

В. С. Морозов, Д. В. Морозов, Е. В. Морозов*

ЗАО «Научно-техническое агентство «Наука», ул. Сельскохозяйственная, 12, г. Москва, 129226, Россия;

*e-mail: dmitriy@nauca.ru

О РАСТВОРИМОСТИ АЗОТА В ЖИДКОМ ВОДОРОДЕ И ЕГО ОЧИСТКЕ АДсорбЦИЕЙ

При рассмотрении жидкого водорода в качестве товарного криопродукта необходимо учитывать возможную его загрязнённость микропримесями, в частности азотом. Литературные данные по этому вопросу весьма противоречивы. В настоящей работе независимым оригинальным методом получены термодинамически согласованные экспериментальные данные о растворимости твёрдого азота в жидком водороде. В интервале температур от 20,3 до 28,0 К растворимость изменяется от 0,45 до 23,4 vppm. Одновременно исследованы адсорбционные равновесия в системе азот – жидкий водород – силикагель АСМК-ВС, результаты которых позволяют рекомендовать для очистки жидкого водорода от примеси азота метод адсорбции. Обращается внимание на необходимость установления норм содержания азота в жидком водороде, которые обеспечат надёжную эксплуатацию оборудования.

Ключевые слова: водород жидкий; азот твёрдый; растворимость; адсорбция; очистка.

V. S. Morozov, D. V. Morozov, E. V. Morozov

ABOUT DISSOLUBILITY OF NITROGEN IN LIQUID HYDROGEN AND ITS PURIFICATION BY ADSORPTION

Talking about liquid hydrogen as a marketable cryoproduct it's necessary to consider its potential contamination with micro admixtures, in particular with nitrogen. All known information concerning this matter is very contradictory. In article we obtained by independent original method the experimental data thermodynamically corresponded about dissolubility of solid nitrogen in liquid hydrogen. Within the limits of temperature from 20,3 up to 28,0 K dissolubility varies from 0,45 to 23,4 vppm. At the same time adsorption balances were explored in the system nitrogen – liquid hydrogen – silicagel АСМК-ВС, and describes the method for purification of liquid hydrogen from nitrogen admixture. Is paid attention to necessity of an establishment the norms of the contents of nitrogen in liquid hydrogen, which will ensure reliable operation of the equipment.

Key words: liquid hydrogen; hard nitrogen; dissolubility; adsorption; purification.

1. ВВЕДЕНИЕ

В области жидкого состояния водорода все вещества, кроме гелия и неона (температура тройной точки неона 24,5 К), являются твёрдыми. Их склонность к растворимости в жидком водороде весьма различна. Растворимость таких веществ, как H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , NO , N_2O , углеводороды тяжелее CH_4 и др., по нашим приближённым оценкам, является ничтожно малой (менее 10^{-5} ... 10^{-10} vppm). Поэтому смеси таких веществ с жидким водородом можно рассматривать только как суспензии. Принципиально иную картину можно наблюдать относительно примеси азота в жидком водороде, если принять во внимание самую последнюю по времени опубликованную информацию, представленную в графическом виде в работе [1] о его растворимости в жидком водороде. Однако информация [1] отличается от известных и вошедших в справочные издания экспериментальных данных и оценок (см., например, [2 – 4]).

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы поделиться с действительными значениями растворимости твёрдого азота в жидком водороде и, при необходимости, предложить соответствующий метод его очистки.

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ЕЁ АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Экспериментальное исследование фазовых равновесий в системах твёрдое вещество-жидкость при криогенных температурах связано с преодолением определённых трудностей. Одна из них связана с получением насыщенных растворов. При этом используют статический, циркуляционный или динамический методы, обладающие своими достоинствами и недостатками. В своё время на основании анализа этих методов применительно к криогенным системам нами было отдано предпочтение динамическому методу (методу потока).

Однако из корректно полученного насыщенного раствора необходимо отобрать пробу и проанализировать её. Здесь возникает трудность, обусловленная наличием фазовых превращений на пути движения полученного насыщенного раствора к анализатору. Данное обстоятельство может приводить к искажению состава пробы вследствие значительно меньшей, при одинаковых условиях, растворимости данного твёрдого вещества в паре, чем в жидкости. Проявление этой причины исключается, если давление в исследуемой системе выше критического давления растворителя. Поскольку критическое