также упрощения расчётов, нами была написана программа Heat Saracity. Программа написана на языке Python версии 2.6 для использования на компьютерах с операционными системами Windows, Linux, Mac [14].

Описание: Главное окно программы состоит из окна графика и окон ввода и вывода данных. В окне ввода данных вводятся константы C_0 , E , и т.д. При нажатии на кнопку «Старт» запускается таймер. При достижении требуемого значения E на шкале прибора «Компаратор напряжения P3003» нажимается кнопка «Стоп» и вводятся текущие данные напряжения и тока на внутреннем нагревателе 5 (рис. 2), после чего при нажатии на кнопку «Ввод» данные и результаты вычисления значения C_v отображаются в окне графика и окне вывода. Также все полученные данные автоматически записываются в текстовый файл и в файл формата Excel (.xlsx). При нажатии на кнопку «График Excel» открывается окно с таблицей данных и графиком измерений. Нажатие кнопки «Сохранить график» сохраняет окно графика. Нажатие кнопки «Очистить» - очищает все поля ввода данных для нового измерения системы. Работа была предпринята с целью автоматизации получения и расчёта экспериментальных данных изохорной теплоёмкости на основе прибора «Вольтметр универсальный В7-78/1».

Измерения теплоемкости проводились по квазиизохорам методом непрерывного нагрева. Такой метод позволяет с высокой точностью найти температуру фазового перехода T_S системы, т.е. определить $T_S - \rho_S$ данные на кривой сосуществования фаз, измерить величину скачка ΔC_v и получить надежные данные C_v в различных фазовых состояниях.

Метод позволяет определить изохорную теплоёмкость в двухфазной, однофазной областях и на кривой фазового равновесия. Оценка точности эксперимента по температуре $\pm 10\text{мК}$, удельного объёма $\pm 0,1\%$, теплоёмкости 0,8-1% со стороны жидкости и 1,5-3,5% со стороны паровых изохор.

Водные растворы хлорида магния готовили на основе оксида магния (MgO) марки (чистый для анализа), действием соляной кислоты (HCl), по уравнению реакции:



Концентрацию раствора контролировали рефрактометром марки ИРФ – 22 по показателю преломления.

Исследована изохорная теплоёмкость 1 % водного раствора хлористого магния по изохорам: $V' = 1,0598 \text{ см}^3/\text{г}$ и $V' = 1,1114 \text{ см}^3/\text{г}$ в интервале температур соответственно:

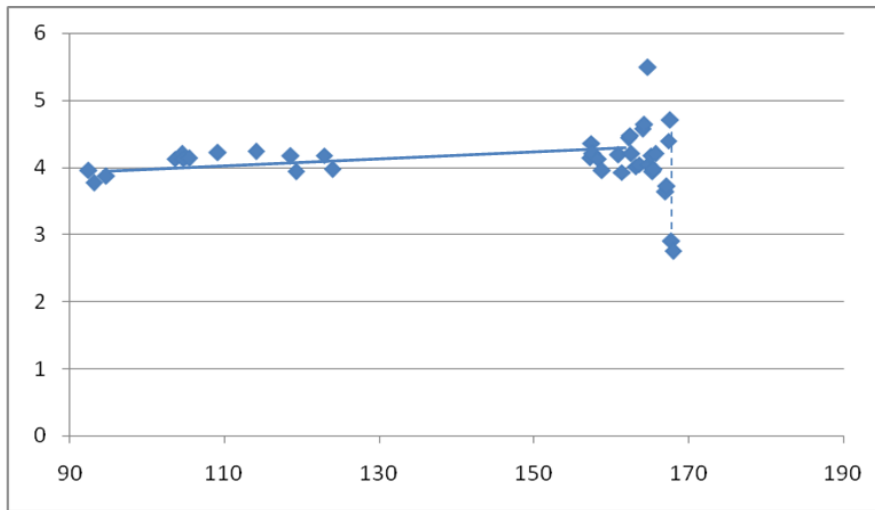
$T = 81,40 - 108,264^{\circ}\text{C}$ и $92,204 - 168,79^{\circ}\text{C}$. Получено более 600 точек, результаты представлены на рисунках (3,4). Ранее была исследована изохорная теплоёмкость водного раствора хлористого кальция [16].

Практическое значение этих исследований определяется развитием химической промышленности, энергетики, созданием различных тепловых установок и аппаратов, а также развитием теории жидкого состояния и фазового равновесия водно-солевых систем.

Полученные данные изохорной теплоёмкости водных растворов хлористого кальция сравнивались с данными по воде и водным растворам NaCl и NaOH, полученными ранее [15], которые могут быть представлены как модель геотермальной и морской воды.



C_V , кДж/кг. град

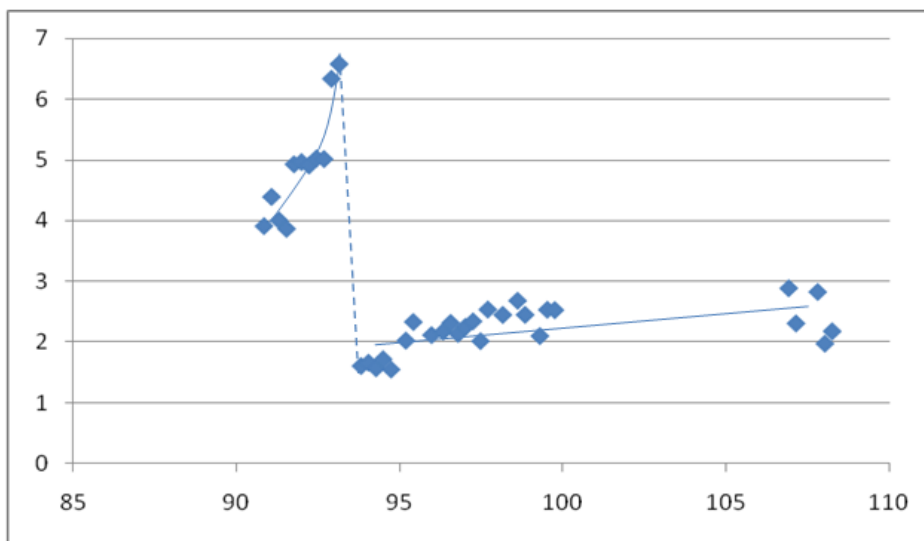


$T^{\circ}\text{C}$

Рис.3. Температурная зависимость C_V : \blacklozenge - 1 % водный раствор MgCl_2
($V' = 1,0598 \text{ cm}^3/\text{г}$)

Fig.3. Temperature dependence of C_V : \blacklozenge - 1% aqueous solution of MgCl_2
($V' = 1,0598 \text{ cm}^3/\text{g}$)

C_V , кДж/кг. град



$T^{\circ}\text{C}$

Рис.4. Температурная зависимость C_V : \blacklozenge - 1 % водный раствор MgCl_2
($V' = 1,1114 \text{ cm}^3/\text{г}$)

Fig.4. Temperature dependence of C_V : \blacklozenge - 1% aqueous solution of MgCl_2
($V' = 1,1114 \text{ cm}^3/\text{g}$)

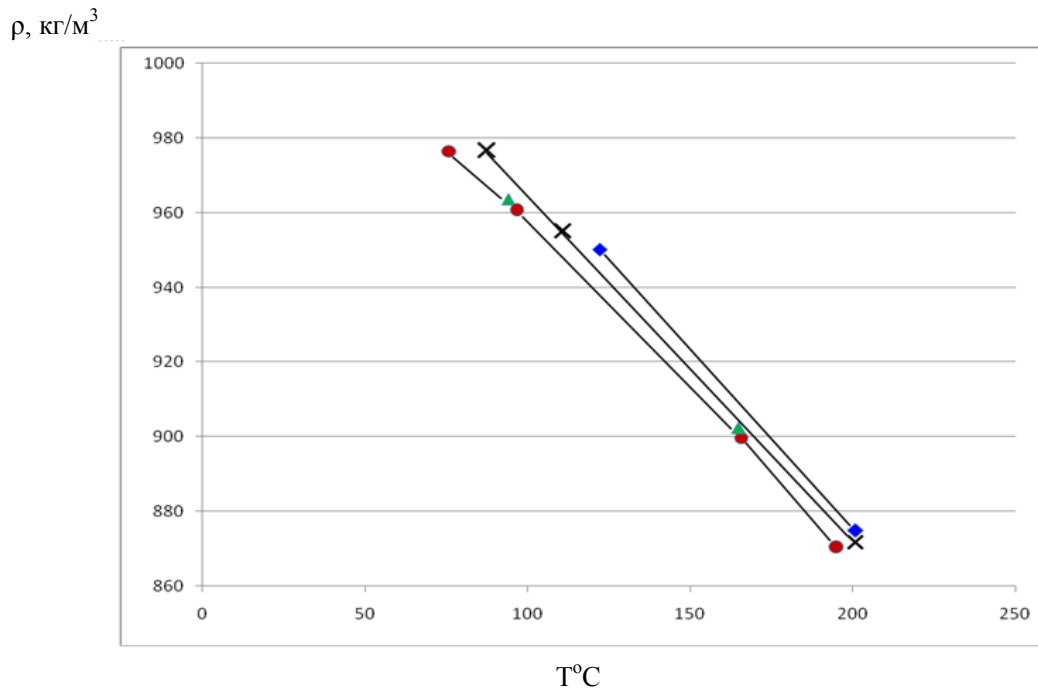


Рис. 5. Т-ρ зависимость воды и водных растворов: ● – вода, ▲ -1% водный раствор MgCl₂; ◆ - 1% водный раствор NaOH; × - 1% водный раствор NaCl

Fig. 5. T-ρ -dependence of water and aqueous solutions: ● - water, ▲ -1% aqueous solution MgCl₂; ◆ - 1% NaOH aqueous solution; × - 1% aqueous solution of NaCl

C_V, C_P кДж/кг.град

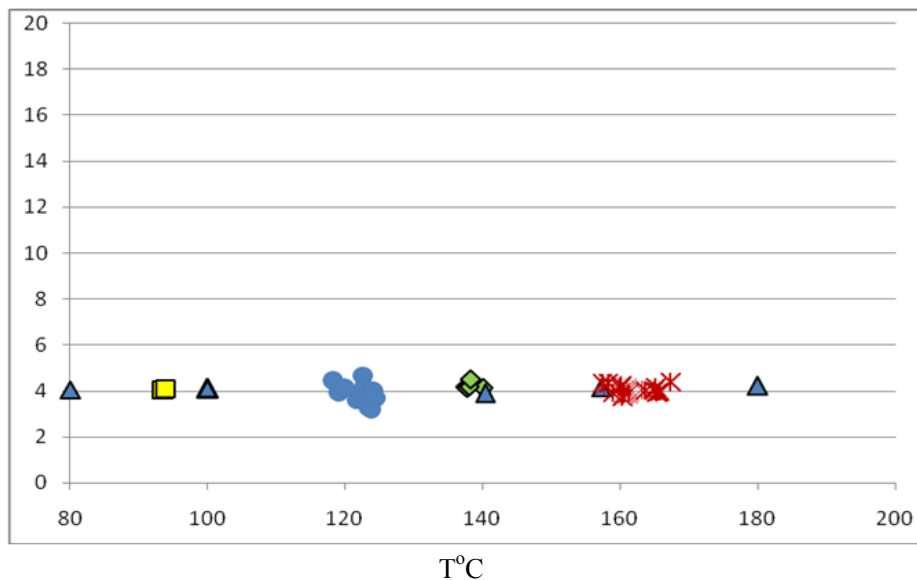


Рис.6. Температурная зависимость C_V, C_P водного раствора MgCl₂: ● - 1 % водный раствор MgCl₂ ($V' = 1,0598 \text{ cm}^3/\text{г}$); ■ – на основе методики [12] ($V' = 1,0441 \text{ cm}^3/\text{г}$); ▲ - C_p [14]; ◆, ж - 1 % водный раствор MgCl₂ ($V' = 1,1114 \text{ cm}^3/\text{г}$)

Fig. 6. Temperature dependence of C_V, C_P of aqueous solution of MgCl₂: ● - 1% aqueous solution of MgCl₂ ($V' = 1,0598 \text{ cm}^3 / \text{g}$); ■ - by the method of [12] ($V' = 1,0441 \text{ cm}^3 / \text{g}$); ▲ - C_p [14]; ◆, J - 1% aqueous solution of MgCl₂ ($V' = 1,1114 \text{ cm}^3 / \text{g}$)



ВЫВОДЫ

1. Анализ данных, полученных в результате расчёта, показывает, что учёт температурной зависимости таких параметров как плотность и теплоёмкость при расчётах существенно влияет на значения критерия эффективности при решении оптимизационных задач, которые необходимо учитывать, ибо в противном случае погрешность вычислений может составить до 20 %, что недопустимо при проведении количественных расчётов [5].
2. Установлено, что существуют оптимальные режимы эксплуатации и оптимальные параметры различных геотермальных систем, которые однозначно зависят от параметров и геотермических условий конкретного месторождения.
3. Полученные данные изохорной теплоёмкости водных растворов хлористого кальция сравнивались с данными по воде и водным растворам NaCl и NaOH, полученными ранее [15], которые могут быть представлены как модель геотермальной и морской воды.
4. Задачи оптимизации имеют большое практическое значение, так как позволяют определить такие значения параметров систем, оптимизирующие тот или иной критерий эффективности. Однако при оценке сложной системы нельзя оценивать её эффективность только лишь на основе одного, даже очень важного критерия. При этом приходится учитывать требования технического, экономического, экологического и другого характера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров А.А., Фортов В.Е. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России // Вестник Российской академии наук. 2004. Т.24. N3. С. 195-208.
2. Безруких П.П. Зачем России возобновляемые источники энергии // Энергия: экономика, техника, экология. 2002. N10. С. 2-8.
3. Типы и мощности геотермических установок. *Warme und Strom aus der Tiefe. Shuiz Anja. Sonne Wind und Wind und Wärme.* 2001. N4. P. 71-73 (Нем.).
4. Поваров О.А., Томаров Г.В. Всемирный геотермальный конгресс // Теплоэнергетика. 2001. N2. С. 74-77.
5. Джаватов Д.К., Дворянчиков В.И. Температурная зависимость термодинамических параметров геотермальных флюидов в задачах оптимизации геотермальных систем // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки. 2006. N3. С. 69-73.
6. Дворянчиков В.И., Абрамова Е.Г., Абдурашидова А.А. Изохорная теплоёмкость водных растворов Na₂CO₃ вблизи линии фазового равновесия // Теплофизика и аэромеханика. 2000. Т.7. N4. С. 573-579.
7. Абдулагатов И.М., Дворянчиков В.И. Изохорная теплоёмкость бинарных систем NaOH+H₂O и KOH+H₂O вблизи критической точки чистой воды // Геохимия. 1994. N1. С. 101-110.
8. Абдулагатов И.М., Дворянчиков В.И. Термодинамические свойства геотермальных флюидов // Геохимия. 1995. N5. С. 612-620.
9. Abdulagatov I.M., Dvoryanchikov V.I., Kamalov A.N. Measurements of the heat capacity at constant volume of H₂O and (H₂O+ KNO₃). *J. Chem. Thermodynamics.* 1997. V.29. pp. 1387-1407.
10. Abdulagatov I.M., Rabinovich V.A., Dvoryanchikov V.I. Thermodynamic Properties of Fluid Mixtures Near the Critical Point. *Begelle House. New York. Wallingford (UK).* 1999. 350 p.
11. Амирханов Х.И., Степанов Г.В., Алибеков Б.Г. Изохорная теплоёмкость воды и водяного пара. Махачкала: Дагестанский филиал АН СССР. 1969. 216 с.
12. Дибиров Я.А., Искендеров Э.Г., Алиев М.М. Установка ДТА с аналогово-цифровым преобразователем // XIV Международная конференция по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-2013), Санкт-Петербург, 23-28 сентября, 2013. С. 397-404.
13. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. Москва: Изд-во МЭИ. 2003. 164 с.
14. Senay Likke and LeRoy A. Bromley. Heat Capacities of Aqueous NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄ and Na₂SO₄ Solutions Between 80° and 200°C. *Journal of Chemical and Engineering Data.* 1973. Vol. 18. no. 2. pp. 189-195.
15. Дворянчиков В.И. Термодинамические свойства геотермальных флюидов используемых в теплоэнергетике // Материалы научного симпозиума «Механизмы участия воды в биоэлектромагнитных эффектах». Москва. 2013. С. 133-138.
16. Дворянчиков В.И., Джаватов Д.К., Шихахмедова Д.П. Изохорная теплоёмкость водных растворов хлорида кальция // Известия высших учебных заведений. Технические науки. 2015. N3. С. 93-97. DOI: 10.17213/0321-2653-2015-3-93-97



REFERENCES

1. Makarov A.A., Fortov V.E. Trends in the world of energy and energy strategy of Russia. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2004. vol. 24, no. 3. pp. 195-208. (In Russian)
2. Bezrukikh P.P. Why Russia Renewable Energy. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, and ecology]. 2002. no. 10. pp. 2-8. (In Russian)
3. Types and geothermal power plants. *Warme und Strom aus der Tiefe. Shuiz Anja. Sonne Wind und Wind und Wärme*. 2001. no. 4. P.71-73.
4. Povarov O.A., Tomarov G.V. World Geothermal Congress. *Teploenergetika* [Thermal Engineering]. 2001. no. 2. pp. 74-77. (In Russian)
5. Djavatov D.K., Dvoryanchikov V.I. The temperature dependence of the thermodynamic parameters of geothermal fluids in optimization problems geothermal systems. *Izvestiya vuzov. Severokavkazskii region. Tekhnicheskie nauki* [University news. North-Caucasian region. Technical sciences series]. 2006. no. 3. pp. 69-73. (In Russian)
6. Dvoryanchikov V.I., Abramova E.G., Abdurashidova A.A. Isochoric heat capacity of aqueous solutions of Na₂CO₃ near the line of phase equilibrium. *Teplofizika i aeromekhanika* [Thermophysics and Aeromechanics]. 2000. vol. 7, no. 4. pp. 573-579. (In Russian)
7. Abdulagatov I.M., Dvoryanchikov V.I. Isochoric heat capacity of binary systems NaOH + H₂O and KOH + H₂O near the critical point of pure water. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 1994. no. 1. pp. 101-110. (In Russian)
8. Abdulagatov I.M., Dvoryanchikov V.I. Thermodynamic properties of geothermal fluids. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 1995. no. 5. pp. 612-620. (In Russian)
9. Abdulagatov I.M., Dvoryanchikov V.I., Kamalov A.N. Measurements of the heat capacity at constant volume of H₂O and (H₂O+ KNO₃). *J. Chem. Thermodynamics*. 1997. V.29. pp. 1387-1407.
10. Abdulagatov I.M., Rabinovich V.A., Dvoryanchikov V.I. Thermodynamic Properties of Fluid Mixtures Neat the Critical Point. *Begelle House. New York. Wallingford (UK)*. 1999. 350 p.
11. Amirhanov H.I., Stepanov G.V., Alibekov B.G. *Izokhormaya teploemkost' vody i vodyanogo para* [Isochoric heat capacity of water steam]. Makhachkala. Dagestan branch of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1969. 216 p. (In Russian)
12. Dibirov Ya.A., Iskenderov E.G., Aliyev M.M. Ustanovka DTA s analogovo-tsifrovym preobrazovatelem [Installing DTA with the analog-to-digital converter]. *XIV Mezhdunarodnaya konferentsiya po termicheskomu analizu i kalorimetrii v Rossii (RTAC-2013), Sankt-Peterburg, 23-28 sentyabrya 2013* [XIV International Conference on Thermal Analysis and Calorimetry in Russia (RTAC-2013), St. Petersburg, 23-28 September 2013]. St. Petersburg, 2013, pp. 397-404. (In Russian)
13. Alexandrov A.A., Grigoriev B.A. *Tablitsy teplofizicheskikh svoistv vody i vodyanogo para* [Tables of thermophysical properties of water and steam]. Moscow, MEI Publ., 2003. 164 p. (In Russian)
14. Senay Likke and LeRoy A. Bromley. Heat Capacities of Aqueous NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄ and Na₂SO₄ Solutions Between 80° and 200°C. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1973. Vol. 18. no. 2. pp. 189-195.
15. Dvoryanchikov V.I. Termodinamicheskie svoistva geotermal'nykh flyuidov ispol'zuemykh v teploenergetike [Thermodynamic properties of geothermal fluids used in the heat]. *Materialy nauchnogo simpoziuma «Mekhanizmy uchastiya vody v bioelektromagnitnykh effektakh», Moskva, 2013* [Materials Science Symposium "Mechanisms of water bioelectromagnetic effects", Moscow, 2013]. Moscow, 2013. pp. 133-138. (In Russian)
16. Dvoryanchikov V.I., Djavatov D.K. Shihahmedova D.P. Isochoric heat capacity of aqueous solutions of CaCl₂. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. The North Caucasus region. Technical sciences]. 2015. no. 3. pp. 93-97. (In Russian) DOI: 10.17213/0321-2653-2015-3-93-97

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Василий И. Дворянчиков* – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем геотермии, Дагестанский научный центр, Российская академия наук, тел.: 89634115657, пр. И.Шамиля, 39а, Махачкала, 367030 Россия.
E-mail: vasilii_dv01@mail.ru

Джават К. Джаватов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем геотермии, Дагестанский научный центр, Российская академия наук, Махачкала, Россия.

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Vasiliy I. Dvoryanchikov* – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geothermal Problems of the Dagestan Scientific Centre of Russian Academy of Sciences. Phone number +79634115657. 39a I.Shamilya street Makhachkala, 367030 Russia.
E-mail: vasilii_dv01@mail.ru

Djavat K. Djavatov – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geothermal Problems of the Dagestan Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia.



Гаджи А. Рабаданов – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем геотермии, Дагестанский научный центр, Российская академия наук, Махачкала, Россия.

Gadzhi A. Rabadanov – Candidate of chemical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geothermal Problems of the Dagestan Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia.

Эльдар Г. Искендеров – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединённый институт высоких температур Российской академии наук, Махачкала, Россия.

Eldar G. Iskenderov – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Federal State Institution of Science, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia.

Динара П. Шихахмедова – аспирант, Институт проблем геотермии, Дагестанский научный центр, Российская академия наук, Махачкала, Россия.

Dinara P. Shikhakhmedova – postgraduate student, Institute of Geothermal Problems, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia.

Критерий авторства

Василий И. Дворянчиков – провёл измерения, написал рукопись, несёт ответственность за плагиат. Динара П. Шихахмедова - провела измерения, подготовила рукопись к печати. Джават К. Джаватов – проанализировал данные. Гаджи А. Рабаданов - приготовил растворы, проанализировал данные. Эльдар Г. Искендеров - автоматизация установки для получения и расчёта экспериментальных данных.

Contribution

Vasily I. Dvoryanchikov: performed measurements; wrote the manuscript; is responsible for avoiding the plagiarism. Dinara P. Shikhakhmedova: performed measurements; prepared the manuscript for publication. Djavat K. Djavatov: conducted data analysis. Gadzhi A. Rabadanov: prepared solutions, conducted data analysis. Eldar G. Iskenderov: automation of the machine for obtaining and calculation of the experimental data.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 08.02.2016

Принята в печать 05.03.2016

Received 08.02.2016

Accepted for publication 05.03.2016