

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

**Кузенова Сергея Ризабековича**

**«Оптимизация ванадиевых сплавов для создания мембран, обладающих высокопроизводительным переносом водорода»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки)

|                    |        |
|--------------------|--------|
| ЦНИИ КМ «Прометей» |        |
| Вх. № 3777/17      | в ДЕЛО |
| «26» 11 2024 г.    | №      |
| Осн. 2 л.          | подп.  |
| Прил. — л.         |        |

Большая часть каталитических технологий, в которых водород используется как реагент требует его высокой чистоты, поскольку присутствие даже незначительных количеств каталитических ядов приводит к необратимой деградации активного компонента катализатора. Данная проблема становится все более актуальной в связи с наметившейся тенденцией перехода на водород как альтернативный энергоноситель. В настоящий момент качество водорода для энергоустановок на топливных элементах с протонообменной мембраной (стационарные энергоустановки) определяется ГОСТом ISO 14687-3-2016. Этот документ строго регламентирует содержание загрязняющих примесей в водородсодержащем газе, оказывающих негативное воздействие на электроды и мембраны топливного элемента – углеводородов (2...10 мкмоль/моль), кислорода (200...50 мкмоль/моль), CO<sub>2</sub> (2 мкмоль/моль), CO (0,2...10 мкмоль/моль), соединений серы (0,004 мкмоль/моль), формальдегида (0,1...3 мкмоль/моль), муравьиной кислоты (0,2...10 мкмоль/моль), аммиака (0,1 мкмоль/моль) и галогенированных соединений (0,05 мкмоль/моль). Таким образом, получаемый традиционной конверсией углеводородов водородсодержащий газ следует подвергать тщательной очистке для достижения чистота 99,9% и более. Короткоцикловая безнагревная адсорбция (КЦА), легко реализуемая в промышленных масштабах, практически не приемлема в мобильном варианте очистки получаемого водородсодержащего газа, поэтому здесь мембранные технологии более перспективны. В настоящий момент коммерчески доступны мембраны на основе палладия, но из-за высокой стоимости их использование крайне ограничено. Для масштабного применения предлагаются мембраны из металлов 5 группы с высокой скоростью переноса водорода, но требуется снизить количество растворенного водорода для улучшения прочностных характеристик. В данной работе Кузеновым С.Р. было предложено лигирование ванадия железом для мембранного разделения водорода.

Главными научными задачами диссертационной работы Кузенова С.Р. являлись (I) получение изотерм растворимости водорода в ОЦК сплавах ванадия-железа, (II) получение изотерм проницаемости водорода через мембраны «Pd-(V-Fe)-Pd» с разным составом; (III) определение констант растворимости и (IV) коэффициентов диффузии водорода при варьировании количества железа в ванадиевом сплаве, а также (V) установление их зависимости от температуры и разности входного и выходного давления водорода; (VI) оптимизация состава и рабочих параметров эксплуатации ванадий-железных мембран с тонким палладиевым покрытием для увеличения срока их службы.

В результате проведенных исследований с использованием современных физико-химических методов были получены важные результаты, которые изложены в автореферате диссертационной работы Кузенова С.Р.: получены данные о структуре и морфологии ОЦК сплав ванадия с железом; найдена зависимость растворимости водорода в ОЦК сплавах ванадия-железа и с учетом закона Сиверта определены ее константы при разных температурах и варьировании содержания легирующей добавки железа; выявлено влияние железа на перенос водорода через мембрану из ОЦК сплава ванадия-железа; предложено математическое уравнение, описывающее взаимосвязь проницаемости водорода и разности входного и выходного давления с учетом кинетики поверхностных процессов и многослойности мембраны; определены коэффициенты диффузии и их температурная зависимость.

В автореферате отражены также и практически значимые результаты диссертационной работы Кузенова С.Р. Так, был установлен оптимальный температурный режим (300...350 °С), обеспечивающий высокую проницаемость мембран из ОЦК сплавов ванадия и железа для водорода в течение 18000 часов. При этом производительность предлагаемых мембран «Pd-(V-Fe)-Pd» более, чем в 2 раза превышает коммерчески доступные палладиевые мембраны.

В целом, в автореферате Кузенов С.Р. изложил результаты, полностью соответствующие положениям, выносимым на защиту. Однако следовало более подробно обсудить:

- 1). изменение параметров решетки при допировании ванадия железом и, соответственно, тип твердого раствора в сплаве ванадия-железа;
- 2). механические свойства ОЦК сплавов ванадия-железа в сравнении с чистым ванадием;
- 3). влияние железа на склонность ванадия к образованию гидридной фазы;
- 4). температурную зависимость коэффициента проницаемости водорода в индивидуальных металлах – палладии, ванадии и железе;
- 5). влияние загрязняющих примесей водородсодержащего газа на газоразделительную способность мембран «Pd-(V-Fe)-Pd».

Все вышеперечисленные уточнения были бы крайне полезны для оценки эффективности предлагаемых мембран с низким содержанием палладия для тонкой очистки водородсодержащего газа, полученного традиционной конверсией углеводородов. Они только бы дополнили полученные результаты, не ставя под сомнение высокий уровень выполненных исследований.

В целом, тест автореферата раскрывает основные достижения Кузенова С.Р. в области создания газоразделительных мембран, включая экспериментальное определение параметров транспорта водорода через ОЦК сплавы ванадия-железа в зависимости от содержания железа. Полученные результаты полностью соответствуют поставленным задачам диссертационной работы и были опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, в том числе высокоцитируемых изданиях, индексируемых в международных базах. Сделанные выводы обоснованы и корректны, а сама диссертационная работа Кузенова С.Р. является законченным научным исследованием.

По актуальности, новизне, научной и практической значимости диссертационная работа Кузенова С.Р. удовлетворяет требованиям, п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. ред. от 01 октября 2018 г., а Кузенов Сергей Ризабекович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – материаловедение (технические науки).

Заведующий отделом материаловедения и функциональных материалов, Руководитель НТК гибридные соединения, к.х.н.

ФГБУН «Федеральный научный центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» (ИК СО РАН) 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 5, телефон: 8 (383) 330-74-58; e-mail: netskina@catalysis.ru  
20.11.2024 г.

Подпись Нецкиной О.В. удостоверяю,  
Учёный секретарь ФГБУН «Федеральный научный центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», к.х.н.



Нецкина  
Ольга Владимировна

Ю.В. Дубинин