

*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 ТВЁРДОГО КИСЛОРОДА В ЖИДКОМ ВОДОРОДЕ

*Измеренные значения растворимости твёрдого кислорода в жидком водороде в интервале температур от 22,3 до 27,0 К изменяются, соответственно, от 2,51 до 75,9 vppb, т. е. исчисляются значениями миллиардных долей. Полученные данные могут явиться основой для нормирования и контроля содержания кислорода в жидком водороде как криопродукте, а также основой для расчётно-экспериментальных оценок опасных накоплений твёрдого кислорода в аппаратуре жидководородных систем.*

**Ключевые слова:** водород жидкий; кислород твёрдый; растворимость.

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

## ABOUT DISSOLUBILITY OF SOLID OXYGEN IN LIQUID HYDROGEN

*Measured values of solid oxygen dissolubility in liquid hydrogen within the temperature limits from 22,3 to 27,0 K change from 2,51 to 75,9 vppb accordingly that is are estimated at billion shares. Received data can be a base for standardization and control of oxygen content in liquid hydrogen as cryoproduct and also a ground work for settlement-experimental estimations of dangerous accumulations of solid oxygen in apparatus of liquid hydrogen systems.*

**Key words:** liquid hydrogen; solid oxygen; solubility.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] была апробирована техника приготовления насыщенных растворов кристаллизующихся в жидком водороде примесей и техника анализа таких растворов. Интересно было применить данную технику для измерений растворимости твёрдого кислорода в жидком водороде, во-первых, исходя из практической ценности таких данных, во-вторых, ввиду описанных в обзоре [2] неудачных попыток подобных измерений, в-третьих, в связи с опубликованной в [3] информацией по рассматриваемому вопросу.

### 2. ИЗМЕРЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ТВЁРДОГО КИСЛОРОДА В ЖИДКОМ ВОДОРОДЕ

Измерения растворимости твёрдого кислорода в жидком водороде выполняли с применением той же аппаратуры и методики приготовления насыщенных растворов и их анализа, что и в работе [1]. Однако были и отличия.

Прежде всего, проанализировали исходный жидкий водород в криогенном сосуде. По результатам анализов объёмная доля кислорода составила 0,85 vppb, а азота 0,15 vppm. В жидком водороде как криопродукте азот в виде примеси присутствует, по-видимому, всегда. Преследуя прежде всего практические цели, наличие в исследуемом водороде указанного содержания азота по считали допустимым. По данным [4] при планируем

ых параметрах опытов азот в таком количестве должен был оставаться в растворённом виде.

Из соображений взрывобезопасности эксперимента, в такой водород вводили всего приблизительно 125 мг кислорода из его 1%-ной смеси с гелием. При этом расчётное содержание кислорода соответствовало его объёмной доле приблизительно 4 vppm в 25 литрах жидкого водорода.

Далее осуществляли такие же, как и в работе [1], операции по перемешиванию и нагреванию жидкого водорода барботированием чистого водорода, регулированию и измерению температуры опыта по давлению паров при кипении водорода. При исследованиях использовали капиллярный пробоотборник и хроматограф «Луч-6.7». Анализ вели с двумя ступенями обогащения, так что длительность аналитического цикла составляла от 10 до 15 мин. Одного заполнения криогенного сосуда жидким водородом было достаточно для выполнения приблизительно 20 анализов. После этого остатки жидкого водорода сливали, криогенный сосуд отепляли и снова повторяли все операции.

Анализы показали, что содержание азота всегда оставалось ниже уровня его растворимости в жидком водороде при параметрах опытов. Однако с течением времени его концентрация постепенно увеличивалась, вероятно, вследствие обогащения из-за испарения части водорода в криогенном сосуде.

В таблице представлены результаты измерений растворимости твёрдого кислорода в жидком водороде,