

УДК 546/21 (038)

¹О.Я. Черемных, канд. техн. наук, ²Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук¹ОАО «Уралкриомаш», Восточное шоссе, 24, г. Нижний Тагил, Свердловская область, РФ, 622051²ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026e-mail: ¹cryont@cryont.ru; ²uasigma@mail.ruORCID: ¹http://orcid.org/0000-0001-6203-3922; ²http://orcid.org/0000-0002-8239-7587

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОРОДОМ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОПИТАНИЯ ОРБИТАЛЬНОГО КОРАБЛЯ

Системы энергопитания орбитальных кораблей целесообразно создавать на основе водородокислородных электрохимических генераторов, которые во время полёта производят электроэнергию и воду. Вся совокупность процессов, реализуемых в системе хранения, подготовки и выдачи водорода, может быть представлена в виде трёх основных этапов: предполётная заправка бортовых криобаков водородом с последующим переводом его в жидкое состояние при сверхкритическом давлении; отбор из криобаков однофазного водорода с выполнением процедур поддержания постоянного давления; эвакуация водорода из криобаков в наземные стационарные и транспортные системы хранения. Рассматриваются термодинамические особенности процессов, которые осуществляются в пределах каждого из указанных этапов. Показано, что перевод двухфазного водорода, заправленного в криобаки, в однофазное жидкое состояние со сверхкритическим давлением производится в изохорном процессе в результате подвода к нему тепла. Получены дифференциальные уравнения, описывающие термодинамические параметры водорода, находящегося в криобаке, из которого непрерывно отбирается часть продукта. Численное решение уравнений позволяет найти, каким должен быть повод тепла к криобаку для поддержания в нём постоянного давления водорода. Из анализа процессов эвакуации водорода из криобаков на стартовом или посадочном комплексах орбитального корабля установлено, что часть водорода в виде жидкости может быть выдана из криобаков в систему его наземного хранения.

Ключевые слова: Жидкий водород. Криососуд. Электрохимический генератор. Система энергопитания орбитального корабля. Сверхкритическое давление водорода. Изохорный процесс. Эвакуация водорода из криобаков.

1. ВВЕДЕНИЕ

Большой интерес проявляется к работам по использованию водорода в водородокислородных электрохимических генераторах (ЭХГ) систем энергопитания (СЭП). В таких системах нуждаются различные объекты специального назначения, в том числе орбитальные корабли (ОК) и аппараты [1, 2].

Важной составной частью СЭП является система хранения и подготовки реагентов [3-5]. Укажем на следующие две из них:

1. Система, в которой топливо (водород) и окислитель (кислород) находятся в реципиентах в виде сжатых газов, подаваемых с необходимыми расходами непосредственно в ЭХГ.

2. Система с жидкими водородом и кислородом, которые хранятся в криососудах и в нужный момент газифицируются перед их подачей в ЭХГ.

Эти две системы могут преимущественно использоваться в наземных условиях для проведения испытаний и совершенствования ЭХГ. Для космических

объектов они не годятся. Существенный недостаток первой из систем — большая масса баллонов, приходящаяся на 1 м³ газа. Вторая система с криогенным хранением водорода компактна и схемно достаточно проста, однако при космических полётах в условиях невесомости в ней крайне сложно хранить в криососуде жидкий водород и к тому же своевременно удалять из него образующиеся из-за теплопритоков пары [6, 7].

Для обеспечения гомогенности водорода при космических полётах разработан способ и необходимое оборудование для его хранения в однофазном состоянии при сверхкритическом давлении [5]. В этой и последующей публикации [8] показано, что вся совокупность процессов, которые реализуются с целью обеспечения водородом ЭХГ космических ракет и аппаратов, может быть представлена в виде следующих трёх этапов:

1. Предполётная заправка бортовых криобаков жидким водородом и последующий за этим его перевод в однофазное жидкое состояние при сверхкритическом давлении.