

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В БАЛЛОНЕ С КРИОГЕННОЙ ЗАПРАВКОЙ В СОСТАВЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Шиманова А.Б., Угланов Д.А., Довгялло А.И., Шиманов А.А.  
Самарский университет, г. Самара, a\_tsarkova@mail.ru

*Ключевые слова:* баллон с криогенной заправкой, азот, криогенные рабочие тела, газификация.

Обычно рабочие тела технологического и специального назначения хранятся и транспортируются либо в газообразном сжатом виде в баллонах высокого давления, либо в состоянии жидкости при криогенных температурах, после чего использование рабочего тела осуществляется после регазификации в газообразном виде.

Примером совмещения существующих и перспективных технологий является баллон с криогенной заправкой (БКЗ) [1]. Использование такого баллона возможно в различных областях промышленности и техники. Результаты расчетных исследований тепловых процессов в БКЗ были рассмотрены в работах [2, 3, 4].

Для получения экспериментальных данных была использована специально созданная установка, особенность, которая разрабатывалась как универсальная криогенная система для энергетической установки, предназначенной для заправки, регазификации криогенной жидкости с термокомпримированием и, в конечном счете, получения энергии за счет расширения газа в роторно-лопастном двигатель-генераторе.

Регазификация рабочего тела может осуществляться двумя способами: за счет теплопритоков из окружающей среды и за счет внутреннего электронагревателя или внешнего контура газификации. Использование дополнительного подвода тепла позволяет уменьшить время регазификации на 30-50% (при данном нагревателе). При этом вид зависимостей термодинамических параметров в БКЗ при подводе тепла за счет внутреннего электронагревателя (рис. 1 б) подобен случаю, когда рассматриваются только теплопритоки из окружающей среды (рис. 1 а).

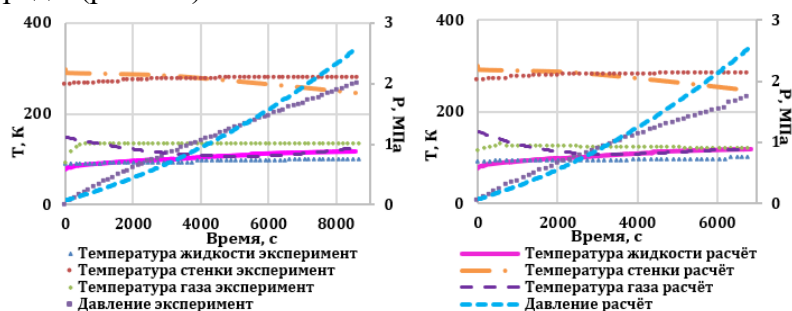


Рисунок 1 – Экспериментальные и расчётные термодинамические параметры в БКЗ  
а – регазификация за счёт теплопритоков от окружающей среды; б – регазификация за счёт теплопритоков от окружающей среды и от внутреннего электронагревателя

На основании установленных закономерностей было показано, что температурные зависимости для жидкости и газа приходят к равновесному состоянию, которое характеризуется равенством температуры по всему объёму баллона, а давление монотонно возрастает, при этом к моменту полной регазификации рабочего тела оно может быть как ниже, так и выше критического. Анализ полученных данных позволяет заключить, что временные изменения параметров в баллоне по характеру изменения и уровню величин соответствуют теоретическим данным. Наибольшее расхождение наблюдается по давлению и температуре в газовой полости БКЗ (10...20%), в остальном расхождение не превышает 10%. Такие несоответствия можно объяснить с одной стороны сложностью процессов в неклассической двухфазной системе, и с другой стороны конструкцией экспериментального

баллона, в котором внешний корпус играет роль оребрения с переменным по поверхности и по времени коэффициентом теплоотдачи, что учесть в расчёте с высокой степенью достоверности весьма сложно.

Для оценки энергетического потенциала регазифицированного рабочего тела были проведены испытания БКЗ на расходном режиме при различных давлениях на входе в роторно-лопастной двигатель-генератор. Результаты исследований показывают, что такая система позволяет получить при расходе рабочего тела 50-80 г/с и давлении 0,8-1,2 МПа мощность двигателя 450-650 Вт (при удельной работе 140-160 кДж/кг). Таким образом, полученные экспериментальные результаты подтвердили ход физических процессов в баллоне на расходном режиме.

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «ВИБРАЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 0777-2020-0019).

### **Список литературы**

1. Довгялло А.И., Угланов Д.А., Сармин Д.В., Цапкова А.Б. Использование баллона с криогенной заправкой в различных областях техники // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 30-34.
2. Довгялло А.И., Сармин Д.В., Угланов Д.А. Предварительные исследования тепловых процессов в баллоне с криогенной заправкой бортовой дроссельной системы // Вестник СГАУ. 2011. № 3 (27), Ч. 4. С. 78-84.
3. Довгялло А.И., Угланов Д.А., Шиманова А.Б., Шиманов А.А. Расчетные исследования процесса реконденсации в ёмкости с криогенной заправкой // Насосы. Турбины. Системы. 2021. № 2(39). С. 7-12.
4. Довгялло А.И., Угланов Д.А., Шиманова А.Б., Шиманов А.А. Оценка термоциклической прочности баллона с криогенной заправкой // Вестник Международной академии холода. 2022. № 1. С. 37-43.

### **Сведения об авторах**

Шиманова Александра Борисовна, к.т.н., младший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы бортовых энергетических установок, криогенная техника.

Угланов Дмитрий Александрович, д.т.н., доцент, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей. Область научных интересов: рабочие процессы бортовых энергетических установок, криогенная техника.

Довгялло Александр Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей. Область научных интересов: рабочие процессы бортовых энергетических установок, криогенная техника.

Шиманов Артем Андреевич, научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы бортовых энергетических установок, криогенная техника, термоакустика.

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF PROCESSES IN A CYLINDER WITH CRYOGENIC FILLING AS PART OF A LOW-TEMPERATURE POWER PLANT**

Shimanova A.B., Uglanov D.A., Dovgyallo A.I., Shimanov A.A.  
Samara National Research University, Samara, Russia, a\_tsapkova@mail.ru

*Keywords: cylinder with cryogenic filling, nitrogen, cryogenic working fluids, gasification.*

This paper presents the results of experimental studies of a cylinder with cryogenic filling. The analysis of the data obtained allows us to conclude that the temporal changes in the parameters in the cylinder correspond to the theoretical data in terms of the nature of the change and the level of values. The greatest discrepancy is observed in pressure and temperature in the gas cavity of the cylinder with cryogenic filling (10 ... 20%), otherwise the discrepancy does not exceed 10%.