

УДК 536.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

К.А. Бурлаков, Р.Р. Эльман

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Н.С. Пушилина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

Email: kab32@tpu.ru

MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER IN HYDROGEN STORAGE SYSTEMS

K.A. Burlakov, R.R. Elman

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. N.S. Pushilina

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

E-mail: kab32@tpu.ru

Abstract. The disadvantages of traditional non-renewable energy sources have attracted researchers to search for an alternative. Hydrogen was considered as one of the candidates, since it has the highest specific heat of combustion ($120.8 \frac{MJ}{m^3}$), it is environmentally friendly, versatile and affordable. But its low volumetric energy density ($0.0898 \frac{g}{l}$) made its storage a serious disadvantage. Storage of compressed gas under high pressure has some advantages: ease of storage and extraction, low gas losses. But this method is very unsafe and energy-intensive, has a low gravimetric storage density. Storage of liquid hydrogen requires high energy consumption, has evaporation losses, moreover, has a complex cryogenic system. Solid-state storage of hydrogen in the metal hydride-bound state is safe, efficient, provides compact design, has the possibility of controlled sorption and desorption. The storage device must be designed in such a way as to absorb a sufficient amount of hydrogen in a short period of time. The process of hydrogen absorption is associated with significant heat release, but the poor thermal conductivity of the metal hydride powder slows down the process and increases the charging time. Previous research in this area has shown that an efficient storage system can significantly increase the rate of hydrogen absorption to reduce charging time.

Введение. Недостатки традиционных невозобновляемых источников энергии привлекли исследователей к поиску альтернативы [1-3]. Водород рассматривался как один из кандидатов, так как у него наибольшая удельная теплота сгорания ($120,8 \frac{МДж}{м^3}$), он экологичен, универсален и доступен. Но его низкая объемная плотность энергии ($0,0898 \frac{г}{л}$) делала его хранение серьезным недостатком [1-3].

Хранение сжатого газа под высоким давлением имеет некоторые достоинства: простота хранения и извлечения, низкие потери газа. Но такой метод очень небезопасен и энергоемок, имеет низкую гравиметрическую плотность. Хранение жидкого водорода требует высокие энергозатраты, имеет потери на испарение, более того, имеет сложную криогенную систему. Твердотельное же хранение водорода в связанном с металлогидридом состоянии безопасно, эффективно, обеспечивает компактность конструкции, имеет возможность управляемой сорбции и десорбции. Накопительное устройство для хранения должно быть сконструировано таким образом, чтобы поглощать достаточное количество

водорода за короткий промежуток времени. Процесс поглощения водорода связан со значительным выделением тепла, но плохая теплопроводность порошка металлогидрида замедляет процесс и увеличивает время зарядки. Исследования в этой области показали, что эффективная система хранения может значительно увеличить скорость поглощения водорода для сокращения времени зарядки [1-6]. При анализе данных систем зачастую используются методы компьютерного моделирования [7, 8].

Целью данной работы являлось исследование методом компьютерного моделирования процесса теплопереноса в системе хранения водорода.

Экспериментальная часть. Моделирование системы хранения водорода с различными теплообменными элементами проводилась в среде Comsol Multiphysics. Для моделирования тепломассопереноса было выбрано четыре конфигурации теплообменников (один сплошной диск, три диска, пять дисков и «новая модель» -древовидная структура), при этом в качестве материала теплообменников была выбрана медь. Сравнение результатов моделирования проводились также с системой хранения без теплообменных элементов. Система хранения водорода представляла собой стальной цилиндр с теплообменными элементами и была заполнена порошком металлогидрида.

Результаты. В результате моделирования находилось распределение температуры в зоне порошка по времени. На рисунке 1 представлен график распределения температуры по времени для разных конфигураций теплообменников.

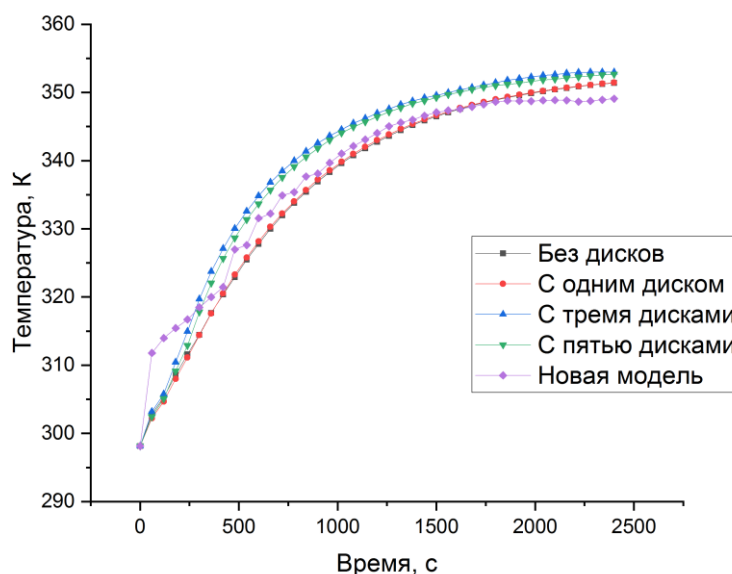


Рис. 1. График распределения температуры по времени для всех моделей

Как показали результаты моделирования, скорость нагрева в теплообменниках с тремя и с пятью дисками выше, чем в теплообменниках с одним диском и без дисков. При этом, теплообменники с тремя дисками и с пятью дисками характеризуются практически одинаковыми скоростями нагрева. Установлено, что «новая модель» с древовидной структурой теплообменника нагревается хуже, чем модель с тремя и с пятью дисками.

Закключение. В работе с помощью компьютерного моделирования проанализированы, с точки

зрения теплопереноса, несколько конфигураций теплообменников для использования в системах хранения водорода. Результаты моделирования показали, что самыми энергетически эффективными оказались модели с тремя и с пятью дисками, а модель теплообменника с внутренней древовидной структурой оказалась менее энергетически эффективна, как и модель с одним диском и без дисков, энергетические эффективности которых примерно равны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ проект 22-29-01280.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amir H.E., Ali N., Mehdi E., Pouyan T. Optimal design of a metal hydride hydrogen storage bed using a helical coil heat exchanger along with a central return tube during the absorption process // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46. – P. 14478–14493.
2. Pan Xu, Jian Wen, Simin Wang, Gang Lei, Yanzhong Li. Study on performance comparison of different fin combinations of catalyst filled plate fin heat exchanger for hydrogen liquefaction // International Journal of Hydrogen Energy». – 2022. – Vol. 47. – P. 23661–23678.
3. Visaria M., Mudawar I., Pourpoint T. Enhanced heat exchanger design for hydrogen storage using high-pressure metal hydride: Part 1. Design methodology and computational results // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2011. – Vol. 54. – P. 413–423.
4. Yehui Cui, Xiangguo Zeng, Junfeng Xiao, Huaqin Kou. The comprehensive review for development of heat exchanger configuration design in metal hydride bed // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47. – P. 2461–2490.
5. Singh Anurag, Maiya M.P., S. Srinivasa Murthy. Effects of heat exchanger design on the performance of a solid state hydrogen storage device // International Journal of Hydrogen Energy. – 2015. – Vol. 40. – P. 9733–9746.
6. Kyle C. Smith, Yuan Zheng, Timothy S. Fisher, TImothée L. Pourpoint, Issam Mudawar. Heat Transfer in High-Pressure Metal Hydride Systems // Journal of Enhanced Heat Transfer. – 2009. – Vol. 16(2). – P. 189–203.
7. Тимербаев Н.Ф., Али А.К., Альмохаммед О.А.М., Корякин А.Р. Моделирование влияния продольного прямоугольного оребрения на эффективность теплообмена в двухтрубном теплообменнике // Проблемы энергетики. – 2019. – № 21 (4). – С. 48–57.
8. Шелудякова А.А. Аналитический обзор пакетов программ для исследования уравнения теплопереноса методом конечных элементов // Вестник науки. – 2019. – № 5 (14). – С. 154–158.