

С.В. Харченко (*Одесская государственная академия холода, Одесса*)
Ю.А. Желиба (*Одесская государственная академия холода, Одесса*)
А.Г. Гришкорин (*Одесская национальная морская академия, Одесса*)
В.П. Онищенко (*Одесская национальная морская академия, Одесса*)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ

Ряд актуальных инженерных задач требует знания динамики протекания процесса испарения жидкостей в газовые среды различного состава, как непосредственно капель, так и с поверхности смоченных жидкостями капиллярно-пористых тел. Разработанные математические модели, использующие понятие коэффициента массоотдачи, чаще не могут быть использованы из-за отсутствия соответствующих численных характеристик, тем более при испарении в произвольные газовые среды. С другой стороны, протекание многих из таких процессов обуславливается в большей мере наличием или подводом необходимого для фазового перехода жидкость – пар или твердое тело-пар количества теплоты, в меньшей мере диффузионными причинами. В этом плане при моделировании таких процессов испарения можно высказать гипотезу об изоэнтальпийном характере протекания процесса, в том смысле, что испаряющее тело отдает в газовую среду некоторую массу газа, а газовая среда отдает телу соответствующее количество теплоты. Важно выразить эти количества через соответствующие изменения энтальпий, учесть, что газовая среда в таких процессах выступает как газовая смесь переменного состава, выразить характеристики процесса на языке термодинамических величин.

Апробация такого подхода к моделированию процессов испарения проведена, прежде всего, на данных о формировании разности температур сухого и мокрого термометров – ГОСТ 8.524-85 (испарение воды во

влажный воздух с поверхности смоченного капиллярно-пористого тела), в том числе и при барометрических давлениях ниже атмосферного. Процесс испарения рассматривается как изобарно-изоэнтальпийный, расчетные соотношения сформулированы на языке независимых переменных P – давления, d – влагосодержания, φ – относительной влажности влажного воздуха. Рассмотрены также закономерности изотермического растворения воды в воздухе при различных давлениях выше атмосферного. Интенсивное испарение, например четыреххлористый углерод (CCl_4) во влажный воздух, сопровождается конденсацией водяного пара из воздуха, создавая противоположный калорический эффект. Поэтому, в этой работе уделено внимание экспериментальному и теоретическому исследованию процессов испарения в чистый азот, как более «чистому» процессу.

Исследования процесса формирования разности температур сухого и мокрого термометров (термопар), смоченных жидкостями, отличными от воды (тетрахлор-углерод CCl_4 , твердый нафталин $C_{10}H_8$), проведено на вакуумном экспериментальном стенде при различных давлениях ниже атмосферного. Для дальнейшей апробации изоэнтальпийной гипотезы построены термическое и калорическое уравнения состояния CCl_4 и $C_{10}H_8$ в форме с вириальными коэффициентами (с учетом второго и третьего, для потенциала Леннарда – Джонса 12-6), а также соответствующие уравнения состояния для газовых смесей этих веществ с чистым азотом и влажным воздухом. Испарение CCl_4 вызывает большую разность температур ($\sim 20...25^\circ C$) уже при атмосферном давлении, в то время как испарение нафталина существенно менее интенсивное, с низким тепловым эффектом ($\sim 0,2...0,3^\circ C$). Согласование расчетных и экспериментальных данных удовлетворительное.

Рассмотрены и процессы испарения водяных капель разного диаметра в воздух, при этом капли рассматриваются как ординарная вода в поле сил поверхностного натяжения. Сопоставление расчетных данных с экспериментальными данными других исследователей, с расчетами в рамках молекулярно-кинетических теорий испарения, демонстрирует также удовлетворительное согласование.

Разработанная теория предлагается для применения в ряде практических приложений, таких как формирование во времени массовых потерь пищевого сырья при его охлаждении и замораживании, формирование влажностной компоненты модифицированной газовой среды (МГС) и конденсата при хранении плодов, ягод, овощей в МГС, формирование влажностной компоненты МГС при хранении зерна в больших пластиковых мешках (silobag) или насыпи зерна в трюмах морских судов, проектирование процессов увлажнения газовой среды системы наддува дизелей и др.