

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Бочарникова Михаила Сергеевича «Разработка и исследование металлгидридных компрессоров водорода высокого давления для систем аккумулирования энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Бочарникова Михаила Сергеевича направлена на создание научно-технических основ систем компримирования водорода с использованием металлгидридных компрессоров высокого давления, предназначенных для использования в энергетических комплексах на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), на водородных заправочных станциях и в ряде других областей. Тема работы актуальна, поскольку потребность в использовании сжатого водорода в промышленности и в энергетике неуклонно растет, в частности, ежегодно объемы производства водорода увеличиваются в среднем на 5%. Крайне актуальными являются задачи хранения энергии в виде водорода и создание инфраструктуры заправочных станций для водородных транспортных средств.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 186 страницах, включает 103 рисунка, 24 таблицы и библиографию, содержащую 172 наименования.

Во введение обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе представлен анализ литературы, посвящённый современному состоянию работ в области создания металлгидридных компрессоров водорода и их применимости в системах аккумулирования энергии, водородных заправочных станциях и других отраслях промышленности.

Во второй главе описаны различные физико-химические методы исследования интерметаллических соединений и их гидридов, в частности рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская система энергодисперсионного микроанализа, методика определения состава гидридных фаз интерметаллических соединений

волюмометрическим способом. Представлен испытательный стенд и методики проведения экспериментальных исследований. Описана математическая модель, предназначенная для численного исследования процессов тепломассопереноса в слоях металлгидридов и их композиций с теплопроводящими добавками при сорбции/десорбции водорода.

В третьей главе определены металлгидридные материалы, пригодные для компримирования водорода. Проведены экспериментальные исследования и установлены основные водородсорбционные и термодинамические характеристики этих материалов. Показано, что для компримирования водорода до 15 МПа оптимальным является использование металлгидридов LaNi_5 и $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5$, в качестве первой и второй ступеней, соответственно.

Четвертая глава посвящена экспериментальному и численному изучению процессов тепломассопереноса при сорбции и десорбции водорода внутри металлгидридных реакторов двух типов. Автором проведен ряд экспериментов по влиянию на указанные процессы давления водорода на входе в реактор, температуры и расхода теплоносителя, длительности циклов гидрирования/дегидрирования. Показано, что наличие теплопроводящей добавки внутри реактора позволяет улучшить сорбционные процессы. Приведены и проанализированы результаты двухступенчатого металлгидридного компримирования водорода до высоких давлений при установленных параметрах, выбраны оптимальные рабочие характеристики компримирования. Выполнена верификация предложенной математической модели, продемонстрирована сходимість результатов экспериментальных и численных исследований.

В пятой главе представлены результаты разработки, изготовления, испытаний и опытной эксплуатации двух типов металлгидридных компрессоров водорода с выходным давлением до 15 МПа и производительностью до $15 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В заключении содержатся основные результаты работы.

Научная новизна результатов

К результатам, отвечающим критериям научной новизны, полученным в работе, стоит отнести:

- новые экспериментальные данные о процессах тепломассопереноса в слоях металлгидридов и их композиций с теплопроводящими добавками при сорбции и десорбции водорода;

- математическую модель металлгидридного компрессора водорода, позволяющую рассчитывать технические характеристики реакторов, а также оптимизировать режимы работы металлгидридных систем компримирования и процессы управления ими;

- оригинальную конструкцию металлгидридного модуля, отличающаяся эффективностью, эксплуатационной надежностью и ремонтпригодностью, что позволяет создавать на ее основе металлгидридные системы компримирования водорода производительностью до 15 м³/ч;

- выявленные причины изменения водородсорбционных характеристик сплавов LaNi₅ и La_{0,5}Ce_{0,5}Ni₅ при многократных циклах сорбции/десорбции водорода металлгидридного компрессора.

Практическая ценность работы:

Практическая ценность работы заключается в возможности применения полученных результатов экспериментальных и численных исследований и испытаний при реальном проектировании металлгидридных компрессоров водорода высокого давления, а также при выполнении НИОКР в университетах, академических и отраслевых институтах (ИПХФ РАН, МГУ, МЭИ, ОИВТ РАН, НИЦ «Курчатовский институт»).

Практическая значимость подтверждается актом внедрения системы компримирования водорода на основе металлгидридного компрессора в АО «СКТБЭ».

Достоверность результатов и обоснованность выводов по работе

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечена использованием современных физико-химических методов анализа и методов математического моделирования и современного экспериментального оборудования, а также результатами сходимости численных расчетов и проведенных экспериментальных исследований.

Апробация результатов, публикации

Результаты работы докладывались на российских отраслевых и научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано три статьи в отечественных журналах из списка ВАК, две статьи в зарубежных научных изданиях, входящих в реферативные базы Scopus и Web of Science, а также получен один патент.

Личный вклад автора

Все экспериментальные исследования, обработка и анализ полученных результатов проведены лично автором. В разработке математической модели и обсуждении расчетов принимал участие к.т.н. Минко К.Б. Постановка задачи и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем к.х.н. Тарасовым Б.П. и главным конструктором АО «СКТБЭ» к.т.н. Яненко Ю.Б.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. Крайне важным было бы привести в диссертации удельные энергозатраты на компримирование водорода с использованием разработанных металлгидридных компрессоров, а также сравнить их с энергозатратами на компримирование водорода с использованием механических и электрохимических компрессоров. К сожалению, в работе это не проделано.

2. В целом, язык, стиль изложения и качество оформления диссертации и автореферата соответствует принятым стандартам и требованиям на оформление научно-технической документации. Тем не менее, в тексте диссертации и автореферата встречаются погрешности оформления, например:

- На рис. 5 (стр. 13) наряду с русскоязычными, приведены англоязычные обозначения (anode, cathode). Данное замечание относится также и к рис. 14 (стр. 30).

- На стр. 168 введен список сокращений и условных обозначений. Однако, многие обозначения, присутствующие в этом списке, продублированы в тексте диссертации.

- Ряд рисунков (например, рис. 8 и 13) в автореферате приведены в очень мелком масштабе, и читаются с трудом либо не читаются.

3. Автором запатентован «Модуль термосорбционного компрессора на основе интерметаллидов для получения водорода высокого давления» (Пат. на ПМ 147395 РФ, опубл. 10.11.2014. Бюл. № 31). Было бы полезно запатентовать разработанные термосорбционные металлгидридные компрессоры и весь комплекс металлгидридного компримирования водорода, включая газораспределительную систему, систему нагревания и охлаждения, систему управления и т.д.

Отмеченные замечания носят, преимущественно, рекомендательный характер и никак не умаляют уникальность, ценность и новизну результатов, полученных автором.

Автореферат в полной мере передает содержание и выводы диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Бочарникова М.С. является самостоятельным и завершенным научным исследованием, содержащим научно-обоснованное решение поставленной актуальной задачи, имеющей существенное значение для развития водородных технологий.

По результатам изучения диссертации можно сделать вывод о том, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор – Бочарников Михаил Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы».

Отзыв составлен официальным оппонентом, ведущим научным сотрудником лаборатории алифатических борорганических соединений ИНЭОС РАН, доктором технических наук, доцентом Григорьевым Сергеем Александровичем.

Официальный оппонент,

д.т.н., доцент,

ведущий научный сотрудник

лаборатории алифатических борорганических соединений ИНЭОС РАН

119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28

+7 499 1359202, larina@ineos.ac.ru

Григорьев Сергей Александрович

07.11.2019

Ученый секретарь ИНЭОС РАН,

к.х.н.

119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28

+7 499 1359202, larina@ineos.ac.ru



Гулакова Елена Николаевна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова

Российской академии наук (ИНЭОС РАН)

119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28

+7 499 1359202, larina@ineos.ac.ru