

Столяров С. П.

[УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПАРА ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ](#)

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2008/12/52.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по данному вопросу.

Источник

[Альманах современной науки и образования](#)

Тамбов: Грамота, 2008. № 12 (19). С. 164-167. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2008/12/

[© Издательство "Грамота"](#)

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

К настоящему времени теплофизические свойства жидкой и паровой фаз щелочных металлов, используемые в инженерных энергетических расчетах, достаточно хорошо изучены. По вопросу имеется обширная библиография, в том числе публикации по теоретическим методам расчета и подробные таблицы теплофизических свойств [Шпильрайн 1970; Боришанский 1976; Попырин 1978; Фокин 1983; Рева 1984]. Возвращение к проблеме вызвано необходимостью описания теплофизических свойств щелочных металлов в виде, удобном для использования в математических моделях, предназначенных для реализации на ЭВМ, то есть в такой форме, которая обеспечивает экономичный расчетный алгоритм при соблюдении необходимой точности вычислительного процесса.

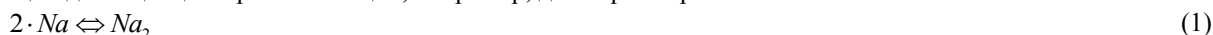
Выполняя расчетные исследования с применением вычислительной техники, можно использовать различные методы описания физических параметров теплоносителей: представление табличных данных в виде функции от одной или нескольких переменных; интерполяция данных по узловым точкам таблиц, введенным в память ЭВМ; программирование определенной методики расчета параметров.

При выборе метода расчета необходимо учитывать ряд специфических требований и ограничений, накладываемых вычислительной техникой, из которых важнейшими являются ограничения по времени счета и объему оперативной памяти, необходимому для выполнения задачи. По данным Сибирского энергетического института в ряде задач оптимизации теплоэнергетических установок машинное время, расходуемое на определение параметров рабочих тел и теплоносителей, составляет 80-90% от общего времени решения задачи на ЭВМ [Попырин 1978]. Кроме того, в ряде случаев необходимо учитывать также объем и сложность подготовительных работ по разработке и отладке программного обеспечения.

Сложность и громоздкость разработанных термодинамических методов и большой объем таблиц теплофизических свойств привели к тому, что второй и третий из перечисленных методов описания свойств используются редко. В результате в энергетических расчетах и, в частности, при расчете высокотемпературных тепловых труб, пар щелочных металлов, как правило, рассматривается упрощенно как идеальный газ. Такое допущение во многих случаях нельзя признать удовлетворительным, поскольку в большинстве инженерных задач параметры рабочего тела оказываются близкими к состоянию насыщения.

Отклонение параметров пара от уравнения состояния идеального газа можно учесть, применяя уравнение с использованием параметра сжимаемости $Z=P \cdot v / R \cdot T$. При этом задача построения уравнения состояния реального пара сводится к отысканию сжимаемости $Z(P, T)$ по заданным параметрам состояния.

Пары щелочных металлов наряду с атомами содержат и многоатомные молекулы, то есть являются частично полимеризованными, причем степень диссоциации α , определяющая соотношение атомов и молекул в паре, так же как и сжимаемость Z , является функцией параметров состояния. Обычно принимают, что пар состоит из двух составляющих: атомарной и двухатомных молекул, между которыми возможно протекание реакции диссоциации - рекомбинации, например, для пара натрия:



Уравнение Вант-Гоффа, определяющее мольные концентрации атомов и молекул, для реакции такого типа может быть преобразовано к виду [Шпильрайн 1970]:

$$P \cdot 4\alpha^2 / (1 - \alpha)^2 = K_p(T), \quad (2)$$

где $K_p(T)$ - константа равновесия для давлений, являющаяся в случае идеально-газовой реакции функцией только температуры.

Выразив $K_p(T)$ через параметры состояния насыщения

$$K_p(T) = P_H \cdot 4\alpha^2 / (1 - \alpha)^2 \quad (3)$$

и подставив (3) в (2), получим уравнение для определения степени диссоциации пара

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + (1/\alpha^2 - 1) \cdot m/m}} \quad (4)$$

По составу пара, определяем его молекулярную массу

$$M = \frac{2}{1 + \alpha} M_1 \quad (5)$$

и газовую постоянную

$$R = \frac{R_\mu}{M} = \frac{1 + \alpha}{2} R_1, \quad (6)$$

где M_1 и $R_1 = P_\mu / M_1$ - молярная масса и газовая постоянная одноатомного пара.

Уравнение состояния реального пара можно записать в виде

$$V = \frac{\mu R \cdot T}{P \cdot M} + \frac{\mu B}{M} \quad (7)$$

По смыслу μB соответствует второму вириальному коэффициенту, но, поскольку вириальный ряд обрван на втором слагаемом, величина μB призвана учитывать все факторы, определяющие неидеальность пара. Считая поправку μB функцией только температуры, определим ее аналогично константе равновесия $K_p(T)$ по параметрам на линии насыщения

$$\frac{\mu B}{M} = v_H \cdot \left(1 - \frac{1 + \alpha_H}{2 \cdot Z_H} \right) \quad (8)$$

Произведя несложные преобразования, из (5) - (8) получим выражение для определения сжимаемости пара

$$Z = \frac{1 + \alpha}{2} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{2 \cdot Z_H}{1 + \alpha_H} \right) \cdot \frac{P}{P_H} \right) \quad (9)$$

и уравнение состояния реального пара в окончательном виде

$$P = R_1 \cdot T \cdot \rho \cdot \frac{1 + \alpha}{2} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{2 \cdot Z_H}{1 + \alpha_H} \right) \cdot \frac{P}{P_H} \right). \quad (10)$$

Уравнения (4) и (10), дополненные однопараметрическими зависимостями для расчета на линии насыщения давления P_H , степени диссоциации α_H и сжимаемости Z_H , образуют замкнутую систему уравнений, описывающую свойства пара щелочных металлов. Степень диссоциации и сжимаемость пара натрия и калия, рассчитанные по предложенной методике, представлены на Рисунке 1.

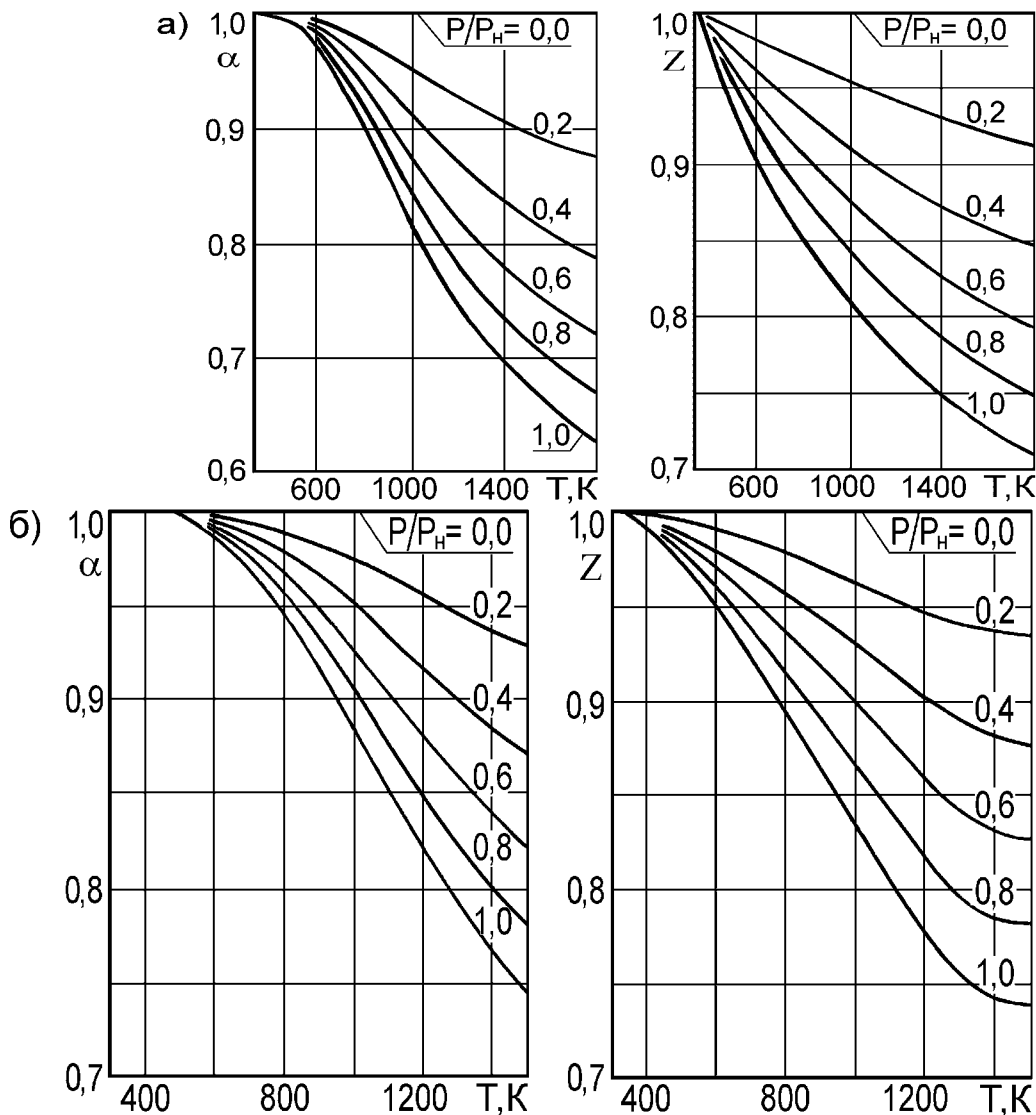


Рис. 1. Степень диссоциации и сжимаемость паров натрия (а) и калия (б)

Необходимо отметить, что, поскольку в исходные зависимости входят параметры на линии насыщения, погрешности точек вблизи нее в основном определяются точностью заложенных аппроксимаций $P_H(T)$ и $Z_H(T)$. Так, в расчеты, проведенные с целью оценки разработанного алгоритма, были заложены кривые, описывающие данные [Шпильрайн 1970] со следующими погрешностями: давление $P_H \sim 2\%$, сжимаемость $Z_H \sim 1,1\%$, степень диссоциации $\alpha_H \sim 0,5\%$. При этом расхождение расчетной величины удельного объема с табличными данными не превосходило 2% во всем диапазоне изменения температуры и давления. Как видно из рисунка 1, сжимаемость насыщенного пара натрия и калия заметно отличается от 1 и в диапазоне температуры $600 \dots 1000$ К составляет $0,95 \dots 0,81$. По сути, это означает что, при расчетах по уравнению состояния идеального газа ошибка определения основных параметров может составлять $10 \dots 19\%$ для натрия и $5 \dots 16\%$ для калия.

При решении большого числа задач уравнение состояния пара вводится в расчеты в дифференциальной форме. В этом случае сложно организовать применение табличных данных или точных термодинамических методов, и обычно для щелочных металлов используется уравнение, справедливое для идеального газа:

$$\frac{dP}{P} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dT}{T}. \quad (11)$$

Уравнение (10) может быть преобразовано в дифференциальную форму путем непосредственного дифференцирования

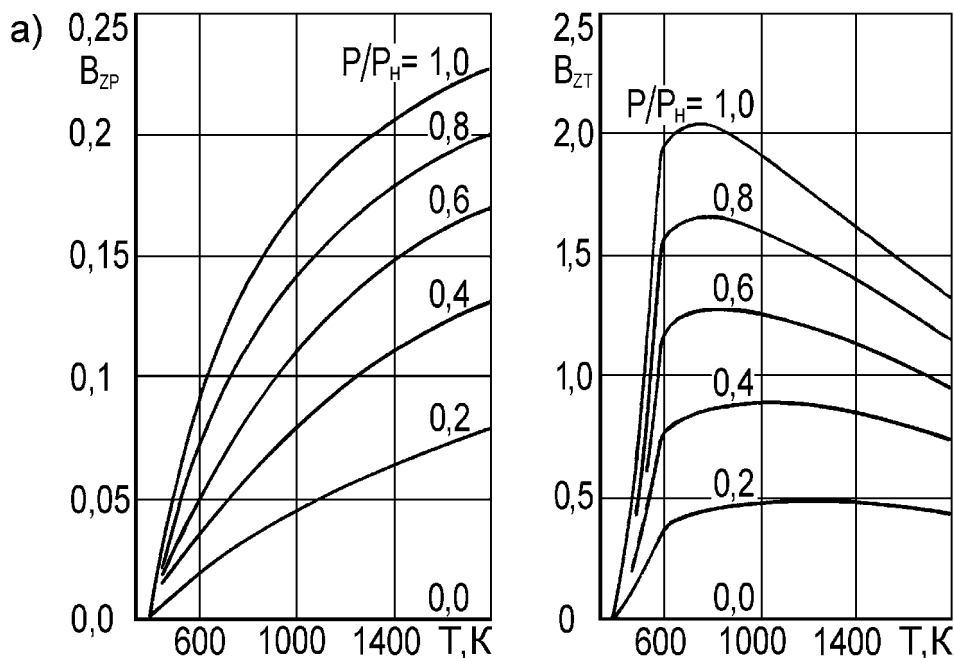
$$(1 + B_{ZP}) \cdot \frac{dP}{P} = \frac{d\rho}{\rho} + (1 + B_{ZT}) \cdot \frac{dT}{T}, \quad (12)$$

где B_{ZP} , B_{ZT} - безразмерные коэффициенты, определяемые как

$$B_{ZP} = -\frac{P}{Z} \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial P} \right)_T = \frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2} + \left(1 - \frac{2 \cdot Z_H}{1 + \alpha_H} \right) \cdot \left(1 - \frac{(1 - \alpha)}{2} \right) \cdot \frac{P}{P_H}, \quad (13)$$

$$B_{ZT} = \frac{T}{Z} \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_P = T \cdot \left\{ \frac{P}{P_H} \cdot \left[\left(1 - \frac{2 \cdot Z_H}{1 + \alpha_H} \right) \cdot \frac{1}{P_H} \cdot \frac{\partial P_H}{\partial P} + \frac{2}{1 + \alpha_H} \cdot \left(\frac{\partial Z_H}{\partial T} - \frac{Z_H}{1 + \alpha_H} \cdot \frac{\partial \alpha_H}{\partial T} \right) \right] + \right. \\ \left. + \left(1 - \left(1 - \frac{2 \cdot Z_H}{1 + \alpha_H} \right) \cdot \frac{P}{P_H} \right) \cdot \left[\frac{\alpha \cdot (1 - \alpha)}{2 \cdot P_H} \cdot \frac{\partial P_H}{\partial T} + \frac{\alpha^3}{\alpha_H^3} \cdot \frac{1}{1 + \alpha} \cdot \frac{P}{P_H} \cdot \frac{\partial \alpha_H}{\partial T} \right] \right\}. \quad (14)$$

Расчеты, проведенные для натрия и калия, показали, что эти коэффициенты растут с увеличением давления и могут достигать значительной величины, Рисунок 2.



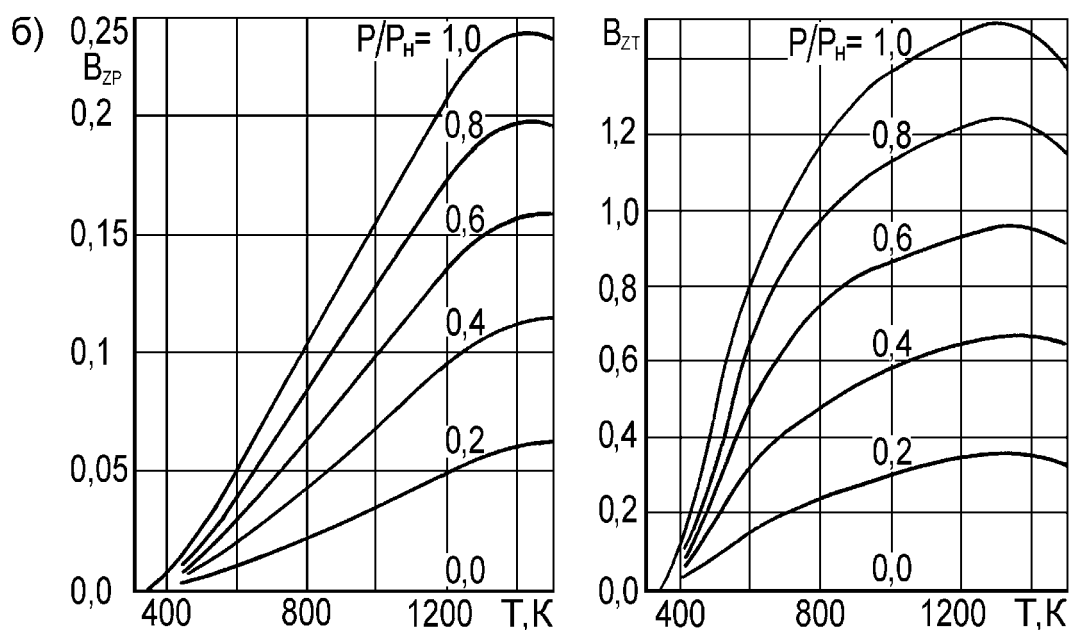


Рис. 2. Коэффициенты уравнения состояния паров натрия (а) и калия (б)

На линии насыщения при температуре 600...1000К для натрия B_{zP} и B_{zT} составляют 0,1...0,173 и 2,03...1,9, а для калия соответственно 0,05...0,16 и 0,8...1,36.

Предложенный метод расчета параметров состояния пара щелочных металлов целесообразно использовать при выполнении исследований на ЭВМ. При малом объеме исходной информации и простоте расчетов зависимость от температуры позволяет учесть влияние реакции рекомбинации - диссоциации и отклонение параметров пара от идеального газового состояния как в интегральном, так и в дифференциальном уравнениях состояния.

Список использованной литературы

1. Жидкометаллические теплоносители / Боришанский В. М., Кутателадзе С. С., Новиков И. И., Федьинский О. С. - М.: Атомиздат, 1976. - 328 с.
2. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. - М.: Энергия, 1978. - 416 с.
3. Попырин Л. С. Определение физических свойств теплоносителей и рабочих тел в теплоэнергетических установках // Методы расчета теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей при комплексной оптимизации теплоэнергетических установок. - Иркутск: Сибирский энергетич. ин-т, 1978. - С. 6-17.
4. Рева Т. Д., Семенов А. М. Расчет термодинамических свойств паров натрия и калия на основе полуэмпирического уравнения состояния. Уравнение состояния // Теплофизика высоких температур. - 1984. - Т. 33. - № 3. - С. 463-472.
5. Теплофизические свойства щелочных металлов / Шпильрайн Э. Э., Якимович К. А., Тоцкий Е. Е. и др. / Под ред. акад. В. А. Кириллина. - М.: Издат. стандартов, 1970. - 488 с.
6. Фокин Л. Р., Теряев В. В., Трелин Ю. С., Мозговой А. Г. Термодинамические свойства паров натрия и калия // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. - М.: АН СССР, Ин-т высоких температур, 1983. - № 4(42). - С. 44-113.

ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КЛАПАНОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Столяров С. П., Пац Д. В.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Клапанный механизм относится к основным механизмам ДВС, входящим в его состав в соответствии с принципом действия четырехтактного двигателя. Примерно за 130 лет своего развития впускные и выпускные клапаны изменились существенно, но при этом сохранили общую компоновку и основные конструктивные черты. Здесь следует отметить общие для всех известных клапанов принцип открытия внутрь цилиндра, принципиальное разделение на тарелку, стержень и головку, наличие узкой кольцевой конической посадочной поверхности. Остаются неизменными и главные требования к клапанам: уплотнение цилиндра, прочность тарелки под воздействием механической и тепловой нагрузок, способность отводить тепло, возможно меньший вес, стойкость к износу посадочной фаски, стержня и нажимной площадки.

Путь развития конструкции клапанов целесообразно разделить на четыре характерных временных периода. Первый из них является наиболее емким по числу внедренных конструктивных разработок. Начавшись от момента создания первых ДВС с внешним смесеобразованием, этот период продолжался примерно до окончания Первой мировой войны.