

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Государственный научный центр
Российской Федерации

**ИНСТИТУТ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

Российской академии наук
(ГНЦ РФ-ИМБП РАН)
ИНН/КПП 7714038980/771401001
ОГРН 1027739333710

Хорошевское шоссе, д. 76А, г. Москва, 123007
телефон: (499) 195-15-73, факс: (499) 195-22-53
e-mail: doc@imbp.ru <http://www.imbp.ru>

25.05.2021 № 109/ 51/1333

На № 010/1344-2 от 24.03.2021

Проректору по научной работе,
Московского авиационного
института (НИУ)
д.т.н., профессору

Ю.А. Равиковичу

Уважаемый Юрий Александрович!

Направляем отзыв официального оппонента д.т.н., профессора Берковича Юлия Александровича на диссертационную работу Когана Иоанна Лазаревича под названием: «Методика выбора параметров неизотермического реактора гидрирования межпланетного пилотируемого аппарата на основе имитационных математических моделей» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 — «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Приложение:

Отзыв на 9 стр – 2 экз.

Секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации – «Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)



Д.б.н., профессор М.А. Левинских

Отдел документационного
обеспечения МАИ

26 05 2021г.

Отзыв
официального оппонента на диссертацию

Когана Иоанна Лазаревича «Методика выбора параметров неизотермического каталитического реактора гидрирования межпланетного пилотируемого аппарата на основе имитационных математических моделей», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 — «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Работа изложена на 117 стр., включает 63 рисунка, 6 таблиц, литературный обзор из 67 источников.

Актуальность темы исследования

В ближайшее десятилетие предполагается начало пилотируемого освоения Луны и Марса ведущими космическими державами. Эти задачи подразумевают длительное автономное пребывание человека на борту космического аппарата, что накладывает повышенные требования к массогабаритным, энергетическим и надежности характеристикам систем обеспечения жизнедеятельности экипажа. Как известно, планируемая продолжительность марсианских пилотируемых экспедиций составляет несколько лет. В этих условиях, исходя из реальных требований ограничения стартовой массы полезной нагрузки, становится невыгодным обеспечивать запасы потребляемых экипажем веществ на весь срок миссии. Более рационально строить архитектуру СОЖ из расчёта на максимальное использование регенерационных технологий, позволяющих восстанавливать исходные вещества из продуктов метаболизма и отходов. Например, в работе Хэри Джонса 2006 г., была дана оценка срока окупаемости регенеративных физико-химических СОЖ, равная 256 дням. Преобразование на борту пилотируемого космического аппарата (ПКА) выдыхаемого экипажем углекислого газа в воду по реакции Сабатье, которая в свою очередь является

источником кислорода при дальнейшем электролитическом разложении, позволяет повысить коэффициент замыкания регенерационного цикла по кислороду и обеспечивает существенную экономию массы запасов в ПКА на старте. Таким образом, работа Когана И.Л., посвящённая обоснованию параметров неизотермического каталитического реактора гидрирования углекислого газа для СОЖ межпланетного пилотируемого аппарата, представляется достаточно своевременной и актуальной.

Разработанная диссертантом обобщенная методика выбора технологических параметров блока гидрирования диоксида углерода, в том числе с помощью имитационных моделей, по нашему мнению, также актуальна и сможет найти применение при конструировании и проведении комплекса испытаний, аппаратуры СОЖ для перспективных космических экспедиций.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Несмотря на то, что технология переработки диоксида углерода на основе термокatalитического гидрирования с образование газообразных продуктов является наиболее разработанной, диссертанту удалось усовершенствовать процесс проектирования подобных аппаратов с помощью имитационных моделей в вычислительной среде LabView. Такой подход впервые применён для выбора проектно-конструктивных параметров неизотермического реактора гидрирования на основе «ячеечной» гидродинамической структуры, а также для анализа нестационарных режимов работы каталитического реактора гидрирования. Новым результатом можно считать и конструкцию реактора гидрирования, обеспечивающую протекание процесса в самоподдерживающемся режиме без дополнительных энергозатрат на разогрев. Кроме того, соискателем получены новые экспериментальные данные на компьютерных моделях и реальных прототипах реактора.

Практическая значимость результатов

Основная практическая значимость работы состоит, по нашему мнению, в том, что предложенная методика позволяет по результатам моделирования определять оптимальные параметры проведения процесса гидрирования диоксида углерода в неизотермическом каталитическом реакторе в самоподдерживающемся режиме для работы на борту космического аппарата. Использование разработанной диссертантом методики проектирования позволит сократить трудоемкий этап создания опытных образцов и проведения проверочных испытаний, подтверждающих заданные параметры функционирования блока гидрирования CO_2 .

Теоретическая значимость работы

В работе проведен достаточно подробный анализ и обобщение существующих математических описаний процессов, протекающих в ходе реакции гидрирования диоксида углерода по реакции Сабатье. Выявлено, что в имеющихся литературных источниках недостаточно полно описано явление неизотермичности процесса по длине реактора, что оказывает значительное влияние на точность моделирования. Проведено дополнительное исследование тепловых режимов и получено более подробное математическое описание неизотермического реактора гидрирования CO_2 .

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность научных данных, изложенных в диссертации, обеспечивается путём использования в работе диссертанта апробированного математического аппарата и программного обеспечения, современных средств сбора и обработки экспериментальной информации, а также современной аппаратуры испытательной базы, и подтверждается хорошей сходимостью результатов натурных экспериментов с данными, полученными на компьютерной модели блока гидрирования диоксида углерода.

Реализация результатов работы

Результаты работы внедрены в АО «НИИХиммаш» при создании блока гидрирования диоксида углерода и системы переработки диоксида углерода по контракту с РКК «Энергия». Данная система разрабатывается для испытаний на борту МКС в качестве научной аппаратуры. После прохождения летных испытаний и доводки эта аппаратура будет рассматриваться в качестве основного технического задела для реализации процессов утилизации углекислого газа в перспективных ПКА.

Кроме того, ряд теоретических материалов из гл. 2, 3 и 4 диссертации используются, как указано в акте внедрения, в учебном процессе для студентов кафедры «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасности жизнедеятельности» МАИ.

Рекомендации по применению результатов работы

Предложенная соискателем методика и математические модели могут быть использованы при разработке и проектировании перспективных систем жизнеобеспечения на предприятиях «Роскосмоса», а также при модернизации имитатора комплекса систем жизнеобеспечения в тренажерных комплексах для обучения членов экипажа к работе и обслуживанию бортовых систем в ходе подготовки к космическим полетам.

Характеристика основного содержания работы

Во введении рассмотрена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, а также основные положения, представляемые к защите. Отмечена научная новизна и теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведены результаты достаточно полного аналитического обзора источников научно-технической информации по теме диссертации. Рассмотрены различные технологии переработки диоксида

углерода. Приведены примеры применения технологии на основе реакции Сабатье в системах жизнеобеспечения, описаны известные конструкции реакторов, а также применяемые катализаторы и их характеристики.

Рассмотрены термодинамические закономерности реакции Сабатье, приведены результаты анализа имеющихся математических моделей, используемых при выборе проектно-конструкторских параметров реактора. Показано, что в литературе отсутствует описание неизотермического реактора, наиболее точно описывающее течение процесса в самоподдерживающемся режиме. На основе результатов анализа сформулирована общая постановка задачи исследования и сформулирована задача обеспечения устойчивого протекания реакции в автотермическом режиме.

Во второй главе получены и проанализированы данные предварительного экспериментально-теоретического анализа трех типов каталитических реакторов при различных катализаторах и соотношениях исходных реагентов. Описана первоначальная конструкция разработанного блока гидрирования (вариант 1). Приведены результаты предварительных испытаний варианта 1 блока. Показано, что параметры его конструкции не позволяют обеспечить поддержание устойчивого течения реакции в автотермическом режиме при малых расходах реагентов. Выявлены причины неустойчивости течения реакции в автотермическом режиме и сформулированы направления дальнейших исследований тепловых режимов блоков аппаратуры для получения дополнительной необходимой информации.

В третьей главе рассмотрены вопросы создания имитационной модели реактора гидрирования углекислого газа для изучения зависимостей тепловых режимов от параметров конструкции. Описаны принятые допущения. Приведена расчетная схема реактора, основанная на постановке сопряженной задачи массо- и теплопереноса при задании на границах раздела сред граничных условий 4-го рода по «квазиравновесной схеме»

Приведена программная реализация в среде графического программирования LabView. Спроектирован и изготовлен реактор гидрирования, конструкция которого позволяет определить поля температур по длине слоя, что даёт возможность проверить адекватность моделирования на опытном образце реактора. По итогам моделирования найдены недостатки конструкции ряда вспомогательных блоков аппаратуры и предложен реактор нового образца, который показал лучшую производительность на всех режимах по сравнению с реактором варианта 1. Сформулированы требования к перспективной улучшенной модели реактора (вариант 3). В итоге последующих испытаний новой модели была достигнута высокая сходимость результатов моделирования и натуральных экспериментов в установившемся автотермическом режиме и в ходе динамического переходного процесса нагрева реактора.

В четвертой главе рассмотрены вопросы формирования обобщенной методики выбора конструктивных параметров блока гидрирования диоксида углерода на основе результатов экспериментов, проведенных на созданной имитационной модели, и натуральных испытаний экспериментальных образцов реакторов гидрирования и вспомогательного оборудования.

Разработана методика выбора конструктивных параметров блока гидрирования, построенная по блочному принципу. Она включает четыре основных раздела, последовательное выполнение которых позволяет получить единое описание данного функционального блока интегрированной системы жизнеобеспечения космического аппарата.

Составлена имитационная программа, описывающая работу блока гидрирования и обеспечивающая:

- имитацию работы блока в реальном и ускоренном времени;
- отображение основных параметров на мнемосхеме системы;
- вывод любых задействованных величин в виде графиков в дополнительных окнах программы;
- имитацию вероятных нештатных ситуаций;

- протоколирование результатов.

Проведена проверка модели функционирования на адекватность для конструкции блока гидрирования, разработанной после выбора проектно-конструкторских параметров при решении задачи синтеза морфологического описания. Достигнута хорошая сходимость результатов моделирования с реальными характеристиками блока гидрирования.

В заключении кратко резюмируются результаты работы, Приводятся выводы по проделанной работе. Сделан основной вывод, что поставленная цель достигнута и предложены варианты дальнейшего развития исследования.

Текст работы изложен технически грамотным языком и оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам.

Результаты диссертационной работы достаточно полно освещены в четырех рецензируемых статьях в технических журналах и обсуждались на профильных конференциях. Имеется два акта внедрения материалов работы.

Автореферат достаточно полно раскрывают содержание текста диссертации.

Постановка задачи, ее решение и результаты работы соответствуют паспорту специальности 05.07.02 — «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Замечания по работе

В качестве замечаний может быть отмечено следующее:

- 1) в названии работы пропущены, по нашему мнению, слова:
«...гидрирования **диоксида углерода** для межпланетного пилотируемого аппарата..»;
- 2) в тексте диссертации отсутствует всякое упоминание о моделировании воздействия невесомости на работу блока;
- 3) в рекомендациях по дальнейшей разработке темы исследования указывается, что для наиболее полного возврата воды в циклическую

регенерацию следует ввести в структуру блока реактор пиролиза метана. Тогда возникает вопрос: чем такая схема лучше применения реактора Боша, раскритикованное в первой главе диссертации, если в обоих случаях образуется трудноудаляемый твердый мелкодисперсный углерод и сравнимое количество воды?

4) в тексте диссертации дважды повторены формулировки задач на стр.5 и на стр. 32, что излишне;

5) выводы в *Заключении* (кроме первого и пятого), сформулированы как перечисление выполненных работ без указания полученных преимуществ. Это затрудняет для читателя понимание положительного эффекта от изложенных результатов;

6) точно так же, как перечисление проделанных работ без указания полученного положительного эффекта от них, сформулированы задачи диссертации во *Введении* и в конце главы 1;

7) в конце главы 1 даны обобщающие литобзор выводы в разделе 1.5. Но в других главах таких кратких выводов не дано, что затрудняет понимание структуры и результатов по главам диссертации.

Однако, в целом, перечисленные недостатки не умаляют научной ценности представленной диссертационной работы.

Общее заключение по диссертационной работе

Диссертация Когана И.Л. является законченной научно-квалификационной работой, в рамках которой решена актуальная научная задача: разработана обобщенная методика выбора параметров реактора гидрирования диоксида углерода, как части комплекса систем жизнеобеспечения космического аппарата. Применение данной методики при проектировании перспективных систем жизнеобеспечения позволит сократить трудозатраты при проектировании неизотермического каталитического реактора гидрирования углекислого газа для СОЖ перспективных межпланетных пилотируемых аппаратов, повысить их

эффективность и сократить массогабаритные характеристики за счет оптимизации запасов ресурсов, требуемых для осуществления долгосрочной космической миссии.

Вывод: по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Коган Иоанн Лазаревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 — «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Официальный оппонент: заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации – «Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» (ГНЦ РФ – ИМБП РАН), доктор технических наук, профессор



Беркович Юлий Александрович

Почтовый адрес: 123007 Российская Федерация, г. Москва, Хорошевское шоссе, 76А
Телефон +7499 95 22 53
Электронная почта: doc@imbp.ru
Адрес интернет: <http://www.imbp.ru>

Подпись д.т.н., профессора Берковича Юлия Александровича удостоверяю.

Секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственного научного центра Российской Федерации – «Институт медико-биологических проблем Российской академии наук» (ГНЦ РФ – ИМБП РАН)



Д.б.н., профессор М.А. Левинских