

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию Ивановой Наталии Анатольевны на тему «Низкотемпературный каталитический конвертор водорода на основе гидрофобных катализаторов»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 Технология неорганических веществ

Доля ядерного производства электроэнергии в мировой энергетике занимает значительные позиции и имеет тенденции к дальнейшему развитию. Современные атомные станции строятся во многих странах, и проблема обеспечения их безопасности всегда остаётся актуальной. Вода, используемая на АЭС, подвергается радиационному облучению, в результате чего образуется и накапливается радиоактивный изотоп водорода - тритий. Существует множество методов извлечения трития из водных радиоактивных отходов, однако СЕСЕ-процесс остается наиболее привлекательным для решения проблемы детритизации воды из-за высокого значения коэффициента разделения, небольших рабочих потоков и объёма оборудования. Однако, узлы верхнего обращения потока, необходимые для перевода газообразного водорода в воду, для данного метода только разрабатываются. В работе предложен каталитический конвертор водорода на основе гидрофобных катализаторов в качестве ВУОП. Такая разработка позволит создать конкурентоспособный с зарубежными аналогами продукт для промышленного и научного использования.

Поэтому тема диссертационной работы Ивановой Н.А., посвященной исследованию процессов, разработке и созданию низкотемпературного каталитического конвертора водорода на основе гидрофобных катализаторов весьма актуальна.

Научная новизна результатов представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана оригинальная методика модификации неорганического носителя катализатора окисления водорода с целью придания его поверхности гидрофобных свойств, характеризующихся углом смачивания поверхности 110-150°.

2. Уточнены условия проведения процесса синтеза гидрофобного платинового катализатора окисления водорода с концентрацией активного металла 0,2-0,5 масс. % на основе неорганического носителя  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с повышенной термостойкостью не менее 623К.

3. Установлены корреляции между условиями синтеза, типом и концентрацией модификатора, и основными физико-химическими и каталитическими свойствами синтезированного катализатора окисления водорода на неорганической основе, включая определение оптимальных параметров синтеза.

4. Разработана оригинальная методика проведения ускоренного «старт-стоп» стресс-тестирования катализатора окисления водорода в стехиометрической смеси с кислородом для определения стабильности его характеристик в процессе эксплуатации в лабораторных условиях и относительно небольших временах.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что:

1. Разработан гидрофобный катализатор на неорганической основе типа Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(модифицированный) с повышенной термостойкостью не менее 623 К для процесса низкотемпературного окисления водорода в конверторе (рабочая температура процесса окисления не более 353 К) с прямым контактом теплоносителя и зерен катализатора.

2. Определены основные рабочие параметры работы низкотемпературного каталитического конвертора на основе гидрофобных катализаторов окисления водорода (полимерного катализатора марки РХТУ-ЗСМ и разрабатываемого катализатора на неорганической основе типа Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(модифицированный)) в широком диапазоне концентрации водорода в

потоке кислорода (воздуха), которые в дальнейшем могут использоваться для расчета и проектирования конверторов окисления водорода.

3. Предложен способ ускоренного «старт-стоп» стресс-тестирования катализатора окисления водорода в стехиометрической смеси с кислородом для определения стабильности его характеристик в процессе эксплуатации в лабораторных условиях и относительно небольших временах.

4. Проведены монтаж установки и испытание верхнего узла обращения потоков (блока сжигания водорода в стехиометрической смеси с кислородом на основе гидрофобного катализатора) для установок разделения изотопов водорода в системе «вода-водород».

**Достоверность и надежность** полученных экспериментальных данных и сделанных выводов обеспечивается использованием современного оборудования (сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения JEOL JSM-6510 LV (Japan), энергодисперсионный анализатор (РФА) INCA ENERGY+ («Oxford Instruments», GB), термостат «Julabo F12» (Julabo GMBH, Германия), автоматический анализатор удельной поверхности и пористости ASAP 2020MP (Micromeritics Instrument Corp., США) и термокatalитический датчик водорода OLCT-20) и не вызывает сомнений.

Диссертационная работа Ивановой Н.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 35 таблиц и 64 рисунка. Список литературы включает 171 работу отечественных и зарубежных авторов. Диссертационная работа хорошо структурирована и оформлена в соответствии с требованиями, установленными Министерством образования и науки РФ.

**В введении** автор отмечает актуальность, научную новизну, практическую значимость работы, цель работы и задачи исследования.

**В литературном обзоре** проведен обзор катализаторов окисления водорода, методов их синтеза и условий применения. Представлены установки, как используемые, так и проектируемые, для окисления водорода в широком

диапазоне концентраций в потоках водорода и воздуха. Показаны их достоинства и недостатки.

Собранный и проанализированный в литературном обзоре материал позволил выбрать направления для исследования, сформулировать цели и задачи, а также подтвердил осуществимость поставленных целей.

**В методической части** работы содержится описание методик модификации носителей, синтеза катализаторов, проведения экспериментов и определения основных физико-химических характеристик исходных носителей, а также методики определения кинетических характеристик катализаторов различных марок, в том числе разработанных образцов. Также приводится характеристика и марки исходных носителей и модификаторов. Приведены принципиальные схемы лабораторных стендов, эскизы каталитического конвертора для низкотемпературного процесса окисления водорода, а также схема установки разделения изотопов в системе «вода-водород» с использованием каталитического конвертора на основе приготовленного катализатора с оптимизированной загрузкой в качестве верхнего узла обращения потоков. Представлено описание методики ускоренного «старт-стоп» стресс-тестирования катализаторов с целью определения их долговечности в условиях проведения процесса низкотемпературного окисления водорода. Рассчитаны основные параметры процесса низкотемпературного окисления водорода в аппарате на основе гидрофобных катализаторов, производительность и тепловой баланс.

**В экспериментальной части** приводятся результаты проведенных исследований и их обсуждение. Экспериментальная часть включает:

-исследование низкотемпературного окисления водорода в конверторе на основе гидрофобного катализатора марки РХТУ-ЗСМ, результаты испытаний катализатора, определение параметров конвертора в зависимости от типа его загрузки катализатором и насадкой (меняется соотношение катализатора и насадки в разных частях конвертора). Приведены данные аналогичных исследований японского катализатора на неорганической основе Pt/SiO<sub>2</sub>;

- разработку и синтез гидрофобного катализатора окисления водорода с повышенной термостабильностью для процесса низкотемпературного окисления водорода, включая методику модификации носителя гидрофобным диоксидом кремния и эмульсией на основе поликарбонатов;
- проведение испытаний синтезированного катализатора в процессе низкотемпературного окисления водорода с целью определения его долговечности в сравнении с отечественным катализатором марки РХТУ-3СМ и зарубежным катализатором на неорганической основе Pt/SiO<sub>2</sub>, гидрофобизированный (Япония);
- изучение процесса низкотемпературного окисления водорода в каталитическом конверторе, определение теплового баланса аппарата, оптимизация тепловой нагрузки на катализатор по высоте аппарата;
- запуск каталитического конвертора на основе синтезированного катализатора с оптимизированной загрузкой в качестве верхнего узла обращения потоков в составе установки химического изотопного обмена водорода в системе «вода – водород». Приведена принципиальная схема установки. Представлены характеристики установки, включая полученные значения степени разделения изотопов в колонне и эффективность окисления водорода, которая составила не менее 99,999%.

**Выводы** содержат заключения по проведенной работе.

Диссертационная работа Ивановой Н. А. логично построена, оформлена качественно, ее содержание соответствует поставленной цели.

В автореферате диссертации отражены основные результаты, полученные в работе. Имеющиеся публикации (5 печатных работ), 1 патент РФ на изобретение, а также участие в международных и всероссийских конференциях указывают на достаточную апробацию материалов диссертационной работы.

**Замечания по работе:**

1. Автором в качестве основного катализатора сравнения в работе выбран гидрофобный полимерный катализатор марки РХТУ-3СМ, все начальные параметры работы конвертора также определены при загрузке аппарата данным катализатором, однако физико-химические свойства катализаторов, включая размер и форму гранул, теплопроводность и теплоемкость, различны. Чем объясняется такой выбор и обоснован ли он? Более целесообразным выглядит сравнение с японским катализатором, более близким по составу и свойствам.
2. Автором проводится сравнение долговечности катализаторов в процессе низкотемпературного окисления водорода в конверторе в аналогичных условиях, однако не дана информация о реальном ресурсе работы катализаторов в часах. Были ли проведены такие оценки?
3. Диссертационная работа посвящена изучению низкотемпературного окисления водорода в аппарате с непосредственным контактом зерен катализатора и жидкой воды, что предъявляет существенные требования к свойствам применяемых катализаторов. В чем главное преимущество данного процесса и каковы сферы его применения?
4. В результате работы был проведен запуск установки с верхним узлом обращения потоков на основе конвертора водорода с разработанным катализатором, однако его нельзя назвать продолжительным. Хотелось бы увидеть результаты более длительной работы установки.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. По актуальности, научной новизне, практической значимости, достоверности результатов и сделанных выводов, рассматриваемая работа Ивановой Натальи Анатольевны представляет собой завершенную научно-квалификационную работу.

Диссертационная работа Ивановой Натальи Анатольевны соответствует паспорту специальности 05.17.01 Технология неорганических веществ.

Автор диссертации – **Иванова Наталия Анатольевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук

(05.14.01 Энергетические системы и комплексы),

Заведующий лабораторией №13 –

водородных энергетических технологий

ОИВТ РАН

Борзенко Василий Игоревич

09.06.2020

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)

125412, Москва, Ижорская ул., 13, стр. 2

Рабочий телефон: (495) 362-53-11

E-mail: h2lab@mail.ru

Ученый секретарь ОИВТ РАН,

д.ф-м.н.



Амиров Равиль Хабибулович