

УДК 536.71

¹А.А. Вассерман, доктор техн. наук; С.В. Козловский, аспирант; В.П. Мальчевский, кандидат техн. наук

Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029

¹e-mail: avas@paso.net

ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ СМЕСИ МЕТАН-ДИОКСИД УГЛЕРОДА И ЕЁ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАК ХЛАДАГЕНТА

Составлено уравнение состояния смеси метан-диоксид углерода в форме комбинации свободных энергий Гельмгольца компонентов смеси и функции взаимодействия компонентов. Коэффициенты уравнения определены на основании экспериментальных данных о плотности смеси при температурах от 193 до 673 К и давлениях до 100 МПа с учётом условий фазового равновесия. Проанализировано термодинамическое поведение смеси в состоянии насыщения. Установлено, что разность значений температуры насыщенного пара и жидкости на изобарах для разных составов достигает 45 К. Рассчитаны значения холодильного коэффициента и удельной объёмной холодопроизводительности цикла одноступенчатой холодильной машины при использовании смеси метан-диоксид углерода как хладагента.

Ключевые слова: Смесь метан-диоксид углерода. Уравнение состояния. Термодинамическое поведение. Состояние насыщения. Холодильная машина. Характеристики цикла.

1. ВВЕДЕНИЕ

Углеводороды и их смеси рассматриваются как перспективные рабочие тела низкотемпературных установок. Этому вопросу посвящена, в частности, статья Г.К. Лавренченко и М.Г. Хмельнюка [1]. В публикации [2] отмечено, что смесь этана и пропана применяется как рабочее тело установок для охлаждения природного газа. Однако углеводороды и их смеси огнеопасны. Для уменьшения этой опасности предполагалось использовать в качестве хладагентов смеси углеводородов с диоксидом углерода.

Диоксид углерода является одним из старейших хладагентов, использовавшимся еще в XIX веке. Его недостаток — высокое значение критического давления и низкие значения критической температуры. При смешении CO₂ с этаном и пропаном значения критического давления оказываются ниже, чем у чистого CO₂. Поэтому многие авторы изучали экспериментально термодинамические свойства бинарных смесей этана и пропана с диоксидом углерода. Характеристики указанных смесей как хладагентов недавно исследовали А.А. Вассерман и С.В. Козловский [3].

Для смеси диоксида углерода (R744) с метаном (R50) также накоплено большое количество экспериментальных p, ρ, T, x -данных. Поэтому на основании таких данных нами составлено уравнение состояния, позволяющее рассчитывать термодинамические свойства смеси R744/R50 с необходимой для практики точностью. С помощью уравнения состояния исследовано термодинамическое поведение этой смеси в состоянии насыщения и оценена её эффективность как рабочего тела низкотемпературных установок.

2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ

Для составления уравнения состояния указанной смеси использована методика, предложенная В.И. Недоступом и О.В. Недоступом [4]. В соответствии с этой методикой уравнение состояния бинарной смеси имеет форму:

$$A = A^{id} + A^E, \quad (1)$$

где A и A^{id} — энергии Гельмгольца реальной и идеальной смесей; A^E — добавка к энергии Гельмгольца от смешения (функция взаимодействия).

Величины A^{id} и A^E для бинарной смеси рассчитываются следующим образом:

$$A^{id} = \sum_{k=1}^2 x_k A_k^0(\omega, \tau) + \sum_{k=1}^2 x_k^2 [A_k^r(\omega, \tau) + RT \ln x_k]; \quad (2)$$

$$A^E = 2RTx_1x_2 \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^r a_{ij} \omega^i \tau^{-j} + \exp(-\omega^2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s b_{ij} \omega^i \tau^{-j} \right], \quad (3)$$

где A_k^0 и A_k^r — идеально-газовая и реально-газовая части свободной энергии Гельмгольца компонента k ; x_k — мольные доли компонентов смеси; a_{ij} и b_{ij} — коэффициенты полиномиальной и экспоненциальной частей функции взаимодействия A^E ; $\omega = V_c/V$ и $\tau = T/T_c$ — приведенные плотность и температура смеси; V_c и T_c — критические параметры смеси.