

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ

А.И. Кубряк

Научный руководитель: доцент, д.т.н. Е.А. Муравьева
 Уфимский государственный нефтяной технический университет,
 Россия, г. Стерлитамак, пр. Октября, 2, 453118
 E-mail: falcone.kub@gmail.com

1. Введение

Холодильные машины являются неотъемлемой частью химического машиностроения. Они широко используются для сжижения газов, таких как жидкие кислород, азот, хлор и метан. Им давно нашли широкое применение в химии, машиностроении и металлургии. Конденсатор-испаритель занимает центральное место в системе сжижения. Рассмотрим моделирование данного аппарата с целью дальнейшей разработки системы управления им.

2. Базис математической модели

Известны зависимости давления, плотности и теплоемкости фреона от температуры [1]. Они представлены графическими данными, которые аппроксимируются и представляются в виде аналитических выражений. Соответственно, добавляем эти зависимости в разрабатываемую динамическую модель.

Зависимость плотности фреона в кг/м^3 от температуры и давления принимает следующее выражение:

$$\rho_f(T, p) = (-0,6259 \cdot T^2 - 25,353 \cdot T \cdot 1572,3) \cdot bf^{\left(\frac{p}{101325} - 1\right)},$$

где T – температура фреона в $^{\circ}\text{C}$;

bf – коэффициент сжатия фреона, принимаемый равным 0,995;

p – давление фреона в Па.

Теплота конденсации хлора зависит только от его температуры, и потому эта кривая аппроксимируется по графику, представленному в справочных данных [2] и представляется аналитическим выражением.

Математическая модель должна учитывать нормы регламента проведения технологического процесса сжижения хлора. Поэтому нельзя допустить, чтобы уровень стремился к превышению максимального значения. К тому же, нельзя допустить, чтобы в конденсаторе-испарителе перестал присутствовать фреон. Для этих целей пропишем блокировки максимального и минимального уровней фреона в аппарате.

$$Lf_1(p) = \begin{cases} 1 & \text{ЕСЛИ } p_1 < 100 \\ 0 & \text{ИНАЧЕ} \end{cases},$$

$$Lf_2(p) = \begin{cases} \text{ЕСЛИ } (Pr f(p_3) - p_2) > 0 \\ 1 & \text{if } p_1 > 0 \\ 0 & \text{ИНАЧЕ} \\ \text{ИНАЧЕ} \\ 1 & \text{ЕСЛИ } p_1 < 100 \\ 0 & \text{ИНАЧЕ} \end{cases}.$$

где: p_1 – значение уровня в конденсаторе-испарителе; p_2 – текущее значение давления в аппарате в Па; p_3 – температура; p_4 – значения величин температуры хлора в $^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, $Lf_1(p)$ отвечает за блокировку уровня фреона по его подаче, а $Lf_2(p)$ по испарению и конденсации фреона, которые будут зависеть от величины парциального давления фреона и давления в аппарате.

3. Математическая модель конденсатора-испарителя

Рассмотрим следующие уравнения подробнее.

Уравнение для уровня в % будет определяться разностью поступающего в конденсатор-испаритель фреона и паров его испарения

$$dL(p) = Lf_1(p) \cdot \frac{Gf \cdot a1}{Vf} - Visp(p),$$

где Gf – расход фреона, м³/с;

$a1$ – степень открытия клапана на подачу жидкого фреона, %.

Величина поступающего фреона будет определяться дробью $\frac{Gf \cdot a1}{Vf}$.

Испарение будет происходить, когда парциальное давление паров фреона больше давления насыщенного пара при заданной температуре. В противном случае будет происходить конденсация [4].

Температуру фреона в °С найдем, используя формулу

$$\frac{-Visp(p) \cdot pof(p_3, p_2) \cdot Cisp + (Tatm - p_3) \cdot Tr + (p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1}{Cpf(p, 0) + Cp}$$

где $p_3 \cdot Cpf(p, 0)$ – теплота полученная фреоном, уже находящимся в аппарате, Дж;

$Tf1 \cdot Cpf(p, Tf1) \cdot Gf \cdot a1 \cdot pof(Tf1, Pf1)$ – тепло от поступающего фреона, Дж;

$p_3 \cdot Cp$ – теплота, отданная стенкам аппарата, Дж.

Уравнение для описания изменения температуры хлора

$$dTh(p) = \frac{-(p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1 + Gcond(p) \cdot Ccondh(p_4) \cdot Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Cpgh \cdot \frac{(Ph + 101325) \cdot Vh}{R \cdot (273,15 + p_4)} \cdot Vh - Vhg(p)},$$

где $Cpgh$ – теплоемкость жидкого хлора, Дж/кг·К;

$Th1$ – температура хлора на вход в аппарат, °С;

$Pf2$ – давление паров фреона перед компрессором, Па.

Рассмотрим первую дробь. В числителе слагаемое $-(p_4 - p_3) \cdot alfa \cdot S1$ показывает теплоту, отданную фреону, $Gcond(p) \cdot Ccondh(p_4)$ учитывает теплоту конденсации хлора. В знаменателе

$Cpgh \cdot \frac{(Ph + 101325) \cdot Vh}{R \cdot (273,15 + p_4)}$ – теплоемкость хлора [4].

Вторая дробь $\frac{Vhg(p) \cdot (p_4 - Th1)}{Vh - Vhg(p)}$ показывает изменение температуры хлора.

4. Заключение

Разработанная математическая модель ОУ описывает основные процессы в аппарате: испарение фреона, конденсация хлора, изменение уровня фреона и давления в аппарате. В основу модели положены уравнения, определяющие вышеописанные процессы, что позволяет применять ее с целью проектирования и расчета аппаратов теплопереноса через стенку с фазовыми переходами теплоносителей различных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зависимость температуры кипения фреонов от давления [Электронный ресурс] – URL: <http://www.xiron.ru/content/view/10/27/> (дата обращения: 05.03.2017).
2. Теплопроводность, теплоемкость, свойства фреона [Электронный ресурс] – URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/organicheskie-gazy/teploprovodnost-teploemkost-svoystva-freona-22> (дата обращения: 05.03.2017).
3. Сжижение хлора [Электронный ресурс] – URL: <http://chem21.info/info/149269/> (дата обращения: 05.03.2017).
4. Глинка Н.Л. Общая химия / Учебное пособие для вузов – 27-е изд., стереотипное – Л.: Химия, 1988., – 704с.