

УДК 536.24

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ГЕОМЕТРИИ
ТЕПЛООБМЕННИКА В МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА**

А.К. Саядян, Р.Р. Эльман

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Н. Кудияров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: aks17@tpu.ru**DETERMINATION OF THE OPTIMAL CONFIGURATION OF THE GEOMETRY
OF THE HEAT EXCHANGER IN A METAL HYDRIDE HYDROGEN STORAGE SYSTEM**

A.K. Sayadyan, R.R. Elman

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD. V.N. Kudiaryov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: aks17@tpu.ru

Abstract: This paper presents a simplified model of a balloon based on LaNi₅ with a heat exchanger. For the metal hydride cylinder under consideration, a heat exchanger in the form of a U-shaped tube with disks of different geometries was developed. Depending on the geometry and the number of disks, the average temperature of the metal hydride filling was calculated after 1000 seconds of the coolant flowing through the U-shaped tube. It is shown that three disks of complex configuration correspond to the optimal solution in terms of the average temperature of the metal hydride filling and in terms of the volume occupied in the metal hydride cylinder.

Введение. Одним из наиболее перспективных источников энергии является водород, ввиду его высокой энергоёмкости. Существует множество исследований и разработок систем (материалов) для хранения водорода. Перспективным направлением является металлгидридная технология хранения водорода [1]. Она, в отличие от тех же баллонов высокого давления, позволяет хранить большие количества водорода безопасно, так как водород в данном случае будет находиться в связанном твердофазном состоянии [2]. Однако у данного способа также есть недостатки, например, низкая теплопроводность металлгидридных порошков, а также кризисные явления тепломассопереноса, в результате чего эффективность процессов сорбции-десорбции водорода существенно снижается.

Одним из решений данной проблемы является подбор оптимальной конфигурации геометрии теплообменника. Для этого часто применяются методы численного моделирования, которые являются удобным инструментом для характеристики свойств проектов металлгидридных баллонов [3]. Таким образом целью данного исследования является подбор оптимальной конфигурации теплообменника металлгидридного реактора с использованием компьютерного моделирования. Результаты, полученные методами численного моделирования, были верифицированы экспериментально.

Экспериментальная часть. Упрощенная модель металлгидридного баллона создавалась в универсальном CAD-редакторе Ansys DesignModeler. Длина упрощенного металлгидридного баллона составляла 122 мм, ширина составила 38 мм с толщиной стенки 3 мм. Вода рассматривалась как

теплоноситель, протекающий через медную U-образную трубу. Внешний диаметр медной трубки составлял 4,3 мм, внутренний диаметр 3,2 мм. Для повышения эффективности металлгидридной системы хранения водорода учитывается влияние различных теплообменников на производительность системы: только U-образная трубка, а также U-образная трубка с одним, тремя и пятью медными дисками различной геометрии: сплошной диск, диск с 6 отверстиями и диски с разными вырезами, выбранные для увеличения площади теплопередающей поверхности. В качестве засыпки использовался порошок LaNi_5 . Предполагалось, что внешние стенки бака предполагались изолированными. Также для упрощения модели было предположено, что влияние изменения давления внутри баллона незначительно из-за высокой проницаемости порошка LaNi_5 и что температура охлаждающей жидкости постоянна.

3D модель и выбранные для моделирования диски с разной геометрией продемонстрированы на рис. 1.

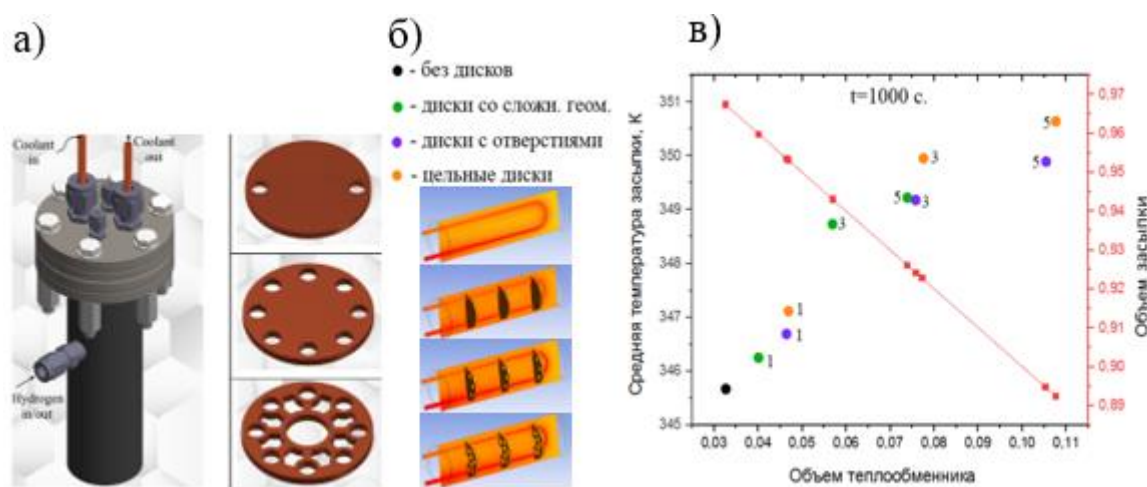


Рис. 1. 3D модель металлгидридного баллона с U-образной трубкой до упрощения и варианты исполнения медных дисков (сплошной/цельный диск, диск с отверстиями и диск сложной геометрии) (а), температурные контуры засыпки LaNi_5 и теплообменника с различной геометрией дисков (б), выбор оптимального теплообменника (моделирование) (в)

С помощью программного пакета ANSYS были получены данные о различных конфигурациях теплообменника. На рисунке 3 представлен совмещенный график зависимости, демонстрирующий критерий оптимальности теплообменника с учетом занимаемого им объема в металлгидридной засыпке.

С помощью методов моделирования на рисунке выше показано, что три диска сложной конфигурации соответствуют оптимальному решению по объему, занимаемому в металлгидридном баллоне, и средней температуре металлгидридной засыпки. Хороший теплообмен при небольшом занимаемом объеме также показали конфигурации с пятью дисками сложной геометрии и тремя дисками с отверстиями.

Для проведения лабораторных экспериментов была изготовлена камера, которая состояла из стального сосуда, закрытого стальной крышкой со встроенной U-образной медной трубкой, по которой циркулирует теплоноситель, нагретый до 100 °С. На трубку были установлены медные диски с различной геометрией (сплошные, с отверстиями, со сложной геометрией). Внутри стальной камеры находился металлгидридный порошок. Перед началом эксперимента из камеры откачивался воздух и устанавливалось давление порядка $4 \cdot 10^3$ мТорр.

Результаты. Было проведено по три эксперимента с различными видами медных дисков, напечатанных с помощью аддитивных технологий методом электронно-лучевого плавления. В каждом эксперименте изменялось число дисков: 1, 3 и 5. Также был проведен эксперимент, в котором на трубку не было установлено ни одного диска. Трубка с установленными дисками изображена на рисунке 2.

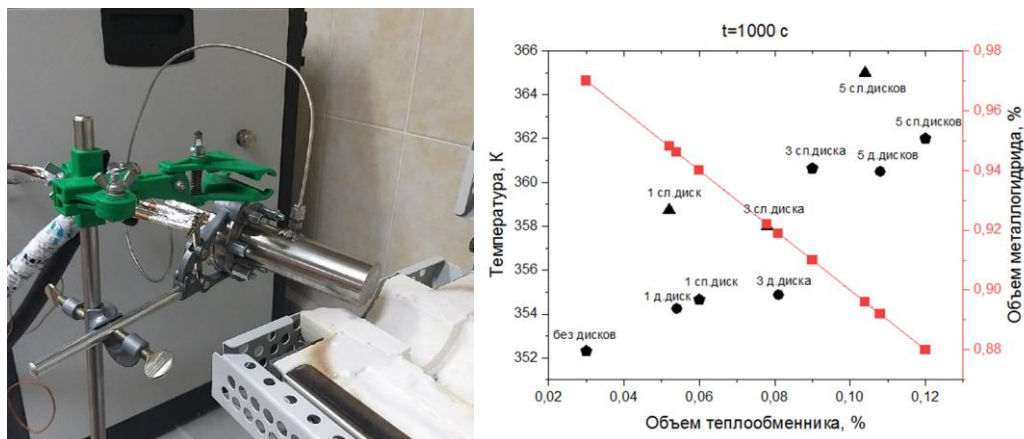


Рис. 2. Экспериментальная камера (слева), выбор оптимального теплообменника (эксперимент) (справа)

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости скорости и температуры нагрева засыпки теплообменника от его геометрии. Результаты эксперимента показаны на рисунке 4.

Как видно из рисунка выше, согласно экспериментальным данным, наиболее оптимальной конфигурацией теплообменника является вариация с тремя дисками сложной геометрии.

Закключение. В ходе данного исследования результаты теплофизических испытаний совпали с результатами цифрового моделирования, таким образом для дальнейших испытаний будет использоваться конфигурация теплообменника с тремя дисками сложной геометрии.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-01280).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатеев В.Н. и др. Проблемы аккумулирования и хранения водорода // *Kimya Problemleri*. – 2018. – №. 4. – С. 453-483.
2. Тарасов Б.П. и др. Методы хранения водорода и возможности использования металлогидридов // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2005. – №. 12. – С. 14-37.
3. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода // *Российский химический журнал*. – 2006. – Т. 50. – №. 6. – С. 34-48.