

Моделирование термодинамических свойств водоаммиачного раствора для рабочих интервалов параметров абсорбционных водоаммиачных холодильных машин

Д-р техн. наук Л. В. ГАЛИМОВА, И. В. КУЗЬМИН
Астраханский государственный технический университет

The possibility of use of absorption water-ammonia refrigeration machines in the energy-saving systems requires the analysis of their performance depending on the alteration of operational parameters. To carry out quick and sufficiently reliable thermal calculation with the use of a computer, the relationships are proposed, connecting the necessary values of thermodynamical parameters of the water-ammonia solution in a large range of operating parameters change. A program of calculation has been developed, and testing of its parameters has been carried out.

Абсорбционные холодильные машины, относящиеся к классу низкопотенциального энергетического оборудования, призваны решать проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов и защиты окружающей среды от теплового загрязнения.

В среднем по нашей стране потенциал энергосбережения составляет 30 – 35 % потребления различных видов энергии, а затраты на любое энергосберегающее мероприятие в 2 – 3 раза меньше, чем на добычу и производство энергоресурсов [1]. Этим объясняется актуальность разработки энергосберегающего оборудования и технологий и их выхода на рынок страны.

Возможность использования абсорбционных холодильных машин и тепловых насосов в системах энергосбережения обосновывается с помощью моделирования сложных схем, объединяющих в единое целое исследуемый объект и энергосберегающую технологию [2].

Разработка математических моделей позволяет учитывать множество факторов, связанных с выбором и обоснованием схемы, видом холодильного агента и теплоносителя, видами энергетических ресурсов, используемых для нагрева генератора, необходимостью получения различных температур охлаждения и др.

В данной работе была поставлена и решена задача составления математических уравнений, позволяющих без затруднений находить любые термодинамические свойства водоаммиачного раствора. В качестве базы данных приняты таблицы термодинамических свойств водоаммиачного раствора в большом интервале изменения рабочих параметров [3].

На основе известной методики теплового расчета водоаммиачной абсорбционной холодильной машины был сделан вывод о том, что минимальным, но достаточным числом уравнений, связывающих свойства водоаммиачного раствора, является четыре, это зависимости энталпии:

- от концентрации ξ и давления насыщенной жидкости p' ;
- концентрации ξ и температуры насыщенной жидкости t' ;

- концентрации ξ и давления сухого насыщенного пара p'' ;
- концентрации ξ и давления во всех вспомогательных линиях $p_{\text{всп}}$.

Следующим необходимым при моделировании шагом является выбор вида зависимостей и его обоснование. С этой целью были получены отдельные пробные зависимости в виде логарифмических, степенных, показательных, экспоненциальных и полиноминальных уравнений, которые были проверены на величину погрешностей и суммарных предельных отклонений.

Результаты показали, что наиболее приемлемым видом уравнения является полиноминальное, и чем выше его степень, тем точнее полученные результаты. В то же время полиноминальное уравнение слишком высокой степени усложнит дальнейшее его использование в расчетах. Поэтому была принята величина допустимой погрешности 1 %, и найдено, что такой точности удовлетворяет полиноминальное уравнение 6-й степени.

Для компьютерного решения поставленной задачи была выбрана программа Microsoft Excel, как наиболее доступная и удовлетворяющая требованиям задачи.

Далее был составлен алгоритм нахождения зависимостей между параметрами и проведена работа по его выполнению.

После переноса таблиц термодинамических свойств равновесных фаз системы водоаммиачного раствора в электронный формат, анализа ее на рабочие интервалы для каждой сложной зависимости от двух переменных $z = f(x, y)$ вначале были получены уравнения по одной переменной при различных значениях второй в виде полиноминальных уравнений 6-й степени, т.е. несколько уравнений $z_i = f_i(x)$ при $y = \text{const}$, число которых i равнялось числу разных значений второй переменной y . Так как множество уравнений $z_i = f_i(x)$ представляет собой полиноминальные уравнения вида $z_i = a_i x^6 + b_i x^5 + c_i x^4 + d_i x^3 + e_i x^2 + f_i x + g_i$, было решено представить коэффициенты полиномов $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i, g_i$ в виде зависимостей от второй переменной y .

Полученная таким образом зависимость от двух переменных представляет собой полиномиальную зависимость 6-й степени от одной переменной, где коэффициенты полинома, в свою очередь, представляют полиномиальные зависимости 6-й степени от второй переменной:

$$\begin{aligned} Z &= ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g; \\ a &= a_1y^6 + b_1y^5 + c_1y^4 + d_1y^3 + e_1y^2 + f_1y + g_1; \\ b &= a_2y^6 + b_2y^5 + c_2y^4 + d_2y^3 + e_2y^2 + f_2y + g_2; \\ c &= a_3y^6 + b_3y^5 + c_3y^4 + d_3y^3 + e_3y^2 + f_3y + g_3; \\ d &= a_4y^6 + b_4y^5 + c_4y^4 + d_4y^3 + e_4y^2 + f_4y + g_4; \\ e &= a_5y^6 + b_5y^5 + c_5y^4 + d_5y^3 + e_5y^2 + f_5y + g_5; \\ f &= a_6y^6 + b_6y^5 + c_6y^4 + d_6y^3 + e_6y^2 + f_6y + g_6; \\ g &= a_7y^6 + b_7y^5 + c_7y^4 + d_7y^3 + e_7y^2 + f_7y + g_7. \end{aligned}$$

В результате такого способа нахождения зависимостей были получены уравнения функций $i = f(\xi, p')$, $i = f(\xi, t)$, $i = f(\xi, p'')$, $i = f(\xi, p_{\text{всп}})$.

Зависимость энталпии от концентрации и давления насыщенной жидкости $i = f(\xi, p')$:

$$\begin{aligned} i &= a\xi^6 + b\xi^5 + c\xi^4 + d\xi^3 + e\xi^2 + f\xi + g; \\ a &= 1732,7p'^6 - 11912p'^5 + 32627p'^4 - 46039p'^3 + \\ &\quad + 36527p'^2 - 16125p' - 175,41; \\ b &= -6405,9p'^6 + 43735p'^5 - 118562p'^4 + 164620p'^3 - \\ &\quad - 127744p'^2 + 55992p' + 33,893; \\ c &= 8932,6p'^6 - 60678p'^5 + 163241p'^4 - 223936p'^3 + \\ &\quad + 170995p'^2 - 75408p' + 996,91; \\ d &= -6111,8p'^6 + 41344p'^5 - 110498p'^4 + 149938p'^3 - \\ &\quad - 112799p'^2 + 50600p' - 2131,7; \\ e &= 2014p'^6 - 13590p'^5 + 36164p'^4 - 48695p'^3 + \\ &\quad + 36272p'^2 - 16938p' + 3123,3; \\ f &= -41,343p'^6 + 308,93p'^5 - 942,34p'^4 + 1539,2p'^3 - \\ &\quad - 1546,9 - p'^2 + 1264,1p' - 2377,9; \\ g &= -399,05p'^6 + 2648,7p'^5 - 6864,9p'^4 + 8816p'^3 - \\ &\quad - 5955,7p'^2 + 2294,6p' + 653,91. \end{aligned}$$

Зависимость энталпии от концентрации и температуры насыщенной жидкости $i = f(\xi, t)$:

$$\begin{aligned} i &= at + b; \\ a &= 12,43\xi^6 - 24,677\xi^5 + 12,362\xi^4 + 4,5918\xi^3 - \\ &\quad - 7,8886\xi^2 + 3,5508\xi + 4,3381; \\ b &= 941\xi^2 - 908,68\xi + 395,3. \end{aligned}$$

Зависимость энталпии от концентрации и давления насыщенной жидкости $i = f(\xi, p'')$:

$$\begin{aligned} i &= a\xi^6 + b\xi^5 + c\xi^4 + d\xi^3 + e\xi^2 + f\xi + g; \\ a &= 43228p''^6 - 162605p''^5 + 98848p''^4 + 249069p''^3 - \\ &\quad - 374399p''^2 + 165815p'' - 61315; \\ b &= -162630,64p''^6 + 635682,24p''^5 - 488534,85p''^4 - \\ &\quad - 735103,25p''^3 + 1251072,58p''^2 - \\ &\quad - 567937,29p'' + 186652; \\ c &= 241315,67p''^6 - 983127,22p''^5 + 922261,45p''^4 + \\ &\quad + 742291,8p''^3 - 1578349,52p''^2 + \\ &\quad + 742482,31p'' - 216688,49; \\ d &= -175734p''^6 + 746674p''^5 - 825647p''^4 - \\ &\quad - 263974p''^3 + 924364p''^2 - 458690p'' + 118597; \\ e &= 62477p''^6 - 276561p''^5 + 349871p''^4 - 8958,7p''^3 - \\ &\quad - 243390p''^2 + 131669p'' - 30199; \\ f &= -9880,9p''^6 + 47749p''^5 - 75805p''^4 + 38517p''^3 + \\ &\quad + 8962,9p''^2 - 10998p'' + 1502,7; \\ g &= -212,78p''^6 + 1404,3p''^5 - 3608p''^4 + 4565,4p''^3 - \\ &\quad - 2995,7p''^2 + 1037,3p'' + 3013,7; \end{aligned}$$

Зависимость энталпии от концентрации и давления

во вспомогательных линиях $i = f(\xi, p_{\text{всп}})$:

$$\begin{aligned} i &= a\xi^6 + b\xi^5 + c\xi^4 + d\xi^3 + e\xi^2 + f\xi + g; \\ a &= 186100,64p_{\text{всп}}^6 - 1217468,37p_{\text{всп}}^5 + 3086383,43p_{\text{всп}}^4 - \\ &\quad - 3823490,04p_{\text{всп}}^3 + 2417668,98p_{\text{всп}}^2 - 774939,06p_{\text{всп}} + 118405; \\ b &= -553873,55p_{\text{всп}}^6 + 3628342,39p_{\text{всп}}^5 - \\ &\quad - 9217172,33p_{\text{всп}}^4 + 11457459,66p_{\text{всп}}^3 - \\ &\quad - 7292676,04p_{\text{всп}}^2 + 2379136,77p_{\text{всп}} - 387935,26; \\ c &= 625632,24p_{\text{всп}}^6 - 4105018,79p_{\text{всп}}^5 + \\ &\quad + 10453840,13p_{\text{всп}}^4 - 13047890,04p_{\text{всп}}^3 + \\ &\quad + 8371129,25p_{\text{всп}}^2 - 2791783,67p_{\text{всп}} + 498864,45; \\ d &= -333633,45p_{\text{всп}}^6 + 2193045,14p_{\text{всп}}^5 - \\ &\quad - 5600481,62p_{\text{всп}}^4 + 7023130,78p_{\text{всп}}^3 - \\ &\quad - 4547818,74p_{\text{всп}}^2 + 1559287,78p_{\text{всп}} - 320110,65; \\ e &= 83539,79p_{\text{всп}}^6 - 550090,71p_{\text{всп}}^5 + \\ &\quad + 1408815,78p_{\text{всп}}^4 - 1775522,91p_{\text{всп}}^3 + \\ &\quad + 1161651,12p_{\text{всп}}^2 - 412746,28p_{\text{всп}} + 107741,33; \\ f &= -7735,32p_{\text{всп}}^6 + 50957,18p_{\text{всп}}^5 - 130680,32p_{\text{всп}}^4 + \\ &\quad + 165241,03p_{\text{всп}}^3 - 109071,58p_{\text{всп}}^2 + 40631,23p_{\text{всп}} - \\ &\quad - 18374,54; \\ g &= -185,44p_{\text{всп}}^6 + 1247,3p_{\text{всп}}^5 - 3282,9p_{\text{всп}}^4 + \\ &\quad + 4293,2p_{\text{всп}}^3 - 2960,8p_{\text{всп}}^2 + 1101p_{\text{всп}} + 3002,9. \end{aligned}$$

Полученные зависимости обладают рядом преимуществ по сравнению с таблицами:

✓ позволяют проводить определение параметров за меньшее время;

✓ прогнозируют значения, которые не определены в таблицах;

✓ позволяют автоматизировать тепловой расчет машины и каждого ее аппарата.

Указанные преимущества позволили воспользоваться данными уравнениями для создания универсальной программы теплового расчета абсорбционной водоаммиачной холодильной машины. Была учтена возможность выбора 4 верных корней уравнений из 6.

С целью определения возможностей разработанной программы был проведен тепловой расчет типовой водоаммиачной холодильной машины, определены полные тепловые нагрузки аппаратов и произведено сравнение полученных расчетных характеристик с действительными.

Разработанная программа расчета позволяет достаточно быстро и надежно производить анализ показателей работы абсорбционной холодильной машины в зависимости от изменения рабочих параметров, необходимость в котором может возникнуть при решении вопроса привязки ее к месту предполагаемого использования в системах энергосбережения.

Список литературы

- Жигулев Г.В., Иванов Л.Л., Сторожков А.П. Проблемы энергосбережения в Ульяновской области // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Материалы третьей Российской научно-технической конференции. – Ульяновск, 2001.
- Галимова Л.В. Абсорбционные термотрансформаторы в системах энергосбережения // Холодильная техника. 2004. № 5.
- Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С. Н. Богданова. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПБГАХПТ, 1999.