

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 27 ноября 2019 г. (протокол № 13)

Защита диссертации Бочарникова Михаила Сергеевича
на соискание ученой степени кандидата технических наук
«Разработка и исследование металлгидридных компрессоров водорода высокого
давления для систем аккумулирования энергии»

Специальность 05.14.01 – энергетические системы и комплексы

Москва– 2019

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2) от 27 ноября 2019г. (протокол № 10)

Диссертационный совет Д 002.110.03 утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 75/нк от 15.02.13г. в составе 25 человек. На заседании присутствуют 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 11 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – председатель диссертационного совета Д 002.110.03
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.03
д.т.н. Директор Л.Б.

1	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.	01.02.05	Присутствует
2	Батенин В.М.	чл.-корр. РАН, д.т.н.	05.14.01	Присутствует
3	Директор Л.Б.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
4	Алхасов А.Б.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
5	Аминов Р.З.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
6	Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
7	Битюрин В.А.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
8	Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
9	Зайченко В.М.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
10	Зейгарник В.А.	д.т.н., с.н.с.	05.14.01	Присутствует
11	Климов А.И.	д.ф.-м.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
12	Кобзев Г.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
13	Красильников А.В.	д.т.н., с.н.с.	01.02.05	Присутствует
14	Леонов С.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05	Отсутствует
15	Масленников В.М.	д.т.н., проф.	05.14.01	Отсутствует
16	Медин С.А.	д.т.н., проф.	01.02.05	Присутствует
17	Недоспасов А.В.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
18	Поляков А.Ф.	д.т.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
19	Попель О.С.	д.т.н.	05.14.01	Присутствует
20	Пятницкий Л.Н.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
21	Седлов А.С.	д.т.н., проф.	05.14.01	Отсутствует
22	Синкевич О.А.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Отсутствует
23	Томаров Г.В.	д.т.н., проф.	05.14.01	Присутствует
24	Чиннов В.Ф.	д.ф.-м.н., проф.	01.02.05	Присутствует
25	Шугаев Ф.В.	д.ф.-м.н., доцент	01.02.05	Присутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации сотрудника Акционерного общества «Специальное конструкторско-технологическое бюро по электрохимии с опытным заводом» (АО «СКТБЭ») Бочарникова Михаила Сергеевича на тему «Разработка и исследование металлгидридных компрессоров водорода высокого давления для систем аккумулирования энергии». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Диссертация выполнена в Лаборатории материалов для водородного аккумулирования энергии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук (142432, Московская обл., г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1, <https://www.icp.ac.ru>).

Научный руководитель:

Тарасов Борис Петрович – к.х.н., заведующий лабораторией материалов для водородного аккумулирования энергии ИПХФ РАН (142432, Московская обл., г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1).

Официальные оппоненты:

Клямкин Семен Нисонович – гражданин РФ, д.х.н., профессор химического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (119991, Москва, Ленинские горы, д. 1);

Григорьев Сергей Александрович – гражданин РФ, д.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (119991, ГСП-1, Москва, 119334, ул. Вавилова, д. 28).

Ведущая организация:

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14).

На заседании присутствуют официальный оппонент: д.х.н., профессор Клямкин С.Н., научный руководитель Бочарникова М.С. к.х.н., Тарасов Б.П.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Есть предложение начать нашу сегодняшнюю работу. Сегодня у нас на повестке дня защита диссертации Бочарникова Михаила Сергеевича на тему «Разработка и исследование металлгидридных компрессоров водорода высокого давления для систем аккумулирования энергии». Представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 - Энергетические системы и комплексы.

Я предоставлю слово ученому секретарю нашего совета, Леониду Бенциановичу, для того, чтобы он доложил содержание всех представленных материалов, необходимых для проведения сегодняшней защиты.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Единственное по уважительной причине отсутствует один оппонент, но поскольку, есть еще один оппонент мы имеем право проводить защиту.

Председатель

Есть ли вопросы к ученому секретарю? Нет вопросов. Михаил Сергеевич, вам предоставляется слово для изложения основных положений диссертации, просьба придерживаться регламента 20 минут.

Бочарников М.С.

(Выступает с докладом по диссертационной работе. Выступление не стенографируется, доклад Бочарникова М.С. прилагается).

Председатель

Спасибо, Михаил Сергеевич, вы хорошо уложились в регламент. Уважаемые члены диссертационного совета, есть возможность задать вопросы.

Красильников А.В.

У меня вопрос есть ли ограничения по величине давления при котором может быть выполнено сжатие с помощью металлгидридного компрессора, например, 32 МПа, можно получить с помощью металлгидридного компрессора

Бочарников М.С.

Спасибо за вопрос, выходное давление определяется типом сплава, который используется, соответственно, можно подобрать сплав с равновесным давлением 32 МПа, таким образом, получить 32 МПа. При сплавах, используемых в диссертации, LaNi_5 и $\text{La}_{0.5}\text{Ce}_{0.5}\text{Ni}_5$ при температуре 150 °С, давлением порядка 18 МПа, если заменить сплав $\text{La}_{0.5}\text{Ce}_{0.5}\text{Ni}_5$ на $\text{La}_{0.25}\text{Ce}_{0.75}\text{Ni}_5$ можно повысить давление до 32 МПа. Все определяются характеристиками сплава, который используется.

Батенин В.М.

Как вы оцениваете возможность создания таких компрессных систем на расходы не 15 м³/ч, а допустим на 1000 м³/ч. Возможно ли это

Бочарников М.С.

На 1000 м³/ч, проблематично, я думаю, что данные компрессора ограничены расходом 100 м³/ч. Либо их набирать из нескольких отдельных систем, потому что очень большой объем сплава необходим, и система нагрева и охлаждения будет очень сложной.

Батенин В.М.

Тем самым ограничена область применения таких систем?

Бочарников М.С.

Я считаю, что расход ограничен 100 м³/ч.

Томаров Г.В.

Два вопроса. Как известно верифицировать расчетную модель по своим экспериментальным данным достаточно легко. Проводилась ли верификация математической модели с использованием других экспериментальных данных? Второй вопрос: любой механизм, любая машина такого рода имеет смысл и ценность, если ее энергозатраты приемлемы. Ничего про это не было сказано?

Бочарников М.С.

Верификация модели на экспериментальных данных, полученных не нами, проводилась, это есть в диссертации, получено хорошее согласование. Брали экспериментальные результаты из литературы и ими верифицировали модель. Вопрос по энергозатратам у нас не стоял. Если считать, что у механического компрессора энергозатраты на производство килограмма водорода порядка 3-6 кВт*ч, у данного компрессора, проводились измерения, энергозатраты составляют 13-14 кВт*ч/кг водорода. Здесь, оптимизация системы нагрева и охлаждения не выполнялась, ее характеристики выбирались с запасом. При рекуперации можно получить значения сопоставимые с механическими компрессорами порядка 6-7 кВт*ч/ кг водорода.

Аминов Р.З.

Какой КПД у компрессора?

Бочарников М.С.

У компрессора ТСК2-3,5/150 КПД составляет 7%.

Вараксин А.Ю.

Вопрос по эффективности и про КПД. КПД как мы привыкли: запасенная энергия деленая на затраты. Вы запасли водород, он идет в топливные элементы, на выходе вы имеете полезную мощность. Ваши затраты достаточно большие, сложная схема, много устройств, они включают электролиз, подогрев и охлаждение теплоносителей, затраты на прокачку теплоносителей, привод клапанов, потери в топливном элементе, этот Ваш ответ по КПД, он действительно такой низкий? Этот баланс легко оценивается.

Бочарников М.С.

Если использовать низко потенциальное тепло, то затраты на электроэнергию ниже, нагрев и охлаждение идет только тепло, тогда КПД компрессора значительно выше и может конкурировать с механическими.

Вараксин А.Ю.

А по цене?

Бочарников М.С.

Стоимость в основном определяется стоимостью сплава и стоимостью «железа». Чем больше покупаете сплава, ниже его цена. Были работы, в которых сравнивали цены компрессоров, и металлгидридный компрессор получился дешевле. То есть цены сопоставимы.

Попель О.С.

Вы во многом меня опередили. Я хочу подчеркнуть следующую вещь, насколько я понимаю, основное преимущество металлгидридных компрессоров состоит в том, что используется, в отличие от механического компрессора, не электроэнергия, а тепло, причем тепло низкого температурного уровня (максимальная температура 150 градусов Цельсия). Здесь, какое КПД имеется ввиду, затраты тепловой энергии. Здесь происходит сжатие водорода. А электролиз присутствует в системах, что с механическими компрессорами и что с тепловым. Водород сначала получаем электролизом воды. Нужно рассматривать второй этап: получение водорода под соответствующим давлением. Если затраты энергии на прокачку теплоносителей. Вопрос состоит в следующем: Что такое определение КПД вашего компрессора в Вашем случае?

Бочарников М.С.

Работа на сжатие отнесенная к энергозатратам.

Попель О.С.

Здесь вы используете не электрическую энергию для сжатия, а тепло, как-то по-другому КПД должно рассчитываться. Вы забываете про тепло и относите только затраты на прокачку энергоносителя. Какое определение КПД, иначе мы говорим о разных вещах.

Бочарников М.С.

Я сказал о затратах 13 кВт*ч/кг водорода

Попель О.С.

Это тепловая энергия, а там электрическая они разную имеют ценность эксергетическую. На производство электроэнергии нужно затратить тепло.

Бочарников М.С.

Я оценивал затраты электрической энергии для компрессора ТСК2. Измеряли потребляемую мощность, которая была затрачена на работу сжатия.

Попель О.С.

Каким образом, вы получали 150 °С?

Бочарников М.С.

За счет системы нагрева и охлаждения. Для нагрева использовали индукционные нагреватели, то есть затратили электрическую мощность.

Попель О.С.

Тогда можно сравнить с механическими компрессорами. Какие у Вас цифры?

Бочарников М.С.

Если пересчитывать на кг водорода, то у нас 13 кВт*ч/кг водорода. У механических компрессоров до 6-8 кВт*ч/кг водорода.

Попель О.С.

То есть Вы больше затратили энергии, какое тогда преимущество?

Бочарников М.С.

Мы не оптимизировали систему нагрева и охлаждения, если использовать рекуперацию можно снизить затраты до 7-8 кВт*ч/кг водорода.

Попель О.С.

В чем преимущество технологии? Почему не использовать механические компрессора?

Бочарников М.С.

Основные преимущества: чистота водорода, бесшумность. Металлогидриды позволяют абсорбировать некоторое количество примесей и получать водород на выходе с чистотой 99,9999%. Отсутствие движущихся частей, повышается надежность.

Попель О.С.

Необходимо регенерировать порошок после абсорбирования примесей, нужно затрачивать энергию.

Бочарников М.С.

18000 циклов мы отработали, упала производительность, возможно частично восстановить в печах.

Аминов Р.З.

Какого качества исходных водород?

Бочарников М.С.

Примеси кислорода в водороде составляет 5 ppm.

Аминов Р.З.

Вы очистку специально осуществляете?

Бочарников М.С.

Нет. Свойство металлогидрида поглощать примеси.

Попель О.С.

А Вам что на выходе требуется, нужно очищать электролизных водород, который и так сверх чистый

Бочарников М.С.

Если четыре девятки после запятой, то нужно.

Попель О.С.

Тогда преимущества нивелируются.

Бочарников М.С.

Еще была задача узконаправленная задача. Для систем электрохимической регенерации воздуха, производством, которых занимается наше предприятие для АПЛ, в ней используются компрессора и электролиз воды с получением водорода и кислорода, водород должен выбрасываться из гермообъекта. Требования к механическим компрессорам повышаются по ВШХ, а металлогидридных компрессор можно сделать практически бесшумным.

Попель О.С.

На АПЛ основное преимущество, что есть источник тепла.

Председатель

Еще вопросы? Или достаточно? Достаточно.

Слово предоставляется научному руководителю, кандидату химических наук, Тарасову Борису Петровичу, Институт проблем химической физики РАН.

Тарасов Б.П.

(Выступление научного руководителя не стенографируется. Отзыв Тарасова Б.П. прилагается в аттестационном деле)

Председатель

Уважаемые коллеги! Чтобы нам не растягивать заседание сегодняшнее, слово предоставляется ученому секретарю для оглашения заключения организации, где выполнялась диссертация (это Институт проблем химической физики РАН), а также отзыв ведущей организации, Московский энергетический институт, и других письменных отзывов, поступивших на автореферат диссертации.

Ученый секретарь

В Заключение Институт проблем химической физики РАН, где выполнялась работа, отмечено, что диссертация Бочарникова М.С. является законченной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной научной задачи – созданию надежных, эффективных, простых в обслуживании немеханических компрессоров водорода высокого давления, предназначенных для систем аккумулирования энергии. Диссертация отвечает требованиям п. 9, 14 «Положения о присуждении учёных степеней» (постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842). Отмечено личное участие соискателя, степень достоверности результатов, научная новизна, практическая значимость, специальность соответствует диссертации. Заключение принято на заседании секции № 6 Ученого Совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук. Подписано председателем секции, профессором, доктором химических наук Добровольским Ю.А. Утверждено заместителем директора ИПХФ РАН, доктором физико-математических наук Берзигияровым Парвазом Куламовичем, 16 сентября.

Ведущая организация: (ведущая организация – «Национальный исследовательский университет «МЭИ»), отзыв утвержден проректором Драгуновым Виктором Карповичем, отзыв принят на научном семинаре кафедры инженерной теплофизики. Составлен заведующим кафедрой инженерной теплофизики, к.ф.-м.н., доцентом Герасимовым Денисом Николаевичем и профессором кафедры инженерной теплофизики, д.т.н., с.н.с. Яньковым Георгием Глебовичем. В отзыве отмечается актуальность темы исследования, научная новизна, практическая значимость работы, достоверность результатов, отмечены положения, выносимые на защиту, оценена апробация и публикации автора диссертации

Замечания:

(Замечания ведущей организации не стенографируются. Текст отзыва ведущей организации прилагается в аттестационном деле)

Сделанное замечание носит характер пожелания и не влияет на высокую оценку представленной на отзыв диссертационной работы.

Представленная диссертационная работа Бочарникова Михаила Сергеевича «Разработка и исследование металлгидридных компрессоров водорода высокого давления для систем аккумулирования энергии» является завершённым исследованием, выполненным по актуальной теме на высоком научном уровне. Диссертантом получен большой объем

экспериментальных и расчетно-теоретических данных, представляющих значительный научный и практический интерес. Работа 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 присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы».

На автореферат получено 6 отзывов.

(Замечания на автореферат стенографируются. Все отзывы на автореферат прилагаются в аттестационном деле)

Председатель

Спасибо, Леонид Бенцианович, если вопросы? Михаил Сергеевич, Вам предоставляется слово для краткого ответа на замечания, поступившие в письменной форме.

Бочарников М.С.

Я буду по порядку отвечать; сначала – на замечания ведущей организации.

Замечание по экономической эффективности: В данной работе экономические вопросы не рассматривались, поскольку некорректно сравнивать экономические эффективности опытного образца металлгидридного компрессора с промышленно используемыми компрессорами.

Замечания Теличканя Виталия Сергеевича:

(Первое замечание) По поводу того, что надписи и обозначения на рис. 8 мелкие и плохо читаются, согласен, надо было увеличить размер этого рисунка.

(Второе замечание) По поводу отсутствия информации о перспективах продолжения работы: в дальнейшем мы планируем продолжить работы по созданию металлгидридных компрессоров водорода с выходным давлением 35 МПа и выше, что возможного их использования в заправочных системах для беспилотников.

Замечание Ковалев Д.Ю по поводу неудачной фразы на стр. 18: «Показано, что между экспериментально измеренными и рассчитанными зависимостями наблюдается качественное и количественное согласование».

Согласен, если есть количественное соответствие, то очевидно и качественное соответствие.

Замечание Мельникова Сергей Александровича, по поводу уменьшения емкости и производительности компрессора ТСК1-3,5/150 по мере увеличения числа циклов...

С замечанием не согласен, действительно, для сплавов $Nd_2Fe_{14}V$ гидрогенолиз идет при температурах 800 °С. Для сплава $LaNi_5$ этот процесс начинается уже при 150°С, а окисление происходит при температурах при 100°С. В тоже время сделать заключение о том, кто вносит решающий вклад - окисление или гидрогенолиз, невозможно.

Замечания Негримовского Владимира Михайловича:

(Первое замечание) Недостаточное обоснование выбора давления водорода на входе в металлгидридные реакторы.

Выбор давления водорода на входе в металлгидридный реактор обусловлен тем, что используемый для исследования генератор водорода, имеет выходное давление от 3 -5 атм, в стационарном режиме, а в экспериментальном режиме до 6 атм – это первая причина, а вторая: сплав первой ступени $LaNi_5$ при температуре 15-20°С имеет равновесное давление 2-3 атм., необходимо обеспечить минимальный перепад между входным и равновесным давлениями.

(Второе замечание) Проставление обозначения единицы измерения температуры «градус Цельсия» без пробела после величины.

Согласен, хотя в научной литературе приводятся оба варианта.

Председатель

Спасибо, тогда переходим к выступлениям официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту, доктору химических наук, профессору Клямкину Семену Нисоновичу, представляющему МГУ им. Ломоносова.

Клямкин С.Н.

Добрый день, уважаемые председатель и члены диссертационного совета. Спасибо за то, что пригласили оппонировать. Несколько вводных слов скажу и перейду к содержательной части.

Сейчас интерес к водородным проблемам активно развивается во многих странах мира. Есть специальные программы и в США, и в Европе по водородной энергетике. В России входит в число критических технологий, связанных с альтернативной энергетикой. В этом плане аспект водородных энергетических технологий который рассматривался в диссертации, один из самых острых. Сразу подчеркну, что принцип работы ТСК вещь известная десятилетия, есть опытные образцы и обзоры, тут принципиально нового нет. На мой взгляд, самое интересное в работе это то, что от прототипа доведено до работающего изделия. Это изделие длительно испытано и получены интересные результаты. Это уникально, тем более компрессор имеет определенное предназначение. Если не углубляется в содержание диссертации, я бы хотел сформулировать замечания, пожелания, вопросы, которые возникли при чтении полного текста диссертации.

(Замечания официального оппонента не стенографируются. Отзыв Клямкина С.Н. прилагается в аттестационном деле)

В заключении, замечания не носят критического характера, это приглашение к дискуссии и пожелания для дальнейшей работы. Работа является высокого уровня, качественным научно-квалификационным исследованием, удачно сочетающее в себе теоретическую и несомненно значимый практический выход. Диссертационная работа удовлетворяет всем критериям, определенным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Автор заслуживает присвоения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы.

Председатель

Спасибо, Семен Нисонович, есть ли вопросы к официальному оппоненту? Нет. Михаил Сергеевич, Вам предоставляется слово для на прозвучавшие замечания

Бочарников М.С.

(Первое замечание) Замечание по не предоставлению ни одного математического выражения в разделе математического моделирования.

Согласен, следовало указать основные уравнения математического моделирования

(Второе замечание) По поводу опечаток

Согласен, следовало быть более внимательным

(Третье замечание) Различия в эффективной теплопроводности композитов для одних и тех же сплавов.

Это связано, с тем, что данные разных авторов, и разные условия получения композитов, при разных давлениях.

(Четвертое замечание) По поводу экспериментальных точек и «расчетных кривых».

Рабочие параметры имеющейся у нас установки типа Сивертса ограничены давлением 100 атм и температурой 100 °С, поэтому для получения изотерм при более высоких температурах и давлениях использовали полуэмпирическую модель Лотоцкого. Была выполнена верификация этой модели на изотермах, полученных экспериментальным путем. В дальнейшем это модель использовалась для получения изотерм при температуре 150 °С и определения рабочего давления компрессора.

(Пятое замечание) По повод тестирование модели на доступных литературных данных.

Согласен, следовало бы привести эти результаты в виде приложения.
(Шестое замечание) Объяснение деградации сплавов первой и второй ступеней.
Мы изначально учитывали, что присутствие незначительных примесей кислорода в электролизном водороде. В тоже время, когда сделали РФА увидели фазы гидрида лантана и никеля. Было сделано заключение, что причиной снижения емкости сплава является как окисление, так и частичный гидрогенолиз.

Председатель

Спасибо, Михаил Сергеевич, второй оппонент у нас отсутствует - д.т.н. Григорьев Сергей Александрович, представляющий Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН. Поэтому попросим Леонида Бенциановича огласить основные положения отзыва и замечания.

Ученый секретарь

Если члены совета не возражают, не буду полностью зачитывать отзыв. В отзыве отмечается актуальность. Дан анализ содержания диссертационной работы, отмечается научная новизна:

- новые экспериментальные данные о процессах теплопереноса в слоях металлгидридов и их композиций с теплопроводящими добавками при сорбции и десорбции водорода;
- математическую модель металлгидридного компрессора водорода, позволяющую рассчитывать технические характеристики реакторов;
- оригинальную конструкцию металлгидридного модуля, отличающаяся эффективностью, эксплуатационной надежностью и ремонтпригодностью;
- выявленные причины изменения водородсорбционных характеристик сплавов LaNi_5 и $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5$ при многократных циклах сорбции/десорбции водорода.

Отмечена практическая ценность работы, достоверность и апробация, личный вклад автора.

По работе у оппонента имеются три замечания:

(Замечания официального оппонента не стенографируются. Отзыв Григорьев С.А. прилагается в аттестационном деле)

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.

Диссертационная работа Бочарникова М.С. является самостоятельным и законченным 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, а ее автор – Бочарников Михаил Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы».

Председатель

Михаил Сергеевич, несмотря на то, что замечаний немного, просим на них ответить.

Бочарников М.С.

(Первое замечание) Замечание, касающееся сравнения энергозатрат различных типов компрессоров.

Для механических компрессоров энергозатраты составляют 2-6 кВт*ч/кг, для существующих прототипов электрохимических компрессоров порядка 5-8 кВт*ч/кг водорода. Удельные затраты металлгидридного компрессора ТСК2-3,5/150 составляют 13-14 кВт*ч/кг водорода., без оптимизации системы нагрева и охлаждения.

(Второе замечание) С замечаниями по погрешности в оформлении согласен, надо было более внимательно отредактировать текст диссертации.

(Третье замечание) Патентование всего металлгидридного комплекса

Согласен, в дальнейшем планируется запатентовать все технических решения в процессе выполнения диссертационной работы.

Председатель

Спасибо. Теперь переходим к дискуссии?

Попель О.С.

Еще один вопрос, не могли бы назвать аналоги за рубежом или в России установки на такие параметры. Известны ли Вам?

Бочарников М.С.

Есть компрессора сделанные в Норвегии?

Попель О.С.

Сравнивали вы ваши характеристики с зарубежными?

Бочарников М.С.

Производительность у зарубежных до 5 м³/ч. Конструкция отличается. Есть компрессора в Южной Африке. В чем-то лучше, в чем-то хуже.

Председатель

Предоставляю слово Яненко Юрию Борисовичу и Яцуку Александру Егоровичу.

Яцук А.Е. Генеральный директор АО «СКТБЭ»

Уважаемый председатель и члены диссертационного совета.

Хотел бы сказать о диссертанте два слова. Это вполне состоявшийся работник, начальник производственного отдела, руководит целым коллективом и занимается научными разработками. Это его большая в этом заслуга. Второе что я хотел сказать. Когда мы начинали заниматься этой тематикой, это была конкретно поставленная задача, создать не атомную подводную лодку, не уступающую по своим характеристикам мировым образцам и так далее. Одним из главных недостатков вообще всех лодок, это их бесшумность. Присутствие механических компрессоров на лодках, это самый главный недостаток. Одно из предложений, это было применение данного компрессора при проектировании и строительстве лодок и Михаил Сергеевич с данной задачей успешно справился. Но попутно разрабатывая этот компрессор, было сделано достаточно большое количество различных разработок. В Советском Союзе выпускались интерметаллиды, с развалом Советского Союза предприятия прекратили их производство. По требованию, по характеристикам, техническому заданию было восстановлено производство интерметаллидов в России. Это первое достижение, которое можно отнести и к диссертанту. Второе что прозвучало в докладе, была разработана новая методика индукционного нагрева разных жидкостей особенно химически активных. В настоящее время одна из самых больших проблем стоит, как хранить водород. Предложенная тема говорит и раскрывает проблему как хранить водород в связанном виде. Какие особенности возникают при хранении водорода в интерметаллиде. Так как водород относится к

взрывоопасным газам, то такой вид хранения водорода является более безопасным. Благодарю за внимание.

Яненко Ю.Б. Главный конструктор АО «СКТБЭ»

На сегодняшний день к машинам, поставляемым на флот предъявляются повышенные требования по различным параметрам. Современная технология, основанная на свойствах интерметаллидов представленной диссертантом, позволит решить некоторые задачи по достижению важных параметров. Так посчитать КПД представленной системы компримирования водорода? Здесь надо говорить не о КПД механического компрессора, а рассматривать систему в совокупности по удельным характеристикам.

Председатель:

Спасибо Юрий Борисович, уважаемые коллеги, есть ли, кто хочет еще сказать?

Зайченко В.М.:

Спасибо за предоставленное слово. Странное обсуждение было, мы создаём какую-то вещь, аппарат, устройство, которое обладает КПД в два раза хуже, чем есть на практике. Есть конструкция компрессоров, которую мы используем сегодня. А вот сто лет назад каковы были характеристики этого оборудования. На сегодня есть прогресс. Есть понятие водородная энергетика, она активно развивается и существуют болевые точки. Одна из таких, хранение и компримирование водорода. Тот, кто когда-нибудь сталкивался с компрессором водорода стандартной конструкции, понимает на сколько это сложно, неудобно и опасно. И нам нужны новые технические решения. На сколько я знаю эти системы по компримированию водорода совсем молодые, примерно 30-35 лет. И сегодня у нас есть какие-то решения научные, технические в этом плане. Я считаю, извините, у нас диссертационный совет и говорить о финансовой доходности не совсем корректно. Очевидно мы должны рассматривать понятие соответствует диссертант требованиям, либо не соответствует. Соответствует его уровень требованиям, которые предъявляются к кандидату технических наук. Я думаю, что из доклада и с тем, что здесь говорилось совершенно очевидно, что тем требованиям, которые предъявляются к кандидату технических наук по этой специальности энергетические системы и комплексы, диссертант соответствует. И я призываю членов учёного совета дать положительную оценку и голосовать ЗА.

Спасибо.

Председатель

Спасибо!

Аминов Р.З.

Уважаемые коллеги! Мы прослушали очень интересную работ. Я буду поддерживать эту работу, вместе с тем есть ряд вопросов. Прежде всего вопросы были связаны с эффективностью, потому что они не получили отражение в работе. Специальность энергетические системы и комплексы предполагает учитывать связь исследуемого объекта со структурой системы или комплекса, в котором находится объект. Как правильно можно было представить эту работу: нужно, во-первых, определить характеристики этого устройства: шумовая характеристика, динамическая характеристика по времени, поскольку требуется время на процесс сжатия, значительно большее, чем сжатия механическим компрессором, энергетические характеристики тоже должны присутствовать. Когда это все есть, тогда нужно определять зоны эффективного использования вашей установки. К сожалению, этого мы увидели, поэтому нас возникли эти вопросы. Мы заслушали интересную работу, эти вопросы в будущем должны быть поставлены перед диссертантом, и изучены, и исследованы.

Председатель

Спасибо! Вячеслав Михайлович, Вам слово.

Батенин В.М.

Вы знаете, я хочу толкнуться от выступления Рашида Зариповича и похвалить наш совет. Мы должны вынести заключение о научно-квалификационной работе, а мы ставим вопросы: Как сделать реальную машину? Как ее использовать? С какой эффективностью? Это требования не к диссертанту, а как минимум на уровень выше. Мне кажется то, что мы сегодня слушали соответствует научно-квалификационной части. Конечно, хотелось бы получить ответы, который были заданы. Невозможно придумать систему, которая была бы адекватно всем требованиям, такого не существует. Надо четко говорить, для какой области, то что разработана, может быть использовано. Это очень важно. Здесь, я хочу обратить внимание на выступление наших коллег-производственников. В работе было сказано, что интерметаллические соединения закуплены в Китае. Входящие туда редкоземельные элементы на 95% производятся в Китае. Месяц назад Китай закупил месторождение в Северной Корее, где производится редкоземельные металлы. В нашей стране есть уникальное томторское месторождение редкоземельных металлов. У нас никто не занимается технологией переработки этой руды. В нашем институте разработана такая технологии, мы не знаем, где поставить полупромышленные эксперименты. В нашем институте разработана такая технологии мы не знаем где поставить. В России собственного производства нет. Мы призываем коллег из промышленности, помочь нам с этим вопросом. И второе, что я хочу сказать: название работы металлгидридный компрессор, а специальность энергетические системы и комплексы. Я советовал нашему подзащитному, говорить, что это не компрессора, система компримирования. Когда вы сравниваете механический компрессор и металлгидридного, вы понимаете, что это не компрессор, а система компримирования. И об этом надо говорить. Если говорить в целом о работе, конечно она удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации. И я также, как предыдущие выступающие, призываю проголосовать за. Спасибо.

Председатель

Спасибо!

Попель О.С.

Я хотел бы сказать два слова и не в полной мере согласиться с Вячеславом Михайловичем. Наш совет энергетические системы и комплексы, если заниматься энергетическим оборудованием или его частью анализа, без энергетического баланса и энергетической эффективности, понять, что там происходит очень сложно. Потому что, анализ энергетической эффективности и баланса позволяет существенно улучшить характеристики: эксплуатационные, весовые, габариты и т.д. Поэтому этот вопрос: анализ энергетической эффективности, должен стать одним из ключевых предметов для дальнейшего понимания. Безусловно основная часть работы заслуживает высокой оценки, поскольку диссертанту за достаточно короткий срок, удалось создать реально работающий агрегат. Его научной квалификации вполне достаточно для присвоения ученой степени. Надеюсь в дальнейшем продолжится сотрудничество с Борисом Петровичем. Спасибо! И призываю голосовать за.

Председатель

Спасибо!

Борзенко В.И.

Уважаемый совет прошу обратить внимание на главное, что в общем не прозвучало: металлургические системы, даже когда не достигают совершенства, натыкаются на узкое и нишевое применение. Заправочная станция, которая была продемонстрирована, это массовое применение. Что касается КПД: если низкопотенциальный тепло или бросовое, вообще КПД речи не может идти. Самое главное, хотел бы чтобы поддержали работу, потому что это один немногих примеров демонстрационного удачного проекта. Если у меня спрашивают, где я могу посмотреть работающую металлургическую систему, я говорю поезжайте к Бочарникову. Одно из главных достоинств работы, что есть внедрение, прошу поддержать.

Председатель

Спасибо! Так, если достаточно. Тогда, Михаил Сергеевич, вам предоставляется время для того, чтобы сказать заключительное слово.

Бочарников М.С.

Глубокоуважаемый Алексей Юрьевич и члены диссертационного совета, позвольте выразить вам огромную благодарность за предоставленную возможность защиты диссертации в ведущем учреждении нашей страны. Выражаю свою искреннюю признательность и благодарность моему научному руководителю Тарасову Борису Петровичу за оказанную помощь на всех этапах диссертационного исследования, за доброе отношение ко мне, настойчивость, терпение, за то, что в любой ситуации Вы, находили время для обсуждения всех вопросов. Особую благодарность выражаю моему научному руководителю в АО «СКТБЭ» главному конструктору Яненко Юрию Борисовичу, за заданный потенциал, за поддержку на протяжении всего периода проведения научной работы. Огромное спасибо глубокоуважаемым официальным оппонентам- Клямкину Семену Нисоновичу и Григорьеву Сергею Александровичу за внимательное рассмотрение диссертационной работы, доброжелательность и положительные отзывы. Благодарю всех сотрудников ведущей организации и всех ученых, давших отзывы на автореферат диссертации. Глубокоуважаемый Василий Игоревич благодарю Вас за оказанную мне помощь и конструктивные советы. Разрешите выразить глубокую признательность и благодарность генеральному директору АО «СКТБЭ» Яцуку Александру Егоровичу, новатору, человеку, генерирующему идеи, за оказанное мне доверие. Огромное спасибо Минко Константину Борисовичу сотруднику кафедры инженерной теплофизики МЭИ за оказанную мне помощь и внимание к диссертационной работе. Благодарю Левину Ольгу Александровну за помощь в подготовке к защите диссертации. Большое спасибо за помощь моим коллегам из АО «СКТБЭ»: Стерхову Н.С., Рутковскому Д.С., Башкову А.А. и коллегам из ИПХФ РАН: Фурсикову Павлу Владимировичу, Володину Алексею Александрович, Можжухин Сергей Александрович. Также, благодарю маму и супругу за поддержку и мотивацию. Спасибо за внимание.

Председатель

Для осуществления процедуры тайного голосования необходимо избрать счетную комиссию - это Виктор Михайлович Зайченко, Попель Олег Сергеевич, Кобзев Георгий Анатольевич. Кто за этот состав? *(Счётная комиссия выбирается единогласно)*. Так, тогда всем членам совета получить бюллетени, проголосовать и не расходиться.
(Проводится процедура тайного голосования).

Председатель

Готовы, Виктор Михайлович?

Зайченко В.М.

Да.

Комиссия: Зайченко В.М., Попель О.С. и Кобзев Г.А.

Присутствовало на заседании: **18** членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **8**. Роздано бюллетеней – **18**, осталось не розданных – **7**. Оказалось в урне – **18**.

Результаты голосования:

за – **18**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель

Татьяна Сергеевна, поздравляю вас с блестящими результатами. Нам надо утвердить протокол счетной комиссии. Кто за то, чтобы эту утвердить? Против? Воздержались? **Единогласно (Протокол счетной комиссии утвержден единогласно).**

Так, пока не расходимся, потому что нам нужно обсудить проект заключения. У всех на руках, да? Есть ли замечания? Есть замечания: убираем фразу в пункте о достоверности и слово «идея» там же. Есть предложение, подготовленный проект заключения взять за основу и внести какие-то замечания в процессе, да? Может быть, у вас появятся. Если сейчас их нет, то тогда голосуем тоже за представленный проект заключения: кто за то, чтобы утвердить его единогласно? Спасибо! Кто против? Воздержавшиеся? Нет. **(Проект заключения принят единогласно).** Тогда я поблагодарю от себя лично всех присутствующих сегодня за проявленную активность во время защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.03, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
дата защиты 27.11.2019 протокол № 13

О присуждении **Бочарникову Михаилу Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Разработка и исследование металлогидридных компрессоров водорода высокого давления для систем аккумулирования энергии»** в виде рукописи, по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы, принята к защите 11.10.2019 г. (протокол № 12) диссертационным советом Д 002.110.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru, (495) 485-83-45), утвержденном приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 75/нк от 15.02.2013 г.

Соискатель **Бочарников Михаил Сергеевич**, 1985 года рождения, в 2008 году окончил Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

В период подготовки диссертации обучался в заочной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук (ИПХВ РАН).

Работает начальником отдела в Акционерном обществе «Специальное конструкторско-технологическое бюро по электрохимии с опытным заводом» (АО «СКТБЭ»).

Диссертация выполнена в Лаборатории материалов для водородного аккумулирования энергии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат химических наук, заведующий лабораторией материалов для водородного аккумулирования энергии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химической физики Российской академии наук **Тарасов Борис Петрович**.

Официальные оппоненты:

доктор химических наук, профессор химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова» (119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 52, тел. (495) 939-3010, cs.msu.su, e-mail: cmc@cs.msu.su) **Клямкин Семен Нисонович**;

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории алифатических борорганических соединений, № 127 (ЛАБС) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (119991, ГСП-1, Москва, 119334, ул. Вавилова, д. 28, тел.: (499) 135-9202, ineos.ac.ru, e-mail: larina@ineos.ac.ru) **Григорьев Сергей Александрович**,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14) в своем положительном заключении, принятом на научном семинаре кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (протокол №9/2019 от 16 октября 2019 г.), составленном заведующим кафедрой инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», к.ф.-м.н., доцентом Герасимовым Денисом Николаевичем и профессором кафедры инженерной теплофизики, д.т.н., с.н.с. Яньковым Георгием Глебовичем (утверждено Проректором ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», д.т.н., доцентом Драгуновым В.К.), указало, что диссертация является завершённым исследованием, выполненным по актуальной теме на высоком научном уровне. Диссертантом получен большой объем экспериментальных и расчетно-теоретических данных, представляющих значительный интерес для научно-исследовательских организаций, учебных заведений и технологических компаний, занимающихся исследованиями, проектированием и внедрением водородных систем накопления энергии.

Результаты исследования могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, учебных заведениях и технологических компаниях, занимающихся проектированием и внедрением водородных систем аккумулирования энергии: ФГАОУ ВО «МФТИ (национальный исследовательский университет)», ФГБУН ОИВТ РАН, ФГБУ «НИЦ Курчатовский институт», ФГБУН ИПХФ РАН, ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», ООО «ИнЭнерджи», АО «СКТБЭ», а также предприятиях по производству технического водорода, таких как ООО «НИИ КМ», АО «ЛИНДЕ ГАЗ РУС» и др.

Соискатель имеет 13 опубликованных по теме диссертации работ, в т.ч. 3 статьи – в журналах из перечня ВАК и 2 статьи – в журналах, входящих в реферативные базы данных Scopus и Web of Science, 8 тезисов докладов, представленных на российских конференциях, а также получен один патент.

Основные работы:

1. Tarasov B.P., **Bocharnikov M.S.**, Yanenko Y.B., Fursikov P.V., Lototsky M.V. Cycling stability of RNi_5 ($R = La, La+Ce$) hydrides during the operation of metal hydride hydrogen

- compressor. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V. 43. – Issue 9. – P. 4415–4427.
2. Minko K.B., **Bocharnikov M.S.**, Yanenko Y.B., Lototsky M.V., Kolesnikov A., Tarasov B.P. Numerical and experimental study of heat-and-mass transfer processes in two-stage metal hydride hydrogen compressor. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V. 43. – Issue 48. – P. 21874–21885.
 3. **Бочарников М.С.**, Яненко Ю.Б., Тарасов Б.П. Металлогидридный термосорбционный компрессор водорода высокого давления. // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 12. – С. 18–23.
 4. Минко К.Б., Артемов В.И., **Бочарников М.С.**, Тарасов Б.П. Моделирование работы термосорбционного металлогидридного компрессора с интенсификацией теплообмена. // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 10. – С. 15–22.
 5. **Бочарников М.С.**, Яненко Ю.Б., Тарасов Б.П. Металлогидридные компрессоры водорода. // Морской вестник. – 2017. – № 4(64). – С. 53–55.
 6. Пат. на ПМ 147395 РФ, МПК С01В 3/00 (2014.11). Модуль термосорбционного компрессора на основе интерметаллидов для получения водорода высокого давления/ Г.В. Сорокин, Ю.Б. Яненко, **М.С. Бочарников**, Н.С. Стерхов, Н.Н. Куртина, И.С. Литвинов, И.А. Ипаткина (Россия). Заявка № 2014108732/05, заявлено 07.03.2014, опубл. 10.11.2014. Бюл. № 31.

На диссертацию и автореферат **поступили отзывы:**

1) Д.ф.-м.н., профессор **Антонов В.Е.**, заведующий лабораторией физики высоких давлений Федерального государственного бюджетного учреждения науки **Института физики твердого тела** Российской академии наук (**ФГБУН ИФТТ РАН**) (142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипяна, д. 2) – отзыв положительный без замечаний;

2) Д.т.н. **Чаховский В.М.**, главный научный сотрудник Департамента экономики и жизненного цикла АЭС (ДЭ и ЖЦ АЭС) Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт эксплуатации атомных электростанций (АО «ВНИИАЭС») (109507, г. Москва, ул. Ферганская, д. 25) – отзыв положительный без замечаний;

3) К.т.н. **Теличкань В.С.**, инженер конструкторско-технологического отдела **Общества с ограниченной ответственностью «Гидрогениус» (ООО «Гидрогениус»)** (141730, Московская область, г. Лобня, ул. Крупской, д. 12а) – отзыв положительный, с замечаниями:

1. Надписи и обозначения на рис. 8 мелкие и плохо читаются.

2. Отсутствует информация о перспективах продолжения работы.

4) К.т.н. **Ковалев Д.Ю.**, заведующий лабораторией рентгеноструктурных исследований **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук (ИСМАН)** (142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипяна, д. 8) – отзыв положительный, с замечанием:

Неудачная фраза на стр. 18: «Показано, что между экспериментально измеренными и рассчитанными зависимостями наблюдается качественное и количественное согласование».

5) К.ф.-м.н. **Мельников С.А.**, начальник лаборатории металлургических процессов **АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (АО «ВНИИХТ»)** (15409 г. Москва, Каширское шоссе, д. 33) – отзыв положительный, с замечаниями:

Соискателем обнаружен эффект уменьшения емкости и производительности компрессора ТСК1-3,5/150 по мере увеличения числа циклов (~23,0% по водородоемкости). Причиной этого, как считает М.С. Бочарников, является окисление интерметаллида LaNi_5 парами воды и примесью кислорода в электролизном водороде и реакции гидрогенолиза ($\text{LaNi}_5 + \text{H}_2 \rightarrow \text{LaH}_2 + 5\text{Ni}$). Процесс, аналогичный реакции гидрогенолиза, реализуется в

качестве обработки «HDDR» в сплавах системы Nd-Fe-B при температуре более 800 °С: $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B} \rightarrow \text{NdH}_x + \text{FeB} + \text{Fe}$. И он не может быть определяющей причиной снижения емкости.

б) К.х.н. **Негримовский В.М.**, заведующий лабораторией водородной энергетики Института арктических технологий **Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ)** (141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9) отзыв положительный, с замечаниями:

1. Недостаточное обоснование выбора давления водорода на входе в металлогидридные реактор (0.27, 0.37, 0.57 МПа) при проведении экспериментальных исследований.
2. Обозначение единицы измерения температуры «градус Цельсия» без пробела после величины.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

Клямкин Семен Нисонович является крупным специалистом в области водородного материаловедения, гидридов, хранения водорода, химии и физики высоких давлений. В настоящее время Клямкин С.Н. работает над проблемами, связанными с использованием альтернативных методов получения многокомпонентных водородаккумулирующих сплавов (механохимия, высокоскоростная кристаллизация). Другим направлением исследований является создание металл-полимерных композитов для мембранного разделения водородсодержащих газовых смесей.

Основные публикации Клямкина С.Н., близкие к тематике диссертационной работы Бочарникова М.С.:

1. Zadorozhnyy, V.Y., Klyamkin, S.N., Zadorozhnyy, M.Y., Strugova, D.V., Milovzorov, G.S., Louzguine-Luzgin, D.V., Kaloshkin, S.D. Effect of mechanical activation on compactibility of metal hydride materials //Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Т. 707. – С. 214-219.
2. Zadorozhnyy, M.Y., Klyamkin, S.N., Strugova, D.V., Olifirov, L.K., Milovzorov, G.S., Kaloshkin, S.D., Zadorozhnyy, V.Y. Deposition of polymer coating on metallic powder through ball milling: Application to hydrogen storage intermetallics //International Journal of Energy Research. – 2016. – Т. 40. – №. 2. – С. 273-279.
3. Zadorozhnyy, V., Berdonosova, E., Gammer, C., Eckert, J., Zadorozhnyy, M., Bazlov, A., Zheleznyi, M., Kaloshkin, S., Klyamkin, S. Mechanochemical synthesis and hydrogenation behavior of (TiFe) 100-xNi alloys //Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Т. 796. – С. 42-46.

Григорьев Сергей Александрович является ведущим специалистом в области возобновляемой энергетики. Основные направления исследований Григорьева С.А. в настоящее время – создание энергоустановок на основе ВИЭ и водородных электрохимических систем, математическое моделирование, электрохимическое компримирование водорода.

Основные публикации Григорьева С.А., близкие к тематике диссертационной работы Бочарникова М.С.:

1. S.A. Grigoriev, A.S. Grigoriev, N.V. Kuleshov, V.N. Fateev, and V.N. Kuleshov. Combined Heat and Power (Cogeneration) Plant Based on Renewable Energy Sources and Electrochemical Hydrogen Systems // Thermal Engineering, 2015, Vol. 62, No. 2, pp. 81-87.
2. Grigoriev A.S., Skorlygin V.V., Grigoriev S.A., Melnik D.A., Losev O.G. Optimization of the hybrid power station on the basis of modeling of thermal processes // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2019, vol. 92, No. 3, pp. 584-595.
3. A.S. Grigoriev, V.V. Skorlygin, S.A. Grigoriev, D.A. Melnik and O.G. Losev. Power Plants Based on Renewables and Electrochemical Energy Storage and Generation Systems for Decentralized Autonomous Power Supply // Russian Electrical Engineering, July 2019, Volume 90, Issue 7, pp. 505–508.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» – является ведущим техническим университетом в России, занимающимся проблемами энергетики. В МЭИ ведутся исследования автономных энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии, что близко к тематике диссертационной работы соискателя.

Основные публикации сотрудников ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», близкие к тематике диссертации Бочарникова М.С.:

1. Artemov V.I., Minko K. B., Yan'kov G.G. Numerical study of heat and mass transfer processes in a metal hydride reactor for hydrogen purification //international journal of hydrogen energy. – 2016. – Т. 41. – №. 23. – С. 9762-9768.
2. Minko K.B., Artemov V.I., Yan'kov G.G. Numerical simulation of sorption/desorption processes in metal-hydride systems for hydrogen storage and purification. Part I: development of a mathematical model //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Т. 68. – С. 683-692.
3. Minko K.B., Artemov V.I., Yan'kov G.G. Numerical simulation of sorption/desorption processes in metal-hydride systems for hydrogen storage and purification. Part II: verification of the mathematical model //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Т. 68. – С. 693-702.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

1. Получены новые экспериментальные данные о процессах тепломассопереноса в слоях металлгидридов и их композиций с теплопроводящими добавками при сорбции и десорбции водорода.
2. Предложена математическая модель, описывающая работу металлгидридного компрессора водорода, и выполнена ее верификация на основе экспериментальных данных. Использование разработанной модели позволяет получать технические характеристики отдельных реакторов и модулей, а также оптимизировать режимы работы металлгидридных систем компримирования и процессы управления ими.
3. Теоретически и экспериментально обоснована оригинальная конструкция металлгидридного модуля, отличающаяся эффективностью, эксплуатационной надежностью и ремонтпригодностью, что позволяет создавать на ее основе металлгидридные системы компримирования водорода производительностью до 15 м³/ч, предназначенные для энергетических комплексов на основе ВИЭ.
4. Исследованы и выявлены причины изменения водородсорбционных характеристик сплавов LaNi₅ и La_{0,5}Ce_{0,5}Ni₅ при многократных циклах сорбции/десорбции водорода (в температурном диапазоне от 20 до 150°С и диапазоне давлений от 0,35 до 15 МПа) в течение длительного периода эксплуатации (12 месяцев, 18180 циклов) металлгидридного компрессора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Изготовлены, сертифицированы и введены в эксплуатацию в АО «СКТБЭ» два типа металлгидридных компрессоров водорода с пароводяным и органическим теплоносителями производительностью до 15 м³/ч, повышающих давление водорода с 0,35 до 15 МПа.
2. Верифицированная математическая модель может быть использована для получения технических характеристик и оптимизации режимов работы металлгидридных систем аккумуляирования и компримирования водорода.
3. Создан и введен в эксплуатацию в АО «СКТБЭ» опытно-экспериментальный комплекс производства, компримирования и хранения водорода с применением металлгидридного компрессора.

Результаты исследования могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, учебных заведениях и технологических компаниях, занимающихся проектированием и внедрением водородных систем накопления энергии: ФГУАО ВО «МФТИ (национальный исследовательский университет), ФГБУН ОИВТ РАН, ФГБУ «НИЦ Курчатовский институт», ФГБУН ИПХФ РАН, ФГБОУ Во «НИУ МЭИ», ООО «ИнЭнерджи», АО «СКТБЭ», а также предприятиях по производству технического водорода, таких как ООО «НИИ КМ», АО «ЛИНДЕ ГАЗ РУС» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- диссертационная работа базируется на анализе научно-технической литературы по предметной области исследования, обобщении опыта работы других научных групп, лабораторий и технологических компаний;
- использованы современные экспериментальные методы и оборудование;
- сравнение результатов математического моделирования с результатами экспериментальных исследований показало хорошее согласие.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автором лично получены экспериментальные данные, выполнена часть расчетов. Автор непосредственно участвовал в организации и проведение длительных испытаний и опытно-промышленной эксплуатации металлгидридных компрессоров водорода, а также проанализировал и обобщил полученные результаты. Апробация результатов исследования проводилась на 8 российских конференциях, где автор принял личное участие. Подготовка основных публикаций по выполненной работе выполнялась автором лично.

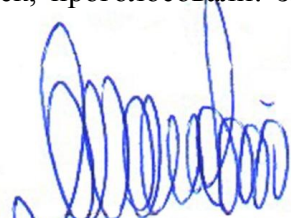
Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную для энергетики тему, и соответствует критериям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 27.11.2019 г. Диссертационный совет принял решение присудить Бочарникову М.С. ученую степень кандидата технических наук.

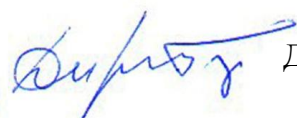
При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы и 10 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Диссертационного совета Д 002.110.03
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор


Вараксин А.Ю.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д 002.110.03
д.т.н.




Директор Л.Б.

М.П.

27.11.2019 г.