

УДК 62-61, 621.43.013.42

С.С. КОВАЛЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина

УПРАВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕМ ВЫТЕСНЕНИЯ АММИАКА В ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ ЖРДМТ

Рассмотрена возможность регулирования давления насыщенных паров водоаммиачных растворов в вытеснительных системах подачи при использовании эффектов экзотермической реакции растворения воды в аммиаке. Проведен анализ термодинамических процессов в растворах при подпитке одним из компонентов в энергоизолированных системах.

вытеснительная система, раствор, концентрация, давление насыщенных паров

Введение

Вытеснительные системы подачи имеют ряд преимуществ, таких, например, как простота и надежность конструкции, которые определяют их эффективное применение в энергетических устройствах различного назначения. Наиболее рационально использовать вытеснительные и сомовытеснительные системы в автономных устройствах, а именно в ЖРДМТ и ГРДУ космических летательных аппаратов. Аммиак и компоненты на основе аммиака, обладающие повышенным давлением насыщенных паров при нормальных условиях, могут использоваться в качестве горючего в ЖРДМТ или рабочего тела в ГРДУ [1].

1. Формулирование проблемы

В процессе опорожнения бака с аммиаком, как показали экспериментальные исследования, происходит монотонное падение давления вытеснения (рис. 1, кривая б).

Увеличение объема газовой подушки сопровождается интенсивным испарением аммиака и, как следствие, понижением температуры его насыщенных паров. Но при эксплуатации в реальных условиях, как правило, требуется либо поддержание постоянного давления подачи в топливной системе, либо его изменение в заданном диапазоне. Давление насыщенных паров аммиака существенно зависит от его температуры. Однако в автономных устройст-

вах, где применение дополнительных систем подогрева не оправдано, повысить температуру рабочего тела в баке, а, значит, и давление вытеснения, возможно при использовании в аммиачных системах дополнительных жидкостей, растворяющихся в аммиаке с выделением тепла (вода, гидразин и др.).

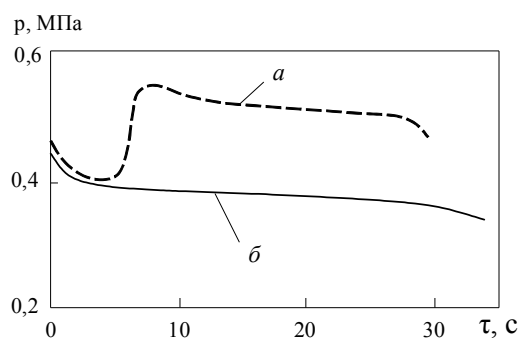


Рис. 1. Изменение давления насыщенных паров аммиака и водоаммиачного раствора в процессе самовытеснения

2. Решение проблемы

Значительное количество тепла выделяется в результате экзотермической реакции при смешении (растворении) аммиака с водой [2] или другими компонентами, при этом температура образующегося раствора и давление его насыщенных паров значительно повышаются (рис. 1, кривая а). Использование этих эффектов в энергоизолированных топливных системах позволяет регулировать давление в газовой подушке по заданному алгоритму и, что не менее важно, автоматизировать процесс поддержания давления вытеснения.

Чтобы оценить эффективность самовытеснительных систем питания на основе аммиачных растворов, определить диапазон регулирования давления вытеснения, необходимо произвести теоретический анализ термодинамических процессов в них.

2.1. Термодинамические параметры системы вода – аммиак

Тепловой эффект или теплота q растворения аммиака в воде определяется в зависимости от состояния компонентов до смешения. Если принять, что давление и температура компонентов до растворения соответственно равны давлению и температуре раствора после их смешения, то теплота растворения определится как разность энтальпий i раствора и компонентов i_1 и i_2 перед смешением [2]:

$$q = i - (C i_1 + (1 - C) i_2), \quad (1)$$

где q – интегральная теплота растворения;

i_1 , i_2 , i – энтальпии первого, второго компонента и образовавшегося раствора соответственно;

C – концентрация раствора;

$$C = \frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3} + M_{\text{H}_2\text{O}}};$$

где M_{NH_3} , $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса аммиака и воды.

Теплота растворения является функцией температуры и концентрации (рис. 2) [2].

Видно, что при добавлении воды в аммиак, т.е. уменьшении его концентрации от 1 до $\approx 0,8$, энтальпия раствора снижается, при этом выделяется значительное количество тепла и повышается давление насыщенных паров раствора. При уменьшении концентрации аммиака с 0,8 до $\approx 0,55$ происходит уменьшение темпа тепловыделения, которое может иметь практическое применение в вытеснительных системах подачи. При концентрации от 0,55 до 0,4 наблюдается незначительное изменение энтальпии при этом возможно снижение давления в рабочем растворе при повышении его температуры. Следует отметить также несимметричность диаграммы, что

определяет принципиальную разницу при расчете систем вытеснения с добавлением аммиака или воды.

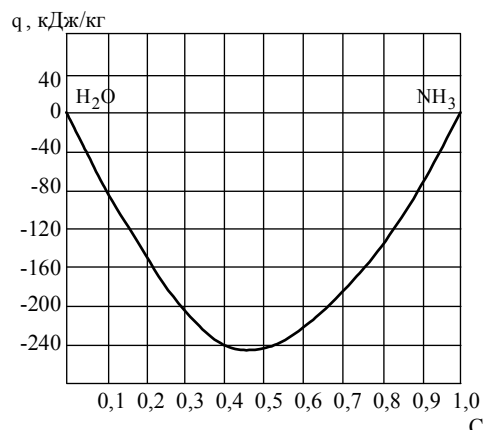


Рис. 2. Теплота растворения аммиака в воде при температуре $T = 323 \text{ K}$

2.2. Определение термодинамических параметров при смешении двух растворов

Учитывая, что в результате смешения аммиака и воды выделяется теплота, то из уравнения (1) можно получить энтальпию водоаммиачных растворов:

$$i = C i_1 + (1 - C) i_2 - q. \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет построить семейство изотерм и изобар, характеризующих изменение всех термодинамических параметров водоаммиачных растворов в зависимости от концентрации C . Такие данные общеизвестны [4] и представлены на рис. 3.

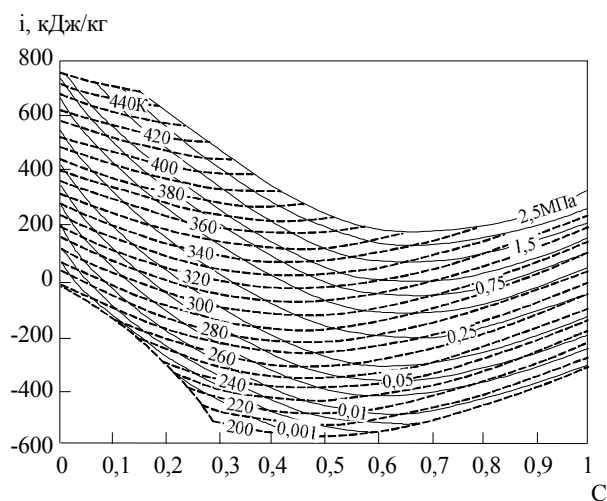


Рис. 3. Зависимость энтальпии водоаммиачного раствора от концентрации (p , T – var)

При определении термодинамических параметров системы при смешении двух водоаммиачных растворов предполагаем, что система энергоизолирована, следовательно, теплообмен между компонентами и баком, баком и окружающей средой отсутствует. Энергетический баланс смешения водоаммиачных растворов при условии, что система находится в адиабатических условиях и не совершает внешней работы, можно выразить равенством [3]:

$$i = i_1 + \frac{C - C_1}{C_2 - C_1} (i_2 - i_1), \quad (3)$$

где i_1, i_2, i – энтальпии первого, второго и образовавшегося растворов;

C_1, C_2, C – концентрации аммиака в первом, втором и образовавшемся растворах соответственно.

В случае подпитки водоаммиачного раствора с концентрацией C_2 чистой водой уравнение (3) принимает вид:

$$i = i_{H_2O} + \frac{C}{C_2} (i_2 - i_{H_2O}), \quad (4)$$

так как $C_1 \equiv 0$, а $i_1 \equiv i_{H_2O}$,

где i_{H_2O} – энтальпия воды.

В случае подпитки раствора с концентрацией C_2 чистым аммиаком уравнение (3) трансформируется следующим образом:

$$i = i_{NH_3} + \frac{C-1}{C_2-1} (i_2 - i_{NH_3}), \quad (5)$$

так как $C_1 \equiv 1$, а $i_1 \equiv i_{NH_3}$,

где i_{NH_3} – энтальпия аммиака.

Энтальпия образующегося при смешении раствора может быть найдена по линейным зависимостям в координатах $i - C$.

Рассмотрим влияние подмешивания чистого аммиака в растворы с различной концентрацией при условии равенства температур компонентов до смешения. При этом используем диаграммы, представленные на рис. 3. На результирующее давление

насыщенных паров существенно влияет концентрация C_2 исходного раствора, если $0 < C_2 < 0,5$.

При концентрации исходного раствора $C_2 > 0,5$ дальнейшее добавление аммиака не оказывает значительного влияния, т.к. уменьшается масса воды, не реализуется возможность экзотермической реакции с раствором. Влияние конечной концентрации C рабочего раствора на давление насыщенных паров при подпитке аммиаком растворов различной концентрации существенно и определяется количеством выделенного в результате тепла. Значение максимально достижимого давления p_{max} при подпитке аммиаком исходного раствора с концентрацией C_2 приведено на рис. 4.

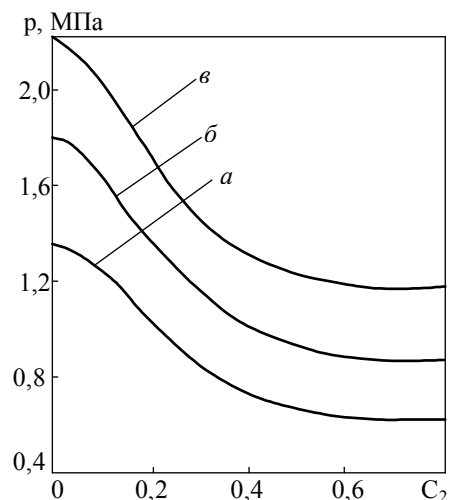


Рис. 4. Изменение максимально достижимого давления при подпитке аммиаком исходного водоаммиачного раствора

С ростом исходной температуры компонентов до смешения до $T_{исх} = 303$ К значения p_{max} растут (рис. 5, кривые б и в). Можно сделать вывод о примерно эквидистантной локализации кривых а, б и в построенных для температур $T_1 = 283$ К, $T_2 = 293$ К и $T_3 = 303$ К соответственно.

В случае подпитки рабочего раствора водой значительное повышение давления возможно лишь при подпитке растворов с высокой концентрацией. С уменьшением концентрации раствора значение мак-

симального давления падает более значительно, чем в случае подпитки аммиаком, вследствие уменьшения концентрации раствора после смешения и уменьшении количества выделяющегося в процессе растворения тепла. При добавлении воды в растворы с малой концентрацией возможно понижение давления насыщенных паров раствора при некотором росте температуры за счет значительного снижения концентрации рабочего раствора.

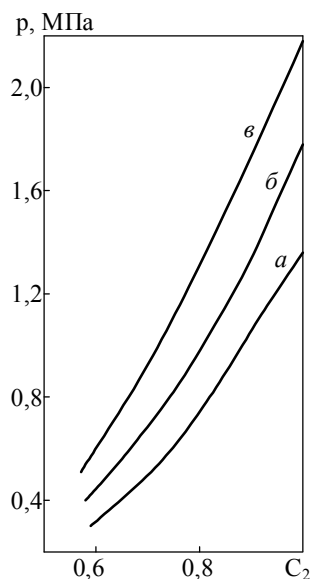


Рис. 5. Изменение максимально достижимого давления при подпитке водой исходного водоаммиачного раствора

Кривые *а*, *б* и *в* на рис. 5 определяют значение и изменение максимально достижимого давления p_{\max} в полученном растворе после смешения при подпитке водой. Значение p_{\max} увеличивается с ростом температуры компонентов до смешения. Кривые *а*, *б*, *в* являются верхней границей области максимально достижимых давлений при температурах компонентов до смешения $T_1 = 283 \text{ К}$, $T_2 = 293 \text{ К}$ и $T_3 = 303 \text{ К}$ соответственно.

Заключение

1. Показана возможность получения приемлемых для практического использования в ЖРДМТ и ГРДУ давлений подачи рабочих компонентов при

использовании водоаммиачных и других растворов на основе аммиака.

2. Использование экзотермических реакций протекающих в водоаммиачных растворах при их подпитке одним из компонентов является эффективным способом повышения давления насыщенных паров. При этом повышение давления возможно двумя способами, выбор которых определяется концентрацией раствора и массой компонента подпитки. При концентрации исходного раствора приблизительно от 0,5 до 0,75 добавление аммиака или воды не позволяет увеличить давление в рабочем растворе выше давления насыщенных паров аммиака при температуре компонентов до смешения. В реальных условиях после достижения своего максимального значения давление в растворе после смешения несколько падает. Его падение определяется в основном теплообменом между баком и раствором.

3. Предложенный способ регулирования давления насыщенных паров позволяет создать вытеснительную систему со ступенчатым смешением двухкомпонентного горючего, обеспечивающую заданный закон давления подачи топлива в ЖРДМТ.

Литература

1. Клочкова Л.Л. Рабочие тела энергосиловых установок летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984. – 152 с.
2. Холодильная техника. Энциклопедический справочник. Т. 1. – Л.: Госторгиздат, 1960. – 544 с.
3. Кирилин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.
4. Растворение жидкого аммиака в воде / Ю.А. Иванов, И.И. Стрижевский, Е.Б. Мошкович, М.И. Ручкина // Химическая промышленность. – 1991 – № 1. – С. 37 – 38.

Поступила в редакцию 28.05.2004

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, ИПМаш НАН Украины, Харьков.